

TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

16 | 2018

Poste Italiane spa - Tassa pagata - Piego di libro
Aut.n. 072/DCB/FI/VF del 31.03.2005



MATERIA
È PROGETTO
matter is design

SIT_{dA}

TECHNE

Journal of Technology for Architecture and Environment

Issue 16
Year 8

Director
Maria Teresa Lucarelli

Scientific Committee
Tor Broström, Gabriella Caterina, Pier Angiolo Cetica, Gianfranco Dioguardi, Stephen Emmitt, Paolo Felli, Luigi Ferrara, Cristina Forlani, Rosario Giuffré, Helen Lochhead, Mario Losasso, Lorenzo Matteoli, Gabriella Peretti, Fabrizio Schiaffonati, Maria Chiara Torricelli

Editor in Chief
Emilio Faroldi

Editorial Board
Ernesto Antonini, Eliana Cangelli, Tiziana Ferrante, Massimo Lauria, Elena Mussinelli, Riccardo Pollo, Marina Rigillo

Assistant Editors
Alessandro Claudì de Saint Mihiel, Paola Gallo, Francesca Giglio, Maria Pilar Vettori

Editorial Assistants
Viola Fabi, Serena Giorgi, Luca Magnani, Valentina Puglisi, Flavia Trebicka

Graphic Design
Veronica Dal Buono

Editorial Office
c/o SITdA onlus,
Via Toledo 402, 80134 Napoli
Email: redazionetechne@sitda.net

Issues per year: 2

Publisher
FUP (Firenze University Press)
Phone: (0039) 055 2743051
Email: journals@fupress.com

Journal of SITdA (Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura)

SIT_dA

Società Italiana della Tecnologia
dell'Architettura



MATERIA È PROGETTO

MATTER IS DESIGN

NOTA NOTE

- 7 | **Nota**
Note
Maria Teresa Lucarelli

PROLOGO PROLOGUE

- 9 | **La materia architettonica come nota musicale del costruire**
Architectural matter as musical note of construction
Emilio Faroldi

DOSSIER a cura di/edited by Ernesto Antonini, Massimo Rossetti, Francesca Giglio

- 17 | **Introduzione**
Introduction
Ernesto Antonini, Massimo Rossetti, Francesca Giglio
- 20 | **L'estetica del green: l'espressione materica nell'architettura sostenibile**
The aesthetics of green: material expression in sustainable architecture
Blaine Brownell
- 29 | **Off-cells: un luogo del lavoro per le Foreste Casentinesi**
Off-cells: a place of work for Casentinesi Forests
Simone Gheduzzi

SCATTI D'AUTORE ART PHOTOGRAPHY a cura di/edited by Marco Introini

- 43 | **Densità**
Density

CONTRIBUTI CONTRIBUTIONS

SAGGI E PUNTI DI VISTA ESSAYS AND VIEWPOINTS

- 60 | **Per un archivio dei materiali da demolizione nei territori della ricostruzione**
A repository of recovered materials from post-earthquake reconstruction areas
Filippo Angelucci, Cristiana Cellucci, Michele Di Sivo, Daniela Ladiana
- 68 | **Due modelli costruttivi in legno: tradizione senza innovazione o innovazione senza tradizione?**
Two timber construction models: tradition without innovation or innovation without tradition?
Paola Boarin, Marta Calzolari, Pietromaria Davoli
- 79 | **Gli architetti dell'altro materialismo**
The architects of the other materialism
Filippo Bricolo
- 86 | **Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale**
Designing the life cycle of materials: new trends in environmental perspective
Andrea Campioli, Anna Dalla Valle, Sara Ganassali, Serena Giorgi
- 96 | **Architettura on demand. Nuovi scenari per il progetto e l'industria delle costruzioni**
Architecture on demand. New scenarios for the design project and the construction industry
Eliana Cangelli, Michele Conteduca
- 105 | **Il ruolo dell'innovazione nella definizione di nuovi paradigmi formali in Architettura**
The role of the innovation in the definition of new formal paradigms in Architecture
Fabio Conato, Valentina Frighi
- 113 | **Il progetto del bianco e la materia dell'architettura**
The design of white and the architecture matter
Paolo De Marco, Antonino Margagliotta

- 122 | Low Tech e materiali non convenzionali. Misura, Tempo, Luogo
Low Tech and unconventional materials. Measure, Time, Place
Francesca Giglio
- RICERCA E SPERIMENTAZIONE *RESEARCH AND EXPERIMENTATION*
- 131 | Algoritmi Genetici per il Project Management e la progettazione esecutiva nelle costruzioni
A Genetic Algorithm-based approach for Project Management and developed design of construction
Sara Tiene, Marco Alvise Bragadin, Andrea Ballabeni
- 142 | Superuse e upcycling dei materiali di scarto in architettura: progetto e sperimentazione
Waste materials superuse and upcycling in architecture: design and experimentation
Serena Baiani, Paola Altamura
- 152 | Integrazione di sistemi termo-attivi nella rigenerazione dell'involucro edilizio in area Mediterranea
Thermally active surface integration in the regeneration of building envelope in Mediterranean area
Alessandra Battisti, Egle Ministeri
- 164 | Schermare dinamicamente. Osservazione, riscontro e progetto
Shading dynamically. Observation, feedback and design
Roberto Bolici, Carlo Micono
- 177 | BLOCK_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali
BLOCK_PLASTER: high energy/environmental performance brick building envelope
Corrado Carbonaro, Silvia Tedesco, Stefano Fantucci
- 187 | Progetto di un sistema di rivestimento metallico per l'involucro edilizio
Design of a metal cladding system for building envelopes
Massimiliano Condotta, Valeria Tatano
- 196 | Processi virtuosi: sistemi di copertura in bio-composito per la rigenerazione del territorio
Virtuous processes: biocomposite roofing systems for territorial re-generation
Vittorio Fiore, Stefania De Medici, Carla Senia
- 207 | Metodologie integrate di valutazione applicate ai materiali di un edificio ad alta quota
Integrated assessment methods applied to the materials of a high-altitude building
Roberto Giordano, Francesca Thiebat, Valentina Serra, Ema Madalina Budau
- 218 | Sviluppo di un prototipo di facciata continua con comportamento dinamico (SmartSkin)
Development of a curtain wall prototype with dynamic behaviour (SmartSkin)
Luca Guardigli, Francesco Della Fornace, Oscar Casadei, Fabio Frani, Luca Nicolini, Gian Marco Revel, Marco Arnesano
- 226 | Embodied Energy e prestazione residua: misurare il valore ambientale dell'esistente
Embodied Energy and residual performances: assess environmental value of existing buildings
Antonello Monsù Scolaro
- 235 | Le membrane strutturali in architettura: una soluzione eco-efficiente per il futuro?
Structural membranes in architecture: an eco-efficient solution for the future?
Carol Monticelli, Alessandra Zanelli
- 247 | Efficientamento dell'involucro edilizio: interazione tra energia inglobata ed energia operativa
Improving building envelope efficiency: interaction between embedded energy and operational energy
Elisabetta Palumbo, Stefano Politi
- 258 | Materiali e metodologie innovative per il recupero dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista
Materials and innovative methodologies for restoring fair faced concrete
Claudio Piferi
- 270 | MSOT: ottimizzare la scelta dei materiali nel LEED v4 - un caso di studio con il BIM
MSOT: materials selection optimization in the LEED v4 protocol - a case study with BIM
Alberto Raimondi, Mabel Aguerre
- 281 | Sviluppo di membrane bituminose fonoisolanti e fonoassorbenti contenenti materiali di riciclo
Development of soundproofing and sound-absorbing bituminous membranes containing recycled materials
Massimo Rossetti, Alberto Bin
- 289 | Materiali e soluzioni tecniche per il wayfinding nei musei
Materials and technical solutions for wayfinding in museums
Teresa Villani
- 299 | Oltre la Materia: la sperimentazione di bio-based grown materials dai miceli
Beyond Materials: the experimentation of bio-based grown materials from mycelia
Antonella Violano

- 308 | Definizione di scenari materiali innovativi attraverso processi di digitalizzazione
Definition of innovative material scenarios through digitization processes
Sara Codarin, Marco Medici
- 317 | Sperimentazione di materiali compositi con fibre vegetali per il settore costruttivo
Experimentation of composites materials reinforced with vegetable fibres for the construction sector
Giulia Savoja

DIALOGHI *DIALOGUES* a cura di/edited by Maria Pilar Vettori

- 325 | Un "dialogo antico" tra materia, tecnica e progetto
An "ancient dialogue" between matter, technique and design
Un Dialogo tra | *A Dialogue between* Barbara Bogoni e | *and* Eduardo Souto de Moura

RECENSIONI *REVIEWS* a cura di/edited by Francesca Giglio

- 339 | Blaine Brownell, *TRANSMATERIAL Next- A Catalog of Materials That Redefine Our Future*
Ingrid Paoletti
- 340 | Andrea Lupacchini, *La sensorialità dei materiali*
Cristina Conti
- 342 | Alberto Campo Baeza, *La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto*
Maria Pilar Vettori
- 344 | Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva, Matteo Gambaro, *Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti*
Adolfo Baratta

INNOVAZIONE E SVILUPPO INDUSTRIALE *INNOVATION AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT*

a cura di/edited by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

- 346 | Il contributo dell'area tecnologica alla ricerca industriale
Technological area contribution to industrial research
Alessandro Claudi de Saint Mihiel
- 348 | Innovazione e cultura imprenditoriale per la produzione edilizia ad elevata qualità ambientale
Innovation and entrepreneurial culture for high environmental quality building production
Paola Gallo

Maria Teresa Lucarelli, Presidente SITdA

Dipartimento Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

mtlucarelli@unirc.it

Un tema complesso e molto ampio è quello dell'uso dei *materiali* nel progetto. Un tema che di decennio in decennio allarga i suoi confini coinvolgendo discipline specialistiche, ormai di necessario supporto nella sperimentazione di nuovi materiali, di nuove prestazioni, di nuove superfici e morfologie ma anche nel controllo delle caratteristiche fisico/meccaniche, nel testing avanzato e nella prototipazione.

Per tali ragioni in questo numero si è voluto ri-mettere al centro del dibattito un argomento proprio della tradizione culturale e scientifica della Tecnologia dell'Architettura, volendo così sottolineare l'importanza che, ancor più oggi alla luce della crescente innovazione, lo studio dei materiali, la loro produzione e il loro impiego assumono nel progetto di architettura: la materia ne è infatti parte integrante, rappresenta una importante forma di comunicazione percettiva, ne segna il valore culturale e sociale, costituisce una barriera/filtro fisica e psicologica rispetto alle crescenti variabilità esterne. Una ricchezza, soprattutto in termini di ricerca, che va incentivata e ulteriormente sviluppata «[...] senza cedere alla esibizione mediatica dell'innovazione né rinunciare ad utilizzare la materia come veicolo – e insieme come contenuto – della qualità dello spazio e dell'architettura»¹. Una ricerca, dunque, che nel suo sviluppo deve confrontarsi sempre più con le esigenze del mercato e con le sue tendenze: da un lato la richiesta, crescente, di manufatti – e quindi di materiali – sempre più performanti per proporre nuovi linguaggi architettonici, talvolta più per seguire nuove mode che le effettive esigenze delle utenze. Dall'altro la necessità di sperimentare e poi utilizzare, attraverso il progetto, prodotti in grado di garantire il miglioramento delle prestazioni: da quelle consolidate della prassi costruttiva, a quelle più attuali di risparmio energe-

tico e di capacità di adattamento ai cambiamenti climatici; tutte sicuramente in linea con i principi, divenuti imprescindibili, di sostenibilità ambientale, economica e sociale. Rispetto quindi alle esigenze, talvolta contrapposte, prima ricordate, l'innovazione assume un ruolo fondamentale riportando sulle pratiche progettuali gli effetti di scelte che richiedono «[...] un difficile equilibrio fra esibire e celare, fra congruenza e dissimulazione, fra prestazioni funzionali e connotati figurativi e percettivi»².

Dunque, il crescente sviluppo delle tematiche che ruotano intorno ai *materiali*, al loro evolversi, al rapporto tra tradizione e innovazione, ha imposto una necessaria delimitazione di campo nella strutturazione dei topic proposti nella call suggerendo, comunque, ambiti di studio e ricerca sufficientemente ampi e tali da sollecitare l'attenzione scientifica sia su temi emergenti come quelli riconducibili a comportamenti dinamici e adattivi dei materiali e alla diffusione della progettazione parametrica e della prototipazione; sia su temi più della tradizione disciplinare incentrati sui miglioramenti prestazionali che devono confrontarsi, tra l'altro, con l'ibridazione delle tecniche costruttive – tradizionali ed innovate – non sempre di facile integrazione nel progetto; sia su quelli che riconducono alla complessa problematica ambientale che attiene al tema dei materiali ecosostenibili, alla loro durabilità, efficacia e fine vita. Una lettura comunque trasversale della innovazione di prodotto e di processo che necessariamente deve confrontarsi con l'evoluzione del progetto.

Quali le risposte? Molte e nel complesso interessanti: sono infatti pervenuti 90 abstract, di cui 27 selezionati secondo i criteri – rigorosi – definiti dalla call, con particolare attenzione alle *ricerche avanzate*, proposte da giovani ricercatori under 35, tra cui due premiate per qualità ed originalità di contenuto.

NOTE

A complex and very broad theme is the use of *materials* in the project. A theme that in the last years expands its boundaries from specialized disciplines, necessary, now, like support in the experimentation of new materials, new performances, new surfaces and morphologies, but also in the control of the physical/mechanical characteristics, in the advanced testing and in the prototyping.

For these reasons in terms of cultural and scientific tradition of Technology of Architecture, aim to underline the importance that, even more today in the light of innovation, the study of materials, their production and their use, take on the architectural project. Matter is indeed an integral part of it, represents an important form of perceptual communication, it marks its cultural and social value, constitutes a physical and psychological barrier / filter with respect to increasing external variability. A richness, above all in terms of research, which should be en-

couraged and further developed «[...] without giving in to the media performance of innovation, nor giving up using material as a vehicle – and together as a content – of the quality of space and architecture»¹.

A research, therefore, that in its development have to confront with the needs of the market and its trends: on the one hand, the growing demand for manufactured goods – and therefore materials – increasingly performing to propose new architectural languages, sometimes more to follow new fashions than the actual needs of users. On the other, the need to experiment and then use, through the project, products that can guarantee the improvement of performance: from the consolidated ones of the construction practice, to the most current ones of energy saving and adaptability to climate change; all in line with the principles, which have become essential, of environmental, economic and social sustainability. So, respect to the needs, sometimes

opposed and first remembered, the innovation assumes a fundamental role reporting on the project practices the effects of choices that require «[...] a difficult balance between exhibiting and concealing, between congruence and dissimulation, between functional performance and figurative and perceptual connotations»¹.

So, the growing development of the themes that revolve around the materials, the relationship between tradition and innovation, has imposed a necessary delimitation of the field in the structuring of the topics proposed in the call. These topics suggest, anyway, areas of study and research sufficiently wide and such as to stimulate scientific attention both on emerging issues both on themes more than the disciplinary tradition focused on performance improvements. The first are attributable to dynamic and adaptive behaviour of materials and to the dissemination of parametric design and prototyping; the seconds must confront, inter alia,

Ciò dà testimonianza di un grande interesse al tema in generale pur prevalendo contributi sugli ambiti emergenti – adattività, progettazione parametrica, prototipazione – e su quelli legati al rapporto tra materia ed ambiente, rappresentando quest'ultimo un fronte di continua indagine per la progettazione non solo dal punto di vista prestazionale ma anche formale ed espressivo. Minori risposte si sono avute sul secondo topic che, incentrato sul miglioramento prestazionale e sulla produzione incrementale del prodotto, richiede sperimentazioni lunghe ed una utilizzazione/applicazione diffusa non certo favorita dalla crisi del settore.

La ragione potrebbe, inoltre, ascriversi al fatto che *adattività, reattività e sostenibilità*, rappresentano concetti chiave, sempre attuali, intorno a cui sviluppare ricerche e indagare ambiti molto aperti mentre i temi relativi al *miglioramento prestazionale*, pur da tempo consolidati nella ricerca scientifica, non hanno la stessa rapidità di risposta rispetto all'evoluzione del mondo della produzione. Quest'ultimo, per le già citate ragioni di mercato, dovendo mantenere alti i livelli di competizione globale risulta sempre meno interessato alla ricerca di base ritenuta, talvolta a ragione, lenta negli esiti e non sempre attualizzata nelle risposte. Tre tematiche quindi che procedono a “velocità” differenti, ma che contribuiscono ad alimentare la *macchina dell'innovazione* non solo rispetto ai *materiali* in sé ma anche rispetto alle inevitabili relazioni tra tutti gli attori coinvolti nella complessità di un progetto e negli esiti che lo stesso comporta in un contesto sociale e architettonico sempre più difficilmente riconoscibile.

A supporto del dibattito scientifico che si sviluppa nei saggi e nelle ricerche, il *Dossier* propone contributi di diversi autori –

provenienti dal mondo accademico e da quello, consolidato, professionale – invitati a dare un apporto critico sul tema.

I saggi proposti si incentrano, in prevalenza e con le proprie specificità, sullo stretto rapporto tra materiali e progetto di architettura ponendo l'attenzione sull'innovazione incrementale che si sviluppa intorno ad un materiale come il legno in realtà contemporanee rappresentative di nuove sperimentazioni e linguaggi costruttivi; sulle nuove traiettorie di sperimentazione e ricerca sul calcestruzzo evidenziando le potenzialità dello stesso in termini di ri-modellazione e plasticità; sul rapporto tra processo conoscitivo di un luogo e riconoscibilità materica di un manufatto; sulla proposta di strategie progettuali che delineino un linguaggio per l'architettura sostenibile, attraverso un sapiente uso della materia.

La lettura trasversale degli estensori della call mette in evidenza il file rouge che sottende le diverse posizioni evidenziandone il valore in termini di avanzamento della ricerca, insieme ad un'analisi critica tra le richieste della call e gli sviluppi dello specifico disciplinare sul tema.

Nei *Dialoghi* infine, con l'intervista ad Alberto Campo Baeza, si ribadisce il valore del progetto di architettura proprio attraverso la sua espressione materiale, confermando appunto che l'uso sapiente, la sperimentazione e la Cultura della *Materia*, è *Progetto*.

NOTE

¹ E. Antonini, M. Rossetti, F. Giglio: estensori della Call for Paper di TECHNE 16.

² Idem.

with the hybridization of construction techniques – traditional and innovative – not always easy to integrate into the project that concerns the theme of environmentally sustainable materials, their durability, effectiveness and end of life. A transversal interpretation of the product and process innovation that have to confront the evolution of the project.

What are the answers? There are many answer and all interesting: 90 abstract arrived, of which 27 selected according to the criteria – rigorous – defined by call, with particular attention to the *advanced research*, proposals from young researchers under 35, including two awards for quality and originality of content.

This bears witness to a great interest in the subject in general, although prevailing contributions on emerging areas - adaptivity, parametric design, prototyping – and on those linked to the relationship between matter and environment, representing the latter a

front of continuous investigation for the design not only from the performance point of view but also formal and expressive. Fewer answers were made on the second topic, which focuses on improving performance and incremental production of the product, requires long trials and a widespread use / application certainly not favoured by the crisis in the sector.

The reason could also be ascribed to the fact that *adactivity, reactivity and sustainability*, represent key concepts, always current, around which to develop research and investigate very open fields while the topics related to the *performance improvement*, long established in scientific research, they do not have the same rapid response to the evolution of the world of production. The latter, for the before mentioned market reasons, having to maintain high levels of global competition is increasingly less interested in the basic research considered, sometimes rightly, slow in the outcomes and

not always updated in the answers.

So, these are three themes that proceeding to different “speeds”, but which contribute to feed the *innovation machine* not only in relation to the *materials*, but also in relation between all the actors involved in the complexity of a project and in the results that it involves in an increasingly difficult to recognize social and architectural context.

To support the scientific debate that develops in essays and research, the *Dossier* proposes contributions from different authors – coming from the academic world and from the consolidated, professional one – invited to make a critical contribution to the theme.

The proposed essays focused on the close relationship between materials and architectural project, paying attention to the incremental innovation that develops around a material. For example the wood or the concrete, representative of new experimentations and constructive languages; on

the relationship between the cognitive process of a place and the material recognisability of an artefact; on the design strategies that outline a language for sustainable architecture, through a wise use of matter.

The transversal reading of the call extends highlights the file rouge that underlies the different positions highlighting their value in terms of research progress, with a critical analysis of the call requests and the developments of the specific subject on the subject.

At the end, in the *Dialogues*, with the interview to Alberto Campo Baeza, the value of the architectural project reaffirmed through its material expression, confirming precisely that the wise use, experimentation and Culture of *Matter*, is *Project*.

NOTES

¹ E. Antonini, M. Rossetti, F. Giglio: estensori della Call for Paper di TECHNE 16.

² Idem.

Emilio Faroldi,

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

emilio.faroldi@polimi.it

«Anche in una particella d'architettura v'è probabilmente la stessa densità del tutto» (Vittoriano Viganò, 1995).

Il concetto di materia, sin dalle sue origini, è intimamente legato ai temi dell'architettura. Ampiamente indagato nella storia del pensiero filosofico e scientifico, il significato del termine *materia*, ancor prima di indicare la sostanza primordiale indifferenziata da cui si genera, per effetto di un evento determinante, la molteplicità del mondo reale, era etimologicamente legato al concetto greco di ὕλη, dal significato originario di «legno di bosco», materiale da costruzione per eccellenza nelle società primitive, rimandando poi al latino *māter*, che significava 'tronco dell'albero' (da cui si sviluppano i rami).

La visione aristotelica della qualità della vita, quale esito di una pluralità di esperienze, determina come lo spazio si esprima e sia vissuto nella dialettica tra immaterialità del significato e materialità del luogo.

A un concetto di qualità perseguibile e verificabile tramite il controllo scientifico di dati e il progressivo processo di artificializzazione della natura, lo scenario architettonico contemporaneo contrappone, per contrasto, un nuovo linguaggio, fondato sull'armonia compositiva e tecnica, sull'appropriatezza dei processi costruttivi, sulla consapevolezza estetica. Le architetture mutano il valore del tempo da variabile oggettiva a elemento soggettivo: è tramite l'architettura che il tempo viene scandito, riconosciuto, vissuto.

Henri Focillon, nega il prevalere aristotelico della forma sulla materia. «Si può sostenere che la materia imponga la propria forma alla forma. [...] Non si tratta di materia e di forma in sé, ma di materiale al plurale, numerose, complesse, cangianti.

ARCHITECTURAL MATTER AS MUSICAL NOTE OF CONSTRUCTION

«Even in a particle of architecture there is probably the same density of the whole» (Vittoriano Viganò, 1995).

Since its origin, the concept of matter has been intimately connected to architecture themes. The meaning of the term *matter* has been widely investigated in the history of philosophical and scientific thought. Even before indicating the undifferentiated primordial substance from which it is generated, the multiplicity of the real world was etymologically linked to the Greek concept of ὕλη. This comes from the original meaning of "woodland", the primary building material in primitive societies. It then became referred to the Latin *māter*, which meant 'trunk of the tree' (from which the branches develop).

The Aristotelian view of quality of life, as the result of a plurality of experienc-

[...] Le materie comportano un certo destino o, se si vuole, una certa vocazione formale» (Focillon, 1990).

Parimenti, il concetto di materia rimanda all'azione del costruire e alla sua traduzione da atto intellettuale a fenomeno materico che si concreta, appunto, nella magia architettonica costituita dall'essere arte penetrabile, avvolgente, ospitante.

L'architettura attraverso la materia diviene momento esperienziale: sia per chi la vive da utilizzatore, sia per chi la manipola come elemento primario di progettualità. Il termine rogersiano di *esperienza*, intesa essa come unità di operato pratico e teorico, comporta la consapevolezza che il progetto di architettura non può prescindere dal suo processo di formazione: una visione unitaria del progetto, e della transcalarità che tale visione presuppone, perseguita attraverso un messaggio ove l'organizzazione del sapere tecnico riveste un ruolo determinante all'interno del più ampio tema dell'etica del costruire.

L'attenzione che la filosofia e la scienza assegnano all'esplorazione del concetto di materia, ne determina un tema denso di significato con radici affondate nella profondità della storia e, al tempo stesso, estremamente contemporaneo. La materia è prelevata dal sistema originario naturale per interpretare un significato e un ruolo nell'ambiente antropizzato (Espuelas, 2012). Ma non solo. «La materia è luce che si è consumata. Le montagne, la terra, i corsi d'acqua, l'aria, noi stessi siamo luce consumata» (Kahn, 1960).

I luoghi, spesso connessi alla presenza di materia quale elemento generatore di valori fisici e simbolici, affiancano la storia dell'architettura costituendo una parte fondante del patrimonio di una società. Un patrimonio sensitivo, cromatico, tattile, ambientale, percettivo: il materiale è l'elemento principe del nostro costante

es, determines how space expresses itself and is experienced in the dialectic between the immateriality of meaning and materiality of place.

To a concept of quality that can be pursued and verified through the scientific assessment of data and the progressive process of artificialisation of nature. Contemporary architecture counterposes a new language, based on compositional and technical harmony, on the appropriateness of construction processes and on aesthetic awareness. Architecture changes the value of time from an objective variable to a subjective element: it is through architecture that time is articulated, recognised and lived.

Henri Focillon, denies the Aristotelian dominance of form over matter. «It can be argued that matter imposes its form on the form. [...] It is not a question of matter and form in itself, but of mate-

rial as plural, numerous, complex, iridescent. [...] Subjects involve a certain destiny or, if desired, a certain formal vocation» (Focillon, 1990).

Equally, the concept of matter refers to the action of construction and the translation from an intellectual act to a material phenomenon that is concretised, in fact, in the architectural magic constituted by being a penetrable, enveloping and hostile art.

Architecture through matter becomes an experiential moment: both for those who experience it as a user, and for those who manipulate it as a primary element of planning. The Rogersian term of *experience*, understood as a unit of practical and theoretical work, involves the awareness that the architectural project cannot disregard its formation process. This is intended as a unitary vision of a project and of the cross-scale concept that this vision

dialogo con la realtà. La fusione tra orme del passato ed espressione della contemporaneità si rivolge alla pratica progettuale e costruttiva e al suo essere interattiva con l'ampio e articolato territorio dell'architettura: solchi culturali nei quali permangono evidenti contraddizioni.

L'architettura incorpora il *barometro di un'epoca* e la facoltà della memoria rappresenta il deposito per la trasmissione del sapere: fondamento primario della riconoscibilità dei luoghi e requisito essenziale per lo sviluppo della cultura. La materia, in tal senso, possiede una propria ineludibile identità. «Ogni materiale possiede un linguaggio formale che gli appartiene e nessun materiale può evocare a sé le forme che corrispondono ad un altro materiale. Perché le forme si sono sviluppate a partire dalla possibilità di applicazione e dal processo costruttivo propri di ogni singolo materiale. Nessun materiale consente una intromissione nel proprio repertorio di forme» (Loos, 1921, 1972).

Il linguaggio della materia architettonica muta geneticamente in ragione dei caratteri indicativi dello spazio e del tempo, recuperandone gli aspetti semantici, morfologici e di misura: un rapporto valido sia per assonanza, sia per esplicita contrapposizione, in continua trasformazione dovuta allo scorrere del tempo. «Adoro i materiali che si modificano – afferma Vico Magistretti –. È giusto che i materiali debbano invecchiare, debbano mostrare la loro storia; un materiale immutabile, sempre nuovo, anche se esistesse, mi lascerebbe del tutto indifferente. [...] La materia, se usata correttamente, dura bene, ragion per cui è giusto che invecchi, io non restaurerei mai le facciate degli edifici di Venezia: sono momenti che passano e che non si ripeteranno mai che bisogna essere fortunati a cogliere. [...] Forma e materia sono il frutto di scelte intrecciate, interne al progetto ed esterne ad esso,

presupposes. It is pursued through a message where by the organisation of technical knowledge plays a decisive role within the broader theme of building ethics.

The attention that philosophy and science give to the exploration of the concept of matter has its roots sunk in the depth of History yet remains an extremely contemporary topic. Matter is taken from the original natural system to interpret a meaning and a role in the anthropised environment (Espuelas, 2012). In addition, «Matter is light that has consumed itself. The mountains, the Earth, the streams, the air, we ourselves are consummated light» (Kahn, 1960).

Places often connect to the presence of matter as an element generating physical and symbolic values and accompany the history of architecture, constituting a fundamental part of the

heritage of a society. A sensitive, chromatic, tactile, environmental and perceptive heritage: material is the main element of our constant dialogue with reality. The fusion between the footsteps of the past and the expression of modernity is addressed in the design and constructive practice, and to it being interactive with the wide and articulated territory of architecture. These are cultural grooves in which evident contradictions remain.

The architecture incorporates the *barometer of an era* and the faculty of memory represents the deposit for knowledge transmission: the primary foundation of the recognition of places and an essential requirement for the development of culture. In this sense, matter has its own unavoidable identity. «Each material has a formal language that belongs to it and no material can evoke forms that correspond to

per cui difficilmente distinguibili. I fattori esterni, d'altronde, non sono mai tali, sono piuttosto fattori strettamente legati ad una interpretazione della realtà, la più obiettiva possibile: questa mi interessa più dei valori stilistici presi come variabile a sé stante o come elemento di valutazione indipendente dall'insieme» (Magistretti, 1995).

L'architettura come sintesi di forma e materia intesa, pariteticamente, come *luogo* prima ancora che come *spazio*: tramite la materia tale arte/disciplina instaura un rapporto dialogico con l'identità del paesaggio fisico e mentale in cui si colloca.

A fronte del dilagare di un concetto di innovazione tecnica materiale che sembra contrastare il concetto di continuità, nel perenne cimentarsi nel superamento di sé stessa, l'atto costruttivo, in qualità di azione preposta alla messa a sistema di componenti materiali, non può essere indipendente dalla continuità di talune invarianti che nel tempo hanno costituito il patrimonio architettonico di riferimento. La tecnologia, in un'accezione di matrice "politecnica", costituisce l'essenza fondante il fenomeno architettonico, all'interno di un concetto di *continuità* storica che si manifesta anche in termini materico-tecnologici.

Attraverso la materia l'architettura ribadisce il suo essere attività significativamente radicata al patrimonio culturale del contesto sociale che la esprime e la ospita. «I materiali che recano i segni dell'età racchiudono in sé i messaggi del tempo» (Holl, 2004). Le ragioni del progetto traggono ispirazioni dalle innovazioni insite nei materiali e nei processi produttivi, affiancate dalla memoria proveniente dalla tradizione costruttiva.

Ampliando il raggio d'azione dei temi al centro del dibattito ed eleggendo i materiali a chiave di volta della sfera di sostenibilità architettonica, constatiamo come l'esplorazione del rapporto

another material. Because forms have developed starting from the possibility of application and from the construction process of each single material. No material allows an intrusion into one's repertoire of forms» (Loos, 1921, 1972).

The language of architectural matter changes genetically because of the indicative characters of space and time, recovering the semantic, morphological and measuring aspects: a valid relationship both for assonance and for explicit opposition, in continuous transformation due to the passing of time. «I love material that is modified – states Vico Magistretti – It is right that materials must age, they must show their history; an immutable material, always new, even if it existed, would leave me completely indifferent. [...] Matter, if used correctly, lasts well, which is why it is right that it ages. I

would never restore the facades of the buildings in Venice: they are moments that pass and will never be repeated that we must be lucky to grasp. [...] Form and material are the result of interwoven choices, internal and external to the project and external at the same time, for which they are difficult to distinguish. Furthermore, external factors are rather closely related to an interpretation of reality, the most objective possible: this interests me more than the stylistic values taken as a variable in itself or as an element of an evaluation independent from the whole» (Magistretti, 1995).

Architecture is perceived as a synthesis of form and matter understood and, equally, as *place* prior to *space*: through matter, such art / discipline establishes a dialogic relationship with the identity of the physical and mental landscape in which it is located.

tra spazio e materia, permetta di indagare visioni morfologiche, funzionali e tecnologiche orientate a rispondere a esigenze da sempre esistenti: il mutare della società, il progressivo ridimensionamento delle risorse disponibili e l'aspirazione a garantire crescenti livelli di benessere e qualità, rendono la materia fattore strategico dell'azione di trasformazione dei luoghi.

Franco Albini in merito alla sua emblematica opera del *Rifugio Pirovano di Cervinia* – una delle poche opere di cui egli abbia scritto, presentandolo su “Edilizia Moderna” nel 1951 – afferma «la programmatica limitazione ai mezzi costruttivi tradizionali e ai materiali naturali vuole accentuare l'esigenza di un profondo adeguamento alla natura e al costume del luogo. Non occorre certamente precisare che non si vuol parlare di architettura folcloristica, ma di una architettura che non sia ambientalmente, e quindi urbanisticamente, indifferenziata e, ancora una volta, si vuol dire che l'architettura moderna non consiste nell'uso dei materiali e di procedimenti costruttivi nuovi, ma che tutti i mezzi costruttivi sono validi in tutti i tempi purché logici e ancora efficienti» (Albini, 1951).

Ne discende che disquisire di materia, a prescindere da approcci tecnici o simbolici, comporta interpretare l'innovazione quale motore di sviluppo, specchio della profonda e genetica complessità di un'azione, quella architettonica, da sempre promotrice del concetto di sostenibilità quale elemento baricentrico e trasversale al progetto.

Sempre relativamente al pensiero/azione di Franco Albini: la sua è «una ricerca costante e profonda sulle caratteristiche e, soprattutto, sull'uso e il peso dei materiali che dovranno, nelle sue dichiarazioni, obbedire alla regola stessa dei materiali impiegati. [...] Albini si occupava personalmente dei materiali, sia per

quel che riguarda la scelta delle campionature, che per quel che riguarda le loro caratteristiche fisico-meccaniche: era un fermo sostenitore della tesi per la quale bisognava riconquistare la capacità e le caratteristiche delle ‘nuove tecnologie’ del passato. Si doveva, cioè, riacquisire dalle generazioni passate, quella capacità di appropriazione ideale delle proprietà possedute dai materiali: ‘dobbiamo conoscere i nuovi materiali, così come i nostri predecessori conoscevano quelli antichi’. [...] Albini propugnava una linea di comportamento che metteva in discussione la ‘resa’ della qualità dei materiali – tradizionali o meno – i quali venivano impiegati secondo un percorso intenzionalmente coerente, fortemente descrittivo. Si può dire che laddove il materiale veniva inteso come ‘amorfo’ l'opera risultava claudicante» (Cortesi, 1995). La materia come campo di sperimentazione e innovazione: la materia, perciò, come progetto. L'innovazione tecnologica, nella sua più ampia e ramificata interpretazione, se applicata all'ambito delle costruzioni, affranca il progetto architettonico, stimolando sperimentazioni e applicazioni che inducono scenari linguistici e funzionali nuovi, capaci di mettere in relazione la materia e la funzione. Come ebbe a dire Mies Van der Rohe nel discorso inaugurale del 1938 all'apertura dei corsi dell'Armour Institute di Chicago (poi Illinois Institute of Technology): «Il lungo cammino dal materiale, attraverso la funzione, al lavoro creativo ha solo uno scopo: metter ordine nella disperata confusione del nostro tempo. Dobbiamo avere un ordine che dia ad ogni cosa il suo posto e il trattamento che le è dovuto secondo la sua natura» (Mies van der Rohe, 1938).

Ciò a confermare l'indissolubile rapporto che la materia instaura con la funzione a cui essa è proposta, non solo, perciò, con la forma e lo spazio che la definiscono. In tal senso, ironicamente,

Faced with the spread of a concept of material and technical innovation, that seems to contrast the concept of continuity, the constructive act is in a perennial attempt to overcome itself. As an action in charge of the system of material components, it cannot be independent from the continuity of some invariants, which over time have constituted the architectural heritage of reference. Technology, as a form of “polytechnic” matrix, constitutes the founding essence of the architectural phenomenon, within a concept of historical continuity that is also manifested in material-technological terms. Through matter, architecture reiterates its activity by being significantly rooted in the cultural heritage of the social context that expresses and hosts it. «The materials that bear the signs of age contain the messages of time» (Holl, 2004). The reasons for the pro-

ject draws inspiration from the innovations inherent in the material and production processes, accompanied by the memory of construction tradition. Expanding the range of topics at the centre of the debate and electing the keystone materials of the sphere of architectural sustainability, we see how the exploration of the relationship between space and matter allows for an investigation of morphological, functional and technological visions. These are oriented to respond to the needs that have always existed: changes in society, the progressive downsizing of available resources and the aspiration to guarantee increasing levels of well-being and quality make the matter a strategic factor in the transformation of places.

Franco Albini, when writing about his emblematic work *Pirovano Refuge of Cervinia* – one of the few works he

wrote about, presenting it on “Edilizia Moderna” in 1951 – states «the programmatic limitation to traditional construction methods and natural materials wants to accentuate the need for a profound adaptation to the nature and customs of the place. It is certainly not necessary to point out that we do not want to speak of folk architecture, but of an architecture that is not environmental, and therefore on an urban level, undifferentiated. Once again, it means that modern architecture does not consist in the use of materials and new construction procedures, but that all constructive means are valid at all times, provided they are logical and still efficient» (Albini, 1951). It follows that the discussion of matter, regardless of technical or symbolic approaches, involves interpreting innovation as the engine of development, mirroring the profound and genetic

complexity of an action, the architectural one, which has always promoted the concept of sustainability as a focal point element and transversal to the project.

Always relating back to the work of Franco Albini: his is «a constant and deep research on the characteristics and, above all, on the use and weight of the materials that will, in his statements, obey the rule of the materials used. [...] Albini personally took care of the materials, both for the choice of the samples, and for what concerns their physical-mechanical characteristics: he was a firm supporter of the thesis for which he had to regain the capacity and the characteristics of the ‘new technologies’ of the past. We must, that is, reacquire from past generations, that capacity for the ideal appropriation of property possessed by materials: ‘we must know the new ma-

Louis Kahn ribadì in un intervento alla Design Conference di Aspen nel 1972: «se chiedete al mattone cosa vuole, risponderà: 'Vorrei essere un arco'» (Kahn, 1972).

Pur nella consapevolezza che il governo del processo edilizio, dalla definizione del progetto nelle sue fasi fino alla valutazione del progetto stesso, rappresenta un'azione intellettuale, ancor prima che tecnica o materiale, qualsiasi lettura critica sulla metodologia di processo prende il via dalla considerazione che l'atto progettuale deve tendere sempre alla costruibilità, intesa come accezione materiale dell'architettura e come configurazione dei processi culturali che ne costituiscono il fondamento.

La sfera materiale del fenomeno architettonico vive un ruolo paritetico a quella linguistica, semantica, morfologica. L'architettura è una funzione materializzatasi, un processo identificabile con una sequenza logica di creatività, un evento razionale e perciò dominabile, mai inaspettato. Lo scrive Alberto Campo Baeza, sempre sensibile al passaggio da idea a realtà costruita. Egli stesso pone l'architettura stereotomica in contrapposizione all'architettura tettonica. Nel suo noto testo *L'idea costruita* (2012), esprime pensieri intrinseci alla materialità/immaterialità dell'architettura. «Stereotomica e tettonica: due termini che, raccolti da Gottfried Semper tramite Kenneth Frampton, si materializzano in strumento finalizzato all'elaborazione di un'architettura più precisa». Affascinante il messaggio di Baeza, quando sostiene che per Architettura Stereotomica «intendiamo quella ove la gravità si manifesta in maniera continua, tramite un sistema strutturale continuo e dove la continuità costruttiva è completa. È l'architettura massiccia, pietrosa, pesante. Quella che si radica nella terra come se da lei scaturisse. È l'architettura che cerca la luce, che perfora i suoi muri per fare in modo che la luce

entri in lei. È l'architettura del *podium*, del basamento. Quella dello stilobate. Riassumendo – afferma – è l'architettura della caverna. Come ad esempio lo è il Pantheon» (Campo Baeza, 2012). L'attualità dell'architetto e la sua funzione intellettuale non si fondano sulla ricerca linguistica o tipologica, bensì si caratterizzano nel porsi quale attore della produzione, coordinando competenze e convergendole nel progetto, garantendone l'attuazione. L'attenzione alle tecniche costruttive e alle loro potenzialità espressive e semantiche, seppur complementari alla ricerca inerente le logiche di gestione e il governo del processo progettuale, risultano in linea con la configurazione moderna di reti e sistemi di relazioni tra i molteplici attori del processo edilizio.

Intesa quale interpretazione materiale delle nuove tecnologie e come inserimento di materiali mutuati all'uso architettonico, essa si configura come uno dei grandi temi offerti dalla contemporaneità. Il rischio è che i materiali, infinitamente manipolabili e componibili, affievoliscano, nella contemporaneità, la loro identità culturale profonda, tendendo ad una a-critica posizione di tendenza o di pseudo-attualità. «L'architettura è l'organizzazione dello spazio realizzata con materiali che lavorano a gravità. Trovo assurda la moda per cui è bello tutto ciò che è leggero. Ma che significa? Le case devono forse volare? L'edificio è bello perché porta in sé il senso di gravità» (Botta, 2003).

Ezio Manzini, descrive chiaramente l'evoluzione delle trasformazioni operate dall'uomo sulla materia: «per un lunghissimo periodo il progettista-produttore si è trovato nella condizione di dover subire una complessità intrinseca ai substrati materici naturali con cui interagiva: nodi e venature del legno o disomogeneità della pietra erano il campo in cui l'artigiano doveva dar prova della sua maestria nel piegare ai suoi scopi la complessità

materials, just as our predecessors knew the ancient ones'. [...] Albinì advocated a line of behaviour that questioned the 'yield' of the quality of materials – traditional or not – which were used according to an intentionally coherent and highly descriptive path. It can be said that where the material was understood as 'amorphous', the work was limping» (Cortesi, 1995).

Matter is like a field of experimentation and innovation: matter, therefore, is a project. When technological innovation (in its broader and more branched interpretation), is applied to the construction field it liberates the architectural project, stimulating experiments and applications that induce new linguistic and functional scenarios, capable of linking matter and function. As Mies Van der Rohe said in his inaugural speech in 1938 at the opening of the courses of the Armour Insti-

tute in Chicago (later Illinois Institute of Technology): «The long journey from material, through function, to creative work has only one purpose: put order in the desperate confusion of our time. We must have an order that gives everything its place and the treatment due to it according to its nature» (Mies van der Rohe, 1938).

This confirms the indissoluble relationship matter establishes with the function it is proposed. Not only, therefore, with the form and the space that define it. In this sense, ironically, Louis Kahn reiterated in an intervention at the Aspen Design Conference in 1972: «if you ask the brick what he wants, he will answer: 'I would like to be an arch'» (Kahn, 1972).

Governance of the building process, from defining the project phases to the evaluation of the project itself, represents an intellectual action, in addition

to being technical and material. However, any critical reading of the process methodology starts from the consideration that the act of design must always strive for constructability. It is understood as the material meaning of architecture and as a configuration of the cultural processes that constitute its foundation.

The material sphere of the architectural phenomenon has an equal role within the linguistic, semantic and morphological sphere. Architecture is a material function, a process identified with a logical sequence of creativity: it is a rational event and therefore controllable and never unexpected. Alberto Campo Baeza, sensitive to the transition from "idea" to "built reality", proposes stereotomic architecture as opposed to tectonic architecture. In his well-known text *L'idea costruita* (2012), he expresses thoughts inher-

ent in the materiality / immateriality of architecture. «Stereotomic and tectonic: two terms that, collected by Gottfried Semper through Kenneth Frampton, materialise in an instrument aimed at developing a more precise architecture». Baeza's message is fascinating when he states that when speaking of stereotomic Architecture «we mean that by where gravity manifests itself in a continuous way, through a continuous structural system, where the constructive continuity is complete. It is the massive, stony, heavy architecture. The one that is rooted in the earth as if born from it. Architecture seeks light, which pierces its walls to let light enter in. It is the architecture of the *podium*, of the baseous way. That of the stylobate. To summarise - it is the architecture of the cave. An example of this is the Pantheon» (Campo Baeza, 2012). The architect's reality and their intel-

che la natura aveva prodotto in modo casuale: a questa fase possiamo dare il nome di 'fase della complessità subita'. Successivamente, entrando nella fase industriale classica, i materiali vengono più profondamente trasformati al fine di essere normalizzati e standardizzati: poiché le macchine non potevano avere l'attenzione dell'artigiano per il particolare, questo era l'unico modo per poterli trattare industrialmente. Si tendeva così a ridurre la complessità del substrato naturale tramite una sua più profonda artificializzazione: a questa fase possiamo dare il nome di 'complessità normata'.

La fase attuale invece, è quella della 'complessità gestita', in cui i materiali presentano anisotropie e disomogeneità controllate. La complessità è ricercata per ottenere più alte prestazioni, ed è ottenuta tramite progressivi incrementi nell'artificializzazione dei substrati naturali di partenza. Tale situazione si fonda sullo sviluppo di una scienza dei materiali capace di manipolare sempre più in profondità la materia, di una 'scienza dei processi' in grado di gestire tecnologie di trasformazione sempre più sofisticate e precise, di una 'scienza della modellizzazione' in grado di controllare variabili di progetto sempre più numerose» (Manzini, 1990).

Sempre di più – e volutamente lo ribadiamo – Materia è *progetto*, Materia è *architettura*. Quella che Paolo Portoghesi definisce «sensibilità per la materia costruttiva» (Portoghesi, 1999) rimane fondamento dell'azione di progettazione architettonica.

Assistiamo alla convivenza di approcci progettuali opposti - talvolta estremi – tesi a riaffermare la matrice storica e tradizionale del costruire per mezzo della riproposizione dei caratteri d'opacità, pesantezza, antichità, preesistenza, eternità che l'architettura consolidata da sempre promuove e, in parallelo, a tradurre nel

lectual function, is not based on linguistic or typological research, but is characterised by being a production actor that coordinates skills and brings them together in a project and guaranteeing their implementation. The attention to constructive techniques and their expressive and semantic potentials, even if complementary to the research inherent to the management logic and the governance of the design process, it is also in line with the modern configuration of networks and systems of relations between the multiple actors of the building process.

Understood as the material interpretation of new technology and as the insertion of materials borrowed from architecture, it is one of the great themes offered by the contemporary world. The risk is that material, infinitely manipulated and modular, lose their deep cultural identity in the contemporary

age due to having an a-critical position of trend or current fashion. «Architecture is the organisation of space created with material that works through gravity. I find fashion absurd in that all which is light is beautiful. But what does this mean? Do houses need to fly? A building is beautiful because it carries within it the sense of gravity» (Botta, 2003).

Ezio Manzini, clearly describes the evolution of man-made transformations on matter: «for a very long period the designer-producer has found himself in the condition of having to address the intrinsic complexity of the natural material substrates with which he interacts. Knots and wood grain or the non-homogeneity of stone were the field in which the craftsman had to prove his skill in bending to his purposes the complexity that nature had produced in a casual way. We can call

manufatto i connotati evolutivi – sempre più immateriali – che la nostra società adotta in qualità di elementi del vivere quotidiano, assimilando i principi di trasparenza, novità, leggerezza, modernità, velocità, sicurezza, temporaneità come strumenti di trasmissione di un pensiero sempre più etereo e dinamico.

La «cultura del progetto», vista come sistema organico di metodologie e strumenti finalizzati al governo di obiettivi in continuo mutamento e sistemi sempre più articolati e complessi, emerge nella razionalità delle architetture, nel ruolo espressivo degli elementi costruttivi, nella chiarezza delle gerarchie strutturali, nel carattere non formalistico e autoreferenziale degli elementi, nel superamento della strumentalità della tecnica. «Ritengo che nel contesto di un oggetto architettonico i materiali possano assumere qualità poetiche. A tal fine occorre generare nell'oggetto stesso un legame adeguato tra forma e significato, poiché di per sé i materiali non sono poetici. [...] Per progettare, per ideare delle architetture, dobbiamo imparare a utilizzare e a trattare in modo cosciente i materiali che conosciamo e che abbiamo in memoria. È un lavoro di ricerca e di memoria» (Zumthor, 1998). Da tale punto di vista, emerge come esemplare la lezione di alcuni maestri della scuola del moderno italiano, portavoce di un'architettura fondata su «quello stretto connubio tra le proprietà fisico-semantiche del materiale e il suo modo di impiego, sottolineato dal compiacimento e dall'esibizione di quei riferimenti geometrici che di volta in volta venivano tratti in disegno» come afferma Aurelio Cortesi a proposito di Franco Albini e Franca Helg (Cortesi, 1995); o di Vittoriano Viganò quando dichiara: «Di Nervi mi ha affascinato il modo del suo calcestruzzo armato, la plasticità espressa attraverso questo materiale, la poetica delle sue forme: sono voci che hanno costituito un punto fermo nel

this the 'phase of undertaken complexity'. Subsequently, entering the classical industrial phase, materials have been more deeply transformed in order to be normalised and standardised. Since the machine did not receive the craftsman's attention to detail, this was the only way to be able to treat them industrially. In this way, the complexity of the natural substrate was reduced through a deep artificialisation. We can call this stage 'normalised complexity'.

On the other hand, we could call the current phase 'managed complexity', in which materials present controlled anisotropies and inhomogeneities. Complexity is sought in order to achieve higher performance and is obtained through a progressive increase in the artificialisation of the initial natural substrate. This situation is based on the development of a 'science of ma-

terials' capable of manipulating ever more deeply the material, of a 'science of processes' capable of managing increasingly sophisticated and precise transformation technologies and of a 'science of modelling' capable of controlling increasingly numerous project variables» (Manzini, 1990).

Increasingly - and we deliberately reiterate it - matter is *project*, matter is *architecture*. What Paolo Portoghesi defines as «sensitivity to constructive matter» (Portoghesi, 1999) remains the foundation of the architectural design action.

We are witnessing the coexistence of opposing – sometimes extremely opposing – design approaches aimed at reaffirming the historical and traditional matrix of construction. This coexistence is realised through the re-positioning of the characteristics of opacity, heaviness, antiquity, pre-exist-

mio mai concluso processo di formazione. [...] Giuseppe Terragni mi ha fatto vedere e capire, quando io andavo cercando testimonianze e riferimenti nell'architettura, un suo 'giusto' realizzato appieno, dall'insieme al dettaglio, perfettamente coniugati» (Viganò, 1995).

Proseguendo la narrazione attraverso le parole di Vittoriano Viganò, è utile riportare che «a differenza di altre arti, sostanzialmente astratte anziché materialmente utilitarie, l'architettura risulta del tutto condizionata dagli eventi e dal contesto di cui è parte: un fenomeno questo che costituisce al tempo stesso una sua propria inibizione ma anche la sua dinamica specificità. La sua 'inibizione', se la natura del condizionamento è di basso livello, se la domanda o la commessa non sono di per sé 'stampelle forti'; la sua 'dinamica specificità', se il condizionamento si chiama problematicità fra realtà contestuale e cultura del progetto. Un condizionamento che è al tempo stesso dolore e speranza» (Viganò, 1995).

Essere precisi nella materializzazione dell'idea in idea costruita, richiede innanzitutto «una conoscenza precisa dei materiali e delle tecniche» (Campo Baeza, 2011) ma richiede anche di andare oltre la conoscenza, come espresso dalle parole di Vico Magistretti: «Io amo molto i materiali, la loro scelta, il loro ragionato utilizzo, ma anche in questo caso non ho un approccio feticistico nei loro confronti. Posso realizzare indifferentemente architetture in alluminio, in legno, o in mattoni: il mio operato penso non abbia mai dimostrato preconcetti o preferenze nella scelta dei materiali. Qualsiasi materiale può essere usato, purché si conoscano in profondità le sue caratteristiche semantiche e fisico-meccaniche. A questo proposito non mi interessano i materiali elaborati: un esempio, nel caso di un oggetto d'arredo, al

posto di un prezioso damasco uso infinitamente più volentieri la tela di sacco. Una scelta legata molto al valore concettuale che non al semplice valore formale» (Magistretti, 1995).

La necessità di una cultura transdisciplinare non inibisce l'essere anticipatrice del tema dell'importanza delle risorse e di logiche volte a valicare il conflitto tra conservazione, innovazione e trasformazione, confermando l'importanza della memoria della tradizione costruttiva proveniente dalle "radici antiche" (Nardi, 1986).

Kenneth Frampton considera l'aspetto costruttivo quale parte integrante dell'espressione architettonica e in *Tettonica e architettura* scrive: «in ultima analisi, ogni cosa dipende tanto dal *come* esattamente è stata realizzata quanto da una aperta manifestazione della sua forma. Questo non vuole negare l'ingegnosità spaziale, ma piuttosto elevarne il carattere grazie alla sua precisa esecuzione. Di conseguenza il modo di presentarsi di un'opera è inseparabile dalle sue fondazioni nel terreno e dall'autorevolezza della sua struttura nell'interazione dell'appoggio, della campata, del giunto e dello snodo, dal ritmo del suo rivestimento e dalla modulazione della sua finestratura» (Frampton, 1998).

L'architettura, in tal modo, esprime la poesia della propria epoca: quella poesia che dobbiamo, attraverso azioni congiunte, difendere all'insegna della conformità funzionale, della bellezza e, appunto, della matericità che, sin dalla nascita dell'uomo, la concreta.

ence and eternity, which architecture has always promoted. In parallel, it translates into the product evolutionary connotations – increasingly immaterial – that our society adopts as elements of everyday life, assimilating the principles of transparency, novelty, lightness, modernity, speed, security and temporality as instruments of transmission to a more ethereal and dynamic way of thinking.

The "culture of the project" is understood as an organic system of methodologies and tools aimed at the management of constantly changing objectives and increasingly complex systems. This emerges in the rationality of the architectures, in the expressive role of the constructive elements, in the clarity of the structural hierarchies, in the non-formalistic and self-referential character of the elements and in the overcoming of the instrumentality of

the technique. «I believe that in the context of an architectural object, materials can acquire poetic qualities. To this end, it is necessary to generate in the object itself an adequate link between form and meaning, since the materials are not poetic in themselves. [...] In order to design and create architecture, we must learn to use and treat consciously the materials we know and that have in our memories. It is a work of research and memory» (Zumthor, 1998).

From this point of view, the lessons from some of the masters of the modern Italian school emerge as exemplary. This perspective acts as a voice for an architecture based on «that close union between the physical-semantic properties of the material and the way it is employed, underlined by the complacency and the exhibition of those geometric references that were

drawn from time to time», as stated by Aurelio Cortesi about Franco Albini and Franca Helg (Cortesi, 1995). Vittoriano Viganò states: «Nervi has fascinated me with his way of using reinforced concrete, the plasticity expressed through this material, the poeticism of its form: these are items that have constituted a fixed point in my never completed formation process. [...] When I went looking for testimonies and references in architecture, Giuseppe Terragni made me see and understand one of his work, fully realised, from the whole to the detail, perfectly conjugated» (Viganò, 1995).

Continuing the narration through the words of Vittoriano Viganò, it is useful to report that «unlike other arts, substantially abstract rather than materially utilitarian, architecture is completely conditioned by the events and the context of which it is part: a

phenomenon that constitutes time itself its own inhibition but also its dynamic specificity. Its 'inhibition', if the nature of the conditioning is of a low level, if the demand or the order is not in itself 'strong crutches'; its 'dynamic specificity'. If conditioning is called a problem between contextual reality and project culture. A form of conditioning that is both pain and hope» (Viganò, 1995).

Being precise in materialising an idea from a constructed idea requires above all «a precise knowledge of materials and techniques» (Campo Baeza, 2011). However, it also requires going beyond knowledge, as expressed by the words of Vico Magistretti: «I love the materials, their choice, their reasoned use, but also in this case, I do not have a fetishised approach towards them. I can create architectures in aluminium, wood or brick indifferently: I think

REFERENCES

- Albini, F. (1951), "Albergo per ragazzi a Cervinia", in *Edilizia Moderna*, 47, p. 67.
- Botta, M. (2003), *Quasi un diario: frammenti intorno all'architettura*, Le lettere, Firenze.
- Campo Baeza, A. (2011), "La arquitectura como poesia. Sobre la precisión. Por una arquitectura esencial", in *Cosa Mentale*, Parigi; *Memoria de curso 2011-2012*, ETSAM, Madrid.
- Campo Baeza, A. (2012), *L'idea costruita*, Mauro A. (ed.), LetteraVentidue, Siracusa.
- Cortesi, A. (1995), "L'architettura delle connessioni. Franco Albini", in Faroldi E. and Vettori, M.P., *Dialoghi di Architettura*, Alinea, Firenze (seconda edizione 2004).
- Espuelas, F. (2012), *Madre Materia*, Marinotti Edizioni, Milano.
- Frampton, K. (1998), *Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Mit press, Cambridge; tr. it. Frampton, K. (1999), *Tettonica e architettura. Poetica della forma architettonica tra XIX e XX secolo*, Skira, Milano.
- Focillon, H. (1990), *Vita delle Forme*, Einaudi, Torino.
- Kahn, L.I. (1960), "On Form and Design", in *Journal of Architectural Education*, vol XV, n. 3, Fall 1960, reprinted in Latour, A. (ed.) (1991), *Louis I. Kahn. Writings, Lectures, Interviews*, Rizzoli International, New York.
- Kahn, L.I. (1972), *The Invisible City*, International Design Conference, Aspen, June 1972; in Wurman, R.S. (ed.) (1986), *What Will Be Has Always Been. The Words of Louis I. Kahn*, Rizzoli, New York.
- Holl, S. (2004), *Parallax: architettura e percezione*, Postmedia books, Milano.
- Loos, A. (1921), *Ins Leere Gesprochen 1897-1900*, Georges Cres, Zurigo; prima edizione italiana Loos, A. (1972) *Parole nel vuoto*, Adelphi, Milano.
- Magistretti, V. (1995), "L'architettura della realtà", in Faroldi E. and Vettori, M.P., *Dialoghi di Architettura*, Alinea, Firenze (seconda edizione 2004).
- Manzini, E. (1990), *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, DA, Milano.
- Mies van der Rohe, L. (1938), *Discorso inaugurale all'Armour Institute of Technology (AIT)*, 20 novembre 1938, Chicago, in Neumeyer, F. (1996), *Mies van der Rohe. Le architetture, gli scritti*, Skira, Milano.
- Nardi, G. (1986), *Le nuove radici antiche, Saggio sulla questione delle tecniche esecutive in architettura*, Franco Angeli, Milano.
- Portoghesi, P. (1999), *I grandi architetti del Novecento*, Newton Compton Editori, Milano.
- Viganò, V. (1995), "L'architettura dell'esperienza", in Faroldi E. and Vettori, M. P., *Dialoghi di Architettura*, Alinea, Firenze (seconda edizione 2004).
- Zumthor, P. (1998), *Pensare architettura*, Lars Muller, Baden.

my work has never shown preconceptions or preferences in its choice of materials. Any material can be used, provided that its semantic and physical-mechanical characteristics are known in depth. In this regard, I do not care about the materials processed: an example, in the case of a piece of furniture, instead of using a precious damask I use the sackcloth infinitely more willingly. A choice linked to the conceptual value rather than the mere formal value» (Magistretti, 1995). The need for a transdisciplinary culture does not inhibit the importance of resources and logic aimed at crossing the conflict between conservation, innovation and transformation, confirming the importance of the memory of the constructive tradition coming from the "ancient roots" (Nardi, 1986). Kenneth Frampton considers the constructive aspect as an integral part of

architectural expression and in *Studies in Tectonic Culture* he writes: «in the final analysis, everything depends so much on *how* exactly it has been realised as on an open manifestation of its form. Not to deny the spatial ingenuity, but rather to elevate its character thanks to its precise execution. Consequently, the presentation of a work is inseparable from its foundations and the authoritativeness of its structure. The interaction between the support, the span, the joint and the junction, from the rhythm of its covering and the modulation of its fenestration» (Frampton, 1998).

In this way, architecture expresses the poetry of its era: the poetry that we must defend through joint action in the name of functional conformity, beauty and, indeed, of the materiality that, since the birth of man, has made it real.

Una nota “sui materiali ed altri elementi”, di Vittoriano Viganò

Vittoriano Viganò afferma: «I materiali sono condizione inalienabile al costruire. Ed ognuno è portatore di prerogative tutte sue proprie, tutte da scoprire, tutte da recuperare alle tecniche e alla forma, dal primo giorno. Ne ho usati molti, operando in edilizia, nell'arredo, sull'oggetto. Penso di non aver tradito mai, per lo meno nelle intenzioni, i caratteri e il senso che sono recuperabili all'opera, caso per caso, in ragione della identità materica. Riconosco di avere anche apportato qualche contributo di metodo ogni qual volta, di fronte ad un materiale nuovo e in qualche modo ancora senza destino, gli ho riservato una condizione applicativa inedita. Alla maniera esplosiva o un po' eroica degli anni Cinquanta. Ho sperimentato negli anni Cinquanta nella casa La Scala sul Garda e nell'Istituto Marchiondi a Milano il cemento armato. Mi spingeva a fondo tutta la suggestione storica di questo impasto di inerti, leganti e traenti, così inedito dal suo avvento in Francia alle esperienze di Perret e Le Corbusier, dalle grandi strutture di Maillart, di Nervi, di Morandi, di Zorzi, poi fino agli stessi elementi della prefabbricazione. Un materiale di grande portata; ma c'era la curiosità di adeguare ai temi dell'edilizia civile tutto il suo potenziale tecnico ma non meno plastico e figurale. Poi negli anni Settanta-Ottanta ho tentato il ferro, cercando di coglierne la “misura” e quella “energia” e quella “forma” che gli sono proprie. Ricordo il Mollificio Bresciano e la Facoltà di Architettura di Milano: credo sia mutato il materiale ma non i caratteri dello spazio. Ma ho frequentato anche il mattone, il legno, il vetro ed ancora altri materiali. Nel '60 ad esempio una ditta della Brianza ha lanciato un feltro intrigante ma in cerca di destino: gli ho regalato – usandolo inso-

A note on “materials and other elements”, by Vittoriano Viganò

«Materials are an inalienable condition for building” - states Vittoriano Viganò -. Each person is the bearer of their own prerogatives, all to be discovered, all to be recovered from the techniques and form, since the first day. I have used many, working in the building industry, with furniture or on objects. I believe I have never betrayed, at least not intentionally, the character and the sense that are recoupable from a piece of work, on a case by case basis, due to its material identity. I acknowledge that I have also made some contribution to the method each time, in front of new material and somehow still without destiny. I have reserved an unprecedented application condition, in the explosive or quietly heroic way of the fifties. I experimented with reinforced concrete in the fifties in the

La Scala sul Garda house and in the Marchiondi Institute in Milan. All historic suggestions of this mixture of the inert materials, binders and traversers pushed me so deeply, so freshly from its advent in France to the experiences of Perret and Le Corbusier. From the great structures of Maillart, Nervi, Morandi, Zorzi, until the use of the same material for prefabrication. The material was large-scale but there was the curiosity to adapt all of its technical, plastic and figural potential to the themes of civil construction.

Then in the seventies and eighties I tried iron, trying to grasp the “measure” and that “energy” and “shape” that are proper to it. I remember the Mollificio Bresciano and the Faculty of Architecture of Milan: I believe the material has changed but not the characters of the space. I also used brick, wood, glass and other materials. In the 1960s,

litamente in verticale, in orizzontale e nei dettagli – l'immagine del cinema Cavour: ed è stato un successo per ambedue. Quando è apparso il nylon, ho immaginato – nei primi anni Cinquanta alla Triennale di Milano – una grande voliera sospesa. Fu una cosa insolita ma accattivante: si può dire che quella rete bianca e perenne incontrò se stessa e che ancora vive per quel particolare impianto tipologico, figurativo, ambientale che un disegno sperimentale le aveva assicurato.

È indubbio che ogni materiale induce verso un suo metodo e una forma sua propria. Ritengo però che sia pur vero che la struttura formale di cui ognuno di noi è portatore costituisce, per così dire, un suo punto d'attesa e di verifica. Voglio dire che non credo vi sia sdoppiamento al variare del mezzo. V'è sdoppiamento di specificità ma non di forma. Voglio dire che ogni esperienza che indaghi il componente materico è un arricchimento linguistico, ma non meno una esaltazione della coerenza metodologica. Valga per tutti l'insegnamento di Mies».

Viganò, V. (1995), “L'architettura dell'esperienza”, in Faroldi E. and Vettori, M.P., *Dialoghi di Architettura*, Alinea, Firenze (seconda edizione 2004).

for example, a company from Brianza launched an intriguing material that was looking for its “destiny”: the felt. I used it unusually vertically, horizontally and in detail – in the cinema Cavour: it was a success for both. When nylon appeared, I imagined – in the early Fifties at the Milan Triennale – a large suspended aviary. It was an unusual but captivating thing: one can say that the white and perennial net met itself and still lives for that particular typological, figurative, environmental system that an experimental design had assured it.

It is undoubted that every material has an incline towards a method and form of its own. However, I believe that it is also true that the formal structure, of which each of us is a bearer, constitutes a point of expectation and verification. I would like to say that I do not believe that there is duplication when

the vehicle changes. There is a doubling of specificity but not of form. I mean to say that every experience that investigates the material component is a linguistic enrichment, but no less an exaltation of methodological coherence. The teaching of Mies is valid for everyone».

Viganò, V. (1995), “L'architettura dell'esperienza”, in Faroldi E. and Vettori, M.P., *Dialoghi di Architettura*, Alinea, Firenze (seconda edizione 2004).

Ernesto Antonini^a, Massimo Rossetti^b, Francesca Giglio^c,

^aDipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

^bDipartimento di Culture del progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

^cDipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

ernesto.antonini@unibo.it

rossetti@iuav.it

francesca.giglio@unirc.it

«Penso che con ogni probabilità oggi siamo tanto interessati ai materiali, perché [...] abbiamo perduto i rapporti con il loro significato, abbiamo una certa nostalgia per un'architettura nella quale i materiali giocano un ruolo più importante.

Gli architetti dovrebbero accettare le tecniche e usare i sistemi costruttivi per dare inizio al processo di invenzione formale che si conclude poi con l'architettura [...].

Tradizionalmente, essere un architetto implicava la necessità di essere un costruttore; il che significa spiegare agli altri come costruire. La conoscenza delle tecniche costruttive (quando non la maestria in esse) era sempre implicita nell'idea di produrre architettura».

Moneo, R. (1988), *Idea of Lasting. A Conversation with Rafael Moneo*, Perspecta n. 24, pp. 203 e 212.

La riappropriazione da parte dell'architetto di un sapere "materico" come propria qualificante competenza rappresenta una priorità, senza la quale è possibile, anzi assai probabile, che si innescino pericolose derive nella gestione del processo progettuale, in parte già riscontrabili. Quale figura privilegiata nel governo del progetto, l'architetto non può sfuggire al compito di presidiare in maniera intelligente e "laica" le tecnologie, se non semplicemente rinunciando a svolgere in modo incisivo il proprio ruolo, non solo culturale, ma anche professionale e contrattuale.

Più che un enciclopedico conoscitore di tecniche, prodotti, materiali, sistemi e soluzioni costruttive, quella che si riafferma

di grande attualità è la figura del progettista consapevole della dimensione materiale e produttiva dei processi: un progettista in grado di dialogare con gli specialisti (senza essere tale), di tradurre opzioni figurative, configurazioni spaziali ed esigenze fruibili in puntuali specifiche tecniche e in dispositivi costruttivi coerenti, efficienti e sostenibili, senza perdere uno sguardo d'insieme sul progetto di architettura come sintesi colta di saperi eclettici e complementari.

Questo Numero di *Techne* centra l'attenzione su tali aspetti, quale occasione di riflessione sui caratteri fondanti della disciplina della Tecnologia dell'Architettura e sulle loro ricadute nella ricerca, nella sperimentazione e nella pratica progettuali. Oltre agli articoli di ricerca e ai saggi, ad alimentare la discussione su *Materia è progetto* sono stati invitati Blain Brownell e Simone Gheduzzi: questo Dossier ospita i loro contributi, ricchi di rimandi al dibattito nazionale e internazionale sul rapporto tra Materiali e Progetto di Architettura, molti dei quali rinviano direttamente ai temi proposti dalla call, evidenziandone implicazioni, prospettive e criticità.

Blaine Brownell, architetto, professore associato e direttore del corso di studi in architettura-progettazione sostenibile presso la Scuola di architettura dell'università del Minnesota (USA), è uno dei più eminenti studiosi di materiali avanzati per l'architettura e il design ed è autore di molte importanti pubblicazioni sul tema. *Simone Gheduzzi*, architetto, è socio fondatore di Diverserighe-studio di Bologna, uno degli studi scelti da Mario Cucinella per la rassegna "Arcipelago Italia" alla Biennale Architettura di Venezia 2018.

INTRODUCTION

«I think that today we are very interested in materials, because [...] we have lost our relationship with their meaning, we have a certain nostalgia for an architecture in which materials play a more important role.

Architects should accept the techniques and use the constructive systems to start the formal invention process which then ends with the architecture [...].

Traditionally, being an architect implied the need to be a builder; which means explaining to others how to build. The knowledge of construction techniques (when not the skill in them) was always implicit in the idea of producing architecture».

Moneo, R. (1988), *Idea of Lasting. A Conversation with Rafael Moneo*, Perspecta n. 24, pp. 203 e 212.

The architect's reappropriation of a "materic" knowledge as his own qualifying expertise is a priority, without

which it's possible, indeed very probable, that dangerous drifts are triggered in the management of the design process, some of which can already be found now. As a privileged actor within the design process management, architect cannot escape the task of an intelligent and "lay" control of the technologies, if not simply by renouncing to play incisively his role, not only cultural, but also professional and contractual.

More than an encyclopaedic connoisseur of techniques, products, materials, construction systems and solutions, what emerges as very timely is a designer aware of the material and productive dimension of the processes: an architect able to dialogue with specialists (without being such), to translate figurative options, spatial configurations and fruibili needs in precise technical specifications and in coherent, efficient and sustainable construction devices, without losing an overview of the whole architectural

design, as a cultured synthesis of eclectic and complementary knowledge.

This issue of *Techne* focuses on these aspects, providing an opportunity to think over the fundamentals of the Technology for Architecture and on their repercussions in research, experimentation and design practice.

In addition to researches and essays published within the Issue, we invited Blaine Brownell and Simone Gheduzzi to feed the discussion on *Matter is design*: this Dossier hosts their contributions, rich in references to the national and international debate on the relationship between Materials and Architectural Design, highlighting implications, perspectives and critical issues of some of the topics of this *Techne* Issue. *Blaine Brownell*, architect, associate professor and director of the Master in Sustainable Architecture-Design at the School of Architecture of University of Minnesota (USA), is one of the most recognized experts in advanced materials for architecture and design, Au-

Alimentato dalle esperienze professionali e di ricerca dei diversi Autori, ogni contributo fornisce una chiave stimolante di riflessione critica sulla condizione dell'architettura contemporanea in relazione ai Materiali di cui essa è costituita e con cui essa si esprime, in particolare quelli che, innovando le tecniche, sollecitano il progetto di architettura a confrontarsi con nuove prestazioni funzionali, caratteri espressivi e valenze formali, da ricondurre a linguaggi coerenti.

Il rapporto, un tempo chiaro e ineludibile, tra principio costruttivo e *verità del materiale*, tra linguaggio stereotomico e linguaggio tettonico, si è alterato e ciò appare, se non la causa, certamente un ingrediente determinante della perdita di identità del Progetto di Architettura e della sua capacità di costituire una sintesi coerente e compiuta di più istanze, acquisendo perciò un valore socialmente percepito come tale. Il senso di *smarrimento* rispetto a combinazioni struttura/forma/involucro/destinazioni funzionali che sembrano avere perso la consapevolezza di un obiettivo comune, si riverbera sulla crisi sempre più forte della significatività e dell'espressività nella scelta dei *materiali* come veicolo – e, insieme, come contenuto – della qualità dello spazio e della stessa qualità del progetto. In questo senso, Simone Gheduzzi, nel suo contributo sulla *Materia Legno*, interpreta il rapporto tra struttura e forma quale paradigma di “immortalità” di un'opera architettonica. Il progetto *Off-cell* per la Biennale 2018 offre l'occasione per esplorare la ricca trama di relazioni che, attraverso il materiale – in questo caso il faggio delle Foreste casentinesi – collega l'architettura, il luogo, i suoi abitanti, il loro lavoro, la memoria del passato e le opportunità di futuro, in un rapporto positivo fra le attività umane, le risorse e il contesto. Il contributo rimanda ad alcuni spunti evocati nel topic

thor of many important publications on the subject.

Simone Gheduzzi, architect, is a founding member of Diverserighstudio based in Bologna, which is of the design firms chosen by Mario Cucinella for “Arcipelago Italia” exhibition at Biennale di Architettura 2018 in Venice. Powered by the professional experiences and research of each Author, both contributions provide stimulating views and keys suitable to critically reflect, on the condition of contemporary architecture in relation to the materials of which it's constituted and by which it expresses itself. Especially those that innovate the techniques, urging Architecture Design to face new functional performances, expressive features and formal values, tracing them back to coherent languages.

If once it was clear and unavoidable, now the relationship has been altered between the constructive principle and the *material truth*, between stereotomic and tectonic language. This appears,

if not the cause, certainly a determining ingredient of the loss of identity of design, as well as of its capacity to provide a coherent and complete synthesis of several instances, thus acquiring a socially perceived value as such. Looking at some combinations of structure / shape / envelope/ functional destinations that seem to have lost the awareness of a common goal, the sense of loss reverberates on the ever stronger crisis of significance and expressiveness of *material choices*, that appear less and less able to be a vehicle - and, together, a content - of both the space and the design quality. In his contribution on *Materia Legno*, Simone Gheduzzi links to some of these issues, by interpreting the relationship between structure and shape as a paradigm of “immortality” of an architectural work. The *Off-cell* project for the 2018 Biennale provides the opportunity to explore the rich weaving of relationships that touch the material – in this case the beech of the Casentinesi For-

n. 2, tra cui quello dei miglioramenti prestazionali di materiali convenzionali che permettono la riproposizione di stratigrafie monomateriali, preservando alcuni caratteri delle tradizioni costruttive da cui derivano, a prezzo però di rilevanti cambiamenti dei cicli produttivi, dell'assetto tecnico del cantiere e della espressività propria del prodotto. Le travi in microlamellare di faggio scelte per *Off-cell* sono emblematiche della attuale proliferazione di materiali, prodotti e tecniche mai sperimentati prima, proposti in molteplici forme, spessori e dimensioni e addirittura personalizzabili *on demand*, per comporre stratigrafie anche molto articolate o conferire effetti peculiari, che spesso impongono al progetto di trovare un difficile equilibrio fra esibire e celare, fra congruenza e dissimulazione.

In una direzione diversa, ma non meno incisiva, premono la potente e non esaurita dinamica di innovazione tecnologica e l'affermarsi di nuove stringenti esigenze imposte dall'emergere della questione ambientale, che hanno disarticolato l'integrità dell'assetto tecnico consolidato, senza tuttavia far emergere un paradigma aggiornato in grado di sostituirlo: ridotte emissioni, bassi consumi energetici, materiali dotati di ottimi profili ecologici, ma edifici spesso privi di *identità*. Non diversamente da quanto risultano prive di *consistenza* le troppe architetture che, invece, ancora pretendono di potersi affermare solo esibendo astratti esercizi stilistici. Muovendo dalla constatazione dell'assenza di una specifica riconoscibilità dell'architettura sostenibile, il contributo di Blain Brownell affronta questo nodo, esaminando otto possibili approcci utili a costruire un linguaggio riconoscibile per un'architettura *compatibile* con i nuovi canoni costruttivi e le nuove opzioni materiche e funzionali. Il saggio rimanda ad alcune tematiche richiamate nel topic n. 3, in particolare al rap-

ests – can be established between the architecture, the place, its inhabitants, their work, the memory of the past and the chances for the future, making a positive relationship between human activities, resources and context.

The contribution returns to some hints evoked in topic n. 2, in particular those stressing on the performance improvements of conventional materials that allow the revival of mono-material stratigraphy, by preserving some characteristics of the construction traditions from which they derive, at the price of significant changes in production cycles, in building site technical set-up and in product's expressiveness too.

The microgluelam beech beams that have been chosen for *Off-cell* are emblematic of the current proliferation of materials, products and techniques never experienced before, which are proposed in multiple shapes, thicknesses and sizes and even customizable *on demand*, to compose stratigraphy even very articulate or to confer spe-

cial effects: this asks that project to find a difficult balance between exhibiting and concealing, between congruence and dissimulation.

In a different direction, but not less incisive, pushes the powerful dynamic of technological innovation and the new stringent demands imposed by the emergence of the environmental issues, which have disarticulated the integrity of the consolidated technical order, without however bring out an updated paradigm that can replace it: reduced emissions, low energy consumption, materials with excellent ecological profiles, but buildings often without *identity*. This is not unlike of the *inconsistency* of too many architectures which still claim to establish themselves by exhibiting abstract stylistic exercises only. Moving from the observation that sustainable architecture have not a specific recognisability, Blain Brownell's contribution tackles this issue, examining eight possible approaches useful to develop a language

porto non risolto tra l'imperativo della riduzione degli impatti ambientali – in termini di rispetto di requisiti di idoneità, efficacia, durabilità, gestione della *end of life* – e le implicazioni progettuali che ne conseguono, e specialmente al rischio di perdita di identità, di incoerenza e di (ir)riconoscibilità del linguaggio, e quindi dell'architettura stessa.

Un terzo tema è quello che osserva come, in risposta -o per reazione- alla complessità crescente dei processi di trasformazione dell'ambiente costruito, si assista oggi a una dilatazione della dimensione "immateriale" del progetto, che sposta progressivamente l'attenzione sui "costituenti immateriali" di cui esso si alimenta, mentre sembra invece attribuire scarsa rilevanza al controllo attento delle sue componenti fisiche e materiali. Componenti che, tuttavia, continuano a fornire contenuti essenziali alla trasformazione che il progetto prefigura, e che, anzi, sono indotte dalla continua comparsa di nuovi prodotti ad amplificare il loro effetto su tutte le decisioni progettuali, a tutte le scale, e sulla stessa capacità dei manufatti progettati di rispondere adeguatamente ed efficacemente alle esigenze, tanto figurative che funzionali.

In parallelo (e con effetti cumulativi), anche l'aumento dei requisiti da soddisfare e l'innalzamento dei livelli di prestazione richiesti investono non solo le dinamiche di evoluzione dei materiali e dei sistemi costruttivi, ma influenzano e modificano i contenuti, gli obiettivi e le pratiche del progetto, alimentando una reciproca interazione su cui le scelte tecnologiche agiscono in maniera non neutrale.

In assenza di un presidio competente e indipendente da parte della disciplina tecnologica, le dinamiche molto intense di innovazione provenienti sia dalla società che da tutti i comparti

making recognizable an architecture compatible with both the new constructive canons and new material and functions.

The essay refers to some subjects of topic n. 3, in particular those focusing on the unresolved relationship between the imperative of reducing environmental impacts – in terms of compliance with the requirements of suitability, effectiveness, durability, end-of-life-management – and the resulting design implications, and, among these, especially those relating to the risk of identity loss, inconsistency and (ir)recognizability of the language and therefore of the architecture itself.

A third theme is that which points on the expansion of the "immaterial" dimension of the design, in response – or by reaction – to the growing complexity of the built environment transformation processes. This progressively shifts the focus on the "intangible constituents" which feed the process,

while it seems instead to attribute little importance to the careful control of its physical and material components.

Such components, however, continue to provide essential contents to the transformation that the design prefigures, which are, indeed, often induced by the restless coming of new manufactured products, which effect affect all design decisions, at all scales, and even the capacity of the buildings to give adequate and effective responses to both figurative and functional requirements.

In parallel (and with cumulative effects), even the increasing in both the number of standards and the performance levels to meet not only affects the innovation dynamics of materials and construction systems, but also influences and modifies the design contents, objectives and practices, fueling a mutual interaction on which the technological choices act in a non-neutral way.

The very intense dynamics of innova-

tion coming from both companies and the society risk being guided only by industrial logics – when not purely commercial, if a competent and independent action of technological watching fails. This pushes design to lost its role and power, becoming inevitably a passive subordinated supply.

«Nel secolo scorso l'umanità si è a tal punto concentrata sulla transizione da una produzione manuale a una meccanizzata che, invece di sentirsi indotta ad affrontare i nuovi problemi di design posti da questa trasformazione senza precedenti, si è limitata a prendere in prestito gli stili dall'antichità, continuando a ripetere modelli tradizionali di decorazione.

Ora la situazione è finalmente mutata. Una nuova concezione del costruire, strettamente connessa alla realtà dei nostri tempi, è emersa, e con essa una nuova concezione dello spazio. Queste trasformazioni, e le superiori risorse tecniche che ne sono il risultato diretto, trovano la loro espressione nell'estrema varietà di forme con cui si presentano i già numerosi esempi di Nuova Architettura.

Basti pensare a quanto importante sia stato il contributo della tecnica moderna in questa fase cruciale della rinascita dell'architettura, e alla rapidità del suo sviluppo».

Gropius, W. (2004), *The New Architecture and the Bauhaus*, Faber and Faber, tr. it. di A. Salvini, *La Nuova Architettura e il Bauhaus*, Abscondita, Milano, pp. 13-16.

tion coming from both companies and the society risk being guided only by industrial logics – when not purely commercial, if a competent and independent action of technological watching fails. This pushes design to lost its role and power, becoming inevitably a passive subordinated supply.

«For the last century the transition from manual to machine production has so preoccupied humanity that, instead of pressing forward to tackle the new problems of design postulated by this unprecedented transformation, we have remained content to borrow our styles from antiquity and perpetuate historic prototypes in decoration.

That state of affairs is over at last. A new conception of building, based on realities, has emerged; and with it has come a new conception of space. These changes, and the superior technical resources we can now command as a direct result of them, are embodied in the very different appearance of

the already numerous examples of the New Architecture.

Just think about how was important the contribution of modern technology in this crucial phase of the rebirth of architecture, and the rapidity of its development».

Gropius, W. (2004), *The New Architecture and the Bauhaus*, Faber and Faber, it. tr. by A. Salvini, *La Nuova Architettura e il Bauhaus*, Abscondita, Milan, pp. 13-16.

Blaine Brownell,
School of Architecture, University of Minnesota, USA

brownell@umn.edu

Introduzione

Progettare architetture sostenibili è un'attività che impegna prevalentemente la parte sinistra del cervello. L'obiettivo di realizzare edifici più efficienti dal punto di vista ambientale richiede l'utilizzo di metriche, *checklist*, linee guida e certificazioni: strumenti indispensabili per valutare le prestazioni, ma inefficaci per rispetto al controllo della qualità architettonica. Essi infatti inducono spesso ad adottare scelte progettuali che si allontanano dagli standard abituali, ma nello stesso tempo producono risultati da essi indistinguibili. È per questo che tali strategie rimangono nascoste, o risultano troppo simili alle soluzioni convenzionali per poter essere apprezzate. Ne consegue che la sostenibilità non riesce a esprimere una propria estetica, uno stile, una forma, o una specifica espressione materica, mentre la comunicazione del cosiddetto "green-design" viene affidata alla narrazione del progetto – un testo scritto, una targa di certificazione, o una descrizione orale – invece che all'architettura stessa. Non che la sostenibilità debba avere un linguaggio proprio, ma la mancanza di una chiara riconoscibilità è un'occasione perduta: l'architettura dovrebbe guardare alle istanze ambientali come a un'opportunità per sviluppare nuove forme di espressione, e ciò costituisce un cambiamento che richiede un ripensamento sulla materialità dell'architettura.

Qualsiasi ragionamento sul linguaggio materico in architettura deve considerare la percezione da parte del fruitore, che in questo caso è la comunità: la percezione umana è il fattore principale di sperimentazione in psicologia, neuroscienze, e altri settori, mentre lo è molto meno in architettura. Ne *Il Senso dell'Ordine*, lo storico dell'arte E. H. Gombrich definisce la "searchlight theory" della mente, spiegando come le persone scansionino e percepiscano continuamente il loro ambiente¹. Sebbene la persona comune

possa non avere una conoscenza approfondita della costruzione degli edifici, possiede tuttavia nei loro confronti un raffinato sistema di aspettative, sviluppato nel corso del lungo periodo di tempo nel quale li ha utilizzati. Considerando che nelle nazioni più sviluppate le persone passano circa il 90% del loro tempo all'interno di edifici, dobbiamo giocoforza ritenere gli utenti osservatori esperti². Di conseguenza, l'architetto non dovrebbe considerare le percezioni degli utenti come un foglio bianco, ma come un *frame* già esistente sul quale lavorare. Nel caso dei materiali, questo approccio è riassunto dall'architetto Jun Aoki nella frase «un materiale è percepito sulla base di un codice, un codice sociale. Quindi noi possiamo manipolare il codice stesso»³.

Le strategie che di seguito vengono presentate sono approcci fondamentali per sviluppare un codice di "identificabilità verde", o una riconoscibilità visiva di un progetto architettonico sostenibile⁴. Gli otto metodi sono tutti di uso corrente, anche se limitato, ma raramente vengono considerati come parte di una struttura olistica. Le strategie sono elencate progressivamente a partire dai metodi generali fino a quelli più specifici – con una sequenza parallela che va dagli approcci passivi a quelli attivi per quanto riguarda la tecnologia e la manutenzione. Le descrizioni, infine, includono definizioni, vantaggi e limiti di ciascuna strategia, con l'intento di stimolare ulteriori approfondimenti.

La giusta dimensione

Dimensionare i componenti e le strutture in maniera adeguata è uno degli approcci di maggior buon senso agli edifici sostenibili. Materiali e strutture non dovrebbero essere sovradimensionati né sovradotati di prestazioni, così come le dimensioni dello spazio progettato non dovrebbero eccedere i fabbisogni dell'utenza.

THE AESTHETICS OF GREEN: MATERIAL EXPRESSION IN SUSTAINABLE ARCHITECTURE

Introduction

Sustainable design is predominantly a left-brain pursuit. The endeavor to make buildings more environmentally responsible is rooted in metrics, checklists, guidelines, and certifications. This approach is necessary for quantifying performance but bad for making architecture. Many ecologically focused design decisions require a departure from standard practice yet have a physical outcome that is indistinguishable from it. Such strategies are either concealed from view or resemble conventional methods too closely to be noticed. As a result, sustainability has no established aesthetic, style, form, or material expression. Instead, so-called green design is communicated via the project story – a textual summary, certification plaque, or verbal description – as opposed to the architecture itself. It is not that sustain-

ability should have a singular style, but the lack of any distinguishing appearance is a lost opportunity. Architecture should capitalize on environmental aspirations as a chance to develop a new means of expression. Such a shift requires thoughtful consideration of the materiality of architecture.

Any consideration of material expression in architecture must consider the perception of its recipient, which in this case is the greater public. Human perception is the primary focus in experimental psychology, neuroscience, and other fields – but less so in architecture. In *The Sense of Order*, art historian E. H. Gombrich established the "searchlight theory" of the mind, revealing how people continually scan and make sense of their environment.¹ Although the average layperson may not have in-depth knowledge of building construction, he or she possesses

a sophisticated set of expectations developed over years of occupying buildings. In fact, given that people in developed nations spend roughly 90 percent of their lives indoors, we should assume this to be an expert audience.² Thus, the architect should not consider the user's perception concerning the built environment as a blank slate but as a pre-existing framework for engagement. In the case of materials, such an approach is summarized by architect Jun Aoki in his claim that «a material is perceived according to a code – a social code. And so we can manipulate the code itself»³.

The following strategies are fundamental architectural approaches to achieving a "visible green" code, or visual evidence of sustainable design in architecture.⁴ The eight methods are all in current, if limited, use – yet they are rarely evaluated as part of a holistic

Un principio a che risulta ampiamente assente dai protocolli di valutazione ambientale, come dimostrano progetti di residenze da 900 e più m² (10.000 sf) per due sole persone, certificati “LEED Platinum”.

In accordo con quanto sostengono Mathis Wackernagel and William Rees in *L'Impronta Ecologica*, la sostenibilità è strettamente correlata agli indici di consumo delle risorse, il che significa che lo strumento dell'efficacia è direttamente proporzionale all'uso che delle risorse si fa⁵. Di conseguenza, le prestazioni ambientali di un edificio non possono essere separate dalla presenza e dal numero degli occupanti. I movimenti per le Tiny-House e le Micro-Unit esemplificano, forse addirittura enfatizzandola, la strategia della “giusta misura”, con la proposta di residenze più piccole rispetto agli standard abituali⁶. A sua volta, Atelier Bow-How ha reso popolare il termine “pet architecture”, in riferimento a edifici che occupano spazi urbani minuscoli e residuali⁷.

Questa ottimizzazione si può applicare anche ai componenti edilizi, le cui dimensioni, peso e distribuzione possono essere ridotti in modo da farli corrispondere alle prestazioni richieste. Sebbene l'uso minimo di risorse possieda vantaggi evidenti, il principio della “giusta misura” è però difficile da applicare a grandi interventi pubblici e a edifici che presentano ampie fluttuazioni del livello di occupazione. Inoltre, questa strategia potrebbe entrare in conflitto con la resilienza strutturale, che richiede l'applicazione di criteri di ridondanza e sovradimensionamento, ai fini di una maggiore sicurezza.

Rifunzionalizzato

«L'edificio più verde è quello già esistente», si è soliti dire⁸. Una nuova costruzione richiede il prelievo, la lavorazione, il traspor-

framework. The strategies are ordered in a progression from comprehensive methods to episodic ones – with a parallel transition from passive to active approaches regarding technology and maintenance. The brief summaries include common assumptions, benefits, and limitations inviting further analysis.

Right-sized

One of the most commonsense approaches to ecological building is to size components and structures appropriately. Materials and systems should not be over-engineered, and the space provided should not exceed the intended occupancy. This principle is largely absent from environmental scorecards, as evidenced by a 10,000 SF (1,000 m²) “LEED Platinum”-rated dwelling designed for only two people, for example. As Mathis Wackernagel

and William Rees discuss in *Our Ecological Footprint*, sustainability is tied to the rate of consumption – meaning that resource efficacy is directly proportional to use.⁵ Thus, architecture's environmental performance cannot be decoupled from the presence and number of building occupants. The Tiny House and Micro-Unit movements exemplify, if not exaggerate, the right-sizing strategy by providing noticeably smaller-than-usual habitats for living.⁶ Atelier Bow-Wow popularized the term “pet architecture” in reference to buildings that occupy tiny, awkwardly shaped urban lots.⁷ Optimization also applies to building components – the size, weight, and distribution of which can be reduced to fit just within performance requirements. Although the minimized use of resources has clear advantages, right-sizing is difficult to apply to large public structures and



to e la trasformazione di consistenti quantità di risorse materiali, cosa che non avviene -o solo in misura molto ridotta- quando si utilizzano invece strutture e componenti esistenti. Secondo Michael Ashby, «nei prossimi 25 anni useremo e, se la scartiamo, butteremo via, tanta ‘roba’ quanta nell'intera storia dell'industrializzazione»⁹.

L'accelerazione dei consumi eccede già in maniera drammatica la capacità naturale della Terra di generare risorse. Di conseguenza, il riutilizzo degli edifici e dei materiali esistenti dovrebbe essere la nostra priorità, non solo una fra le possibili opzioni. Così, quando gli architetti lo rendono evidente grazie ad adeguate scelte progettuali, ad esempio creando distinzioni chiare tra vecchi e nuovi materiali e funzioni, gli utenti sono in grado di individuare come una struttura già presente o una sua parte siano state riutilizzate. Differenziare è anche una strategia chiave nel rendere palese la seconda vita dei materiali recuperati. Il metodo “wapan”, utilizzato da Amateur Architecture Studio, ad esempio, fornisce evidenza del riutilizzo attraverso una composizione apparentemente casuale di vecchi mattoni preesistenti, piastrelle per pavimentazioni, tegole con cui realizzare nuovi

buildings that experience extreme fluctuations in occupancy levels. The strategy may also conflict with the goal of structural resiliency, which calls for material redundancy and abundance in the name of safety.

Repurposed

As is commonly said, «the greenest building is the one that is already there»⁸. New construction requires the harvesting, processing, transport, and fabrication of considerable physical resources. Reusing existing structures and components does not (or, at least it requires significantly less). According to Michael Ashby, «we will use and, if we discard it, throw away as much ‘stuff’ in the next 25 years as in the entire history of industrialization»⁹. The accelerating pace of consumption already dramatically outstrips the Earth's natural capacity to provide

resources. Therefore, the reuse of existing buildings and materials should be our priority; not merely a tentative option. Users can detect when the whole or part of an existing structure has been reused when architects reinforce contrasts in the design, such as making clear distinctions between old and new materials or functions. Difference is also a key strategy in conveying the visible evidence of second life materials. The wapan tiling method employed by Amateur Architecture Studio, for example, indicates a repurposed condition via the seemingly random composition of existing building elements – bricks, pavers, roof tiles – to make new facades. The life cycle benefits of repurposing are clear; however, such a method might not be readily achievable in economies where labor commands a high price or new products are less expensive than refurbished ones.

elementi dell'involucro edilizio. Se i benefici del riutilizzo risultano evidenti nell'ottica del ciclo di vita, questo metodo potrebbe tuttavia non essere conveniente nelle economie dove la manodopera è molto costosa, o dove i prodotti nuovi sono più economici di quelli recuperati.

Nudo

Ci sono molti prodotti da costruzione la cui funzione principale è rivestire altri materiali: un ruolo essenziale nel caso della protezione dagli agenti atmosferici, come per le barriere al vapore o i rivestimenti impermeabilizzanti. Tuttavia, diversi prodotti per finiture oggi correntemente utilizzati – in particolare per applicazioni all'interno – non svolgono funzioni così necessarie. Materiali quali tappeti, materassini resilienti, rivestimenti murari o pannelli fonoassorbenti per controsoffitti, ad esempio, garantiscono comfort e abbattimento del rumore, ma la loro pervasività è principalmente dovuta a un preconetto culturale che li considera necessari per fornire il livello di finitura adeguato a edifici commerciali e istituzionali. Un problema ricorrente legato a tali materiali è che possono causare la Sindrome da Edificio Malato (Sick Building Syndrome – SBS), una patologia a cui sono esposti gli utenti di un edificio a causa della presenza di alcuni componenti chimici che vengono rilasciati nell'ambiente interno. Un altro fattore negativo è legato alla ridotta vita utile di questi prodotti rispetto ad altre parti dell'edificio. Secondo Stewart Brand, «a causa della diversità degli intervalli di sostituzione dei suoi componenti, un edificio viene perennemente fatto a pezzi»¹⁰. Gli «shearing layers of change» (letteralmente *strati mutevoli temporanei* di cui è composto l'edificio, come lo stesso Stewart Brand li chiama) intensificano la produzione di rifiuti a causa della loro

Naked

There are many building products whose primary function is to cover other materials. This role is essential where protection from the elements is concerned, such as with vapor barriers or waterproof coatings. However, many surfacing products used today—particularly for interior use—play less necessary roles. Materials like carpet, rubber base, wall covering, and acoustic ceiling tiles provide some comfort and noise reduction, but their pervasiveness is primarily due to a cultural preconception regarding appropriate commercial and institutional finishes. A perennial problem with such materials is that they can cause Sick Building Syndrome (SBS), a medical condition in which building occupants react negatively to particular chemical ingredients. Another challenge is the relative brevity of their use in com-

parison with other parts of a building. According to Stewart Brand, «Because of the different rates of change of its components, a building is always tearing itself apart»¹⁰. The more temporary «shearing layers of change», as he calls them, burden the waste stream due to their frequent disposal.¹¹ Designing naked, raw, or otherwise exposed architecture is a strategy to reduce or eliminate such layers. For example, the Avatar Academy for Girls in Lavale, India exemplifies this approach while demonstrating that naked buildings need not lack vibrancy or character. Designed by Case Design and Transsolar, the multistory school features exposed surfaces of concrete, masonry, and tile, with conduit mounted directly to the walls and ceiling. While such a raw treatment would be unacceptable for many clients, exposing weather-proof surfaces is, in fact, a more resil-

iente sostituzione¹¹. Progettare architetture «nude», grezze o a vista, è una strategia per ridurre o eliminare tali strati. Ad esempio, la Avatar Academy for Girls a Lavale, India, propone questo approccio e nello stesso tempo dimostra come gli edifici «nudi» non necessariamente abbiano meno vitalità o carattere. Progettata da Case Design e Transsolar, è una scuola multipiano con superfici in calcestruzzo, muratura e piastrelle a vista, in cui gli impianti sono installati direttamente su pareti e soffitti. Sebbene tali soluzioni possano risultare inaccettabili per molti clienti, lasciare a vista le superfici non esposte agli agenti climatici è, in realtà, una strategia di maggiore resilienza in questo tipo di strutture, in particolare quando si fa ricorso alla ventilazione passiva.

Naturale

Sebbene sia così diffuso da rappresentare ormai un *cliché* , l'uso visibile di materiali naturali è diventato sinonimo di progetto sostenibile. L'utilizzo di legno, bambù, carta e altri materiali naturali non solo imprime un calore visivo e tattile, ma testimonia in maniera evidente il contenimento di carbonio. A differenza di calcestruzzo, acciaio, vetro, o materiali di sintesi, la biomassa contiene infatti più carbonio di quanto ne viene rilasciato nel corso del suo prelievo dall'ecosistema, lavorazione e trasformazione. Poiché i climatologi sostengono incessantemente non solo la necessità della riduzione globale di CO₂, ma anche quella del sequestro attivo dei gas serra, i materiali naturali sono diventati uno strumento potente nella lotta al riscaldamento globale. L'ingegnere Bruce King ha chiamato «buildings made of sky» («edifici fatti di cielo») quelli realizzati prevalentemente con tali materiali¹². In *The New Carbon Architecture*, King afferma: «per la

ient strategy in this passively ventilated structure.

Natural

Although it is so pervasive as to be a cliché, the visible application of natural materials lends credence to sustainable design. The use of wood, bamboo, paper, and other biobased materials not only imparts a visual and tactile warmth but also provides evidence of stored carbon. Unlike concrete, steel, glass, or synthetic polymers, biomass contains more carbon than is released during its harvesting, manufacture, and construction. Climate scientists increasingly advocate not only the global reduction of CO₂ but also the active sequestration of the greenhouse gas. Thus, natural materials have become a potent tool in the fight against global warming. Engineer Bruce King calls edifices made primarily of such

materials «buildings made of sky»¹². In *The New Carbon Architecture*, King argues: «For the first time in history, we can and should build pretty much anything out of carbon that we coaxed from the air»¹³. The carbon argument explains much of today's hype surrounding tall timber construction. An extreme version of tall biomass is the Rising Canes system devised by Beijing-based Penda. The modular structure is composed entirely of the natural, rapidly renewable materials of bamboo and rope. The adhesive-free connections also make the system easy to disassemble and reassemble as needed. Although biobased materials like bamboo or wood can vastly outperform steel or concrete from an embodied carbon perspective, the methods of sourcing and transport can lead to significantly different outcomes. Sustainable resource manage-



prima volta nella storia, possiamo e dobbiamo costruire praticamente tutto impiegando solo il carbonio che abbiamo diffuso nell'aria»¹³.

Il tema del carbonio spiega ampiamente la spinta verso le costruzioni alte in legno. Una versione estrema di una biomassa a sviluppo verticale è il sistema Rising Canes ideato dallo studio Penda di Pechino. La struttura modulare è realizzata interamente con materiali naturali e rinnovabili quali bambù e corda. I giunti privi di leganti, inoltre, rendono il sistema facile da disassemblare e riassemble a seconda delle necessità.

ment is critical yet is largely invisible to the user.

Green

The use of living materials is the most visible and familiar method for achieving visible green—literally. Countless studies have revealed that the presence of plants reduces human stress and anxiety, and the growing popularity of *shinrin-yoku*, or “forest bathing,” suggests that immersion in foliage-filled environments is ideal for such restorative effects.¹⁴ The disciplinary separation between architecture and landscape architecture is an artificial and unnecessary one and has conditioned practitioners to assume that the realm of living materials ends at the building envelope. No such distinction exists in reality, and plants can function as a productive and beneficial medium throughout all domains of

the constructed environment. Amazon's Seattle Spheres project by NBBJ, for example, is a novel conservatory designed as a full-time workplace. A modular living wall system with integral irrigation supports over 25,000 plants distributed among 4,000 SF (400 m²) of surface mesh.¹⁵ By marrying a middle-Montane ecosystem with a working environment, Amazon hopes to elevate human performance and satisfaction to a new level. Additionally, the building facade can be considered a platform for supporting ecosystem services. Considering the severity of global biodiversity loss and habitat decline, architects should aim to sustain the lives of other species. Examples of novel material systems include Biological Concrete, which encourages the growth of lichens and mosses, and 12 Blocks, masonry units with ledges for migratory bird nests. In

Sebbene materiali naturali come bambù o carta offrano prestazioni nettamente migliori rispetto all'acciaio o al calcestruzzo in quanto a carbonio incorporato, i metodi di approvvigionamento e trasporto che adottiamo possono influire sensibilmente sui bilanci ambientali. La gestione sostenibile delle risorse è quindi cruciale, ma rimane ancora pressoché invisibile per gli utenti.

Verde

L'uso di materiali viventi è il metodo più evidente e familiare per ottenere una sostenibilità percepibile. Un grande numero di studi ha rivelato come la presenza di vegetali riduca nelle persone stress e ansia, e la crescente popolarità di *shinrin-yoku*, o “forest bathing”, dimostra come l'immersione in ambienti ricchi di fogliame sia l'ideale per ottenere effetti rigeneranti¹⁴. La rigida separazione disciplinare – artificiosa e inutile – tra “architettura” e “architettura del paesaggio”, ha condizionato i progettisti fino al punto di dare per scontato che il regno dei materiali viventi termini dove inizia l'involucro edilizio. Nella realtà, non esiste nessuna differenza del genere e la vegetazione può svolgere un ruolo positivo e benefico in tutti i settori dell'ambiente costruito. Il progetto Seattle Spheres di NBBJ per Amazon, ad esempio, è un nuovo edificio direzionale progettato come ambiente di lavoro a tempo pieno. Un sistema di muro verde modulare con irrigazione integrata alimenta oltre 25.000 piante, distribuite su poco meno di 400 m² (4.000 sf) di rete di supporto¹⁵. Unendo un ecosistema tipico della parte centrale del Montana con un ambiente di lavoro, Amazon confida di migliorare la produttività e il benessere degli utenti. Inoltre, la facciata dell'edificio si offre come una piattaforma di supporto per gli ecosistemi.

Considerando la gravità della perdita di biodiversità e del decli-

addition to wellbeing and habitat support, living systems can also provide thermal insulation, air purification, and other benefits—although it is difficult to tell if such methods are being used in a purely superficial (nonfunctional) manner.

Connected

A related strategy establishes an integral link between interior and exterior environments. For centuries, a deeply ingrained cultural schism has separated the human realm from that of nature—particularly in the West. This rift is evident in the technological and disciplinary ways in which a building is conceptualized differently from its context. In some traditions, such as in premodern Japan, architecture and its surrounding landscape were conceptually linked. By permitting interior and site to be joined as a uni-

fied whole when climate conditions allowed, traditional Japanese builders imparted the measurable benefits of fresh air, sunlight, and views to occupants. Adaptive enclosure systems and materials that support interior-exterior connectivity provide discernible evidence of sustainable thinking—both for enhanced environmental quality as well as energy savings. Architect Vivian Loftness calls this approach “environmental surfing,” defined in part as «maximizing natural conditioning in ways specific to each climate, and minimizing energy and water resource extraction and pollution»¹⁶. Lift Architects' Air Flow(er), for example, is a responsive ventilation system that automatically opens and closes based on the ambient air temperature [Fig. 4]. Based on the phenomenon of thermotaxis, whereby plants react physically to environmental changes, the shape

no degli habitat, gli architetti dovrebbero mirare al sostentamento delle specie viventi, facendo ricorso anche a nuovi materiali che lo facilitino, come il *Biological Concrete*, che favorisce la crescita di muschi e licheni, e *12 Blocks*, elementi in muratura con ripari pensati per ospitare i nidi degli uccelli migratori.

Oltre ad aumentare il benessere e migliorare l'habitat, i sistemi viventi possono inoltre fornire isolamento termico, contribuire a depurare l'aria e produrre altri vantaggi, sebbene sia difficile dire quanto tali metodi incidano effettivamente sulle prestazioni funzionali, e non vengano invece utilizzati solo per il loro aspetto.

Connesso

Questa strategia punta a realizzare un collegamento integrale tra ambienti interni ed esterni. Una scissione culturale fortemente radicata, specialmente in Occidente, ha separato per secoli l'ambiente umano da quello della natura. Questa spaccatura è evidente nella prassi tecnologica e nei metodi disciplinari con cui un edificio viene concepito, differenziandolo dal suo contesto. Secondo alcune tradizioni, ad esempio nel Giappone pre-moderno, l'architettura e il suo intorno erano collegate, permettendo agli spazi interni e al sito di diventare un tutt'uno quando le condizioni climatiche lo consentivano. In tal modo i costruttori tradizionali giapponesi assicuravano alle persone i benefici derivanti dall'aria fresca, dall'illuminazione naturale e dalla vista dell'esterno.

Sistemi di chiusura adattivi e materiali che permettono una connessione interno-esterno forniscono una coerente applicazione

del concetto di architettura sostenibile, grazie ai loro effetti effettivi sia in termini di migliore qualità ambientale che di risparmio energetico. L'architetto Vivian Loftness chiama questo approccio "environmental surfing", che definisce come «massimizzare la climatizzazione naturale in modi specifici per ciascun clima e ridurre al minimo il prelievo di energia e risorse idriche e l'inquinamento»¹⁶.

In questa direzione, *Air Flow(er)* di Lift Architects, ad esempio, è un sistema di ventilazione intelligente con chiusura e apertura automatica in funzione della temperatura ambientale. Basandosi sul principio della termoregolazione, quello grazie al quale le piante reagiscono ai cambiamenti ambientali, il sistema utilizza una lega metallica a memoria di forma per incrementare il flusso dell'aria e l'estensione della superficie trasparente all'aumentare della temperatura, senza l'uso di elettricità. Sebbene la maggior parte degli architetti apprezzi i benefici di un maggiore collegamento tra ambiente esterno e interno, l'applicazione sistematica della strategia di connessione risulta più complicata nel caso di edifici multipiano con elevata profondità del corpo di fabbrica.

Raccogliere

Oltre a utilizzare strategie passive, l'architettura adotta in misura sempre maggiore sistemi attivi per produrre risorse, con approcci che includono una varietà di tecnologie, come i pannelli solari o le turbine eoliche, caratterizzati da un'estetica riconoscibile in quanto generatori di energie rinnovabili. Come conseguenza dell'imperativo sia di ridurre le emissioni di CO₂,

03 |

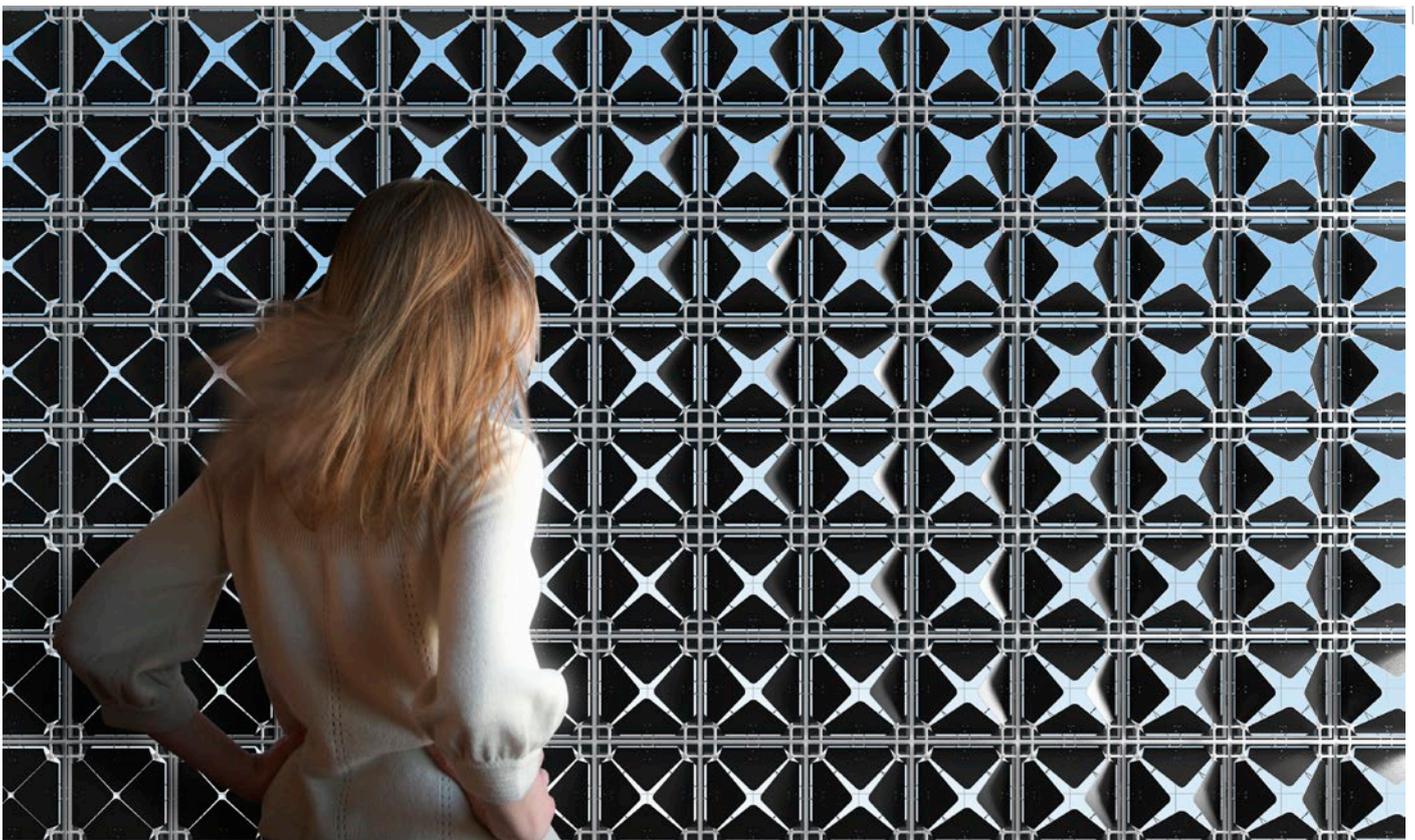


sia di fronteggiare il deterioramento nelle condizioni della rete elettrica, la produzione di energia in loco è più importante che mai. L'uso generalizzato di aria condizionata, che si prevede triplicherà entro il 2050, richiederà capacità di produzione elettrica pari a quelle attuali di USA, Unione Europea e Giappone messe assieme¹⁷. I componenti e sistemi per la generazione di energia integrati negli edifici possono soddisfare buona parte di questa domanda e contemporaneamente garantire un risparmio rispetto all'installazione separata di elementi di rivestimento e sistemi di generazione energetica. Inoltre, tale approccio comporta innovative, sebbene non ancora identificabili, conseguenze di tipo estetico. Ad esempio, nella facciata *Eco-Curtain* di *Inaba Electric Works* – che incorpora dispositivi eolici multicolore ad asse verticale – le singole turbine ruotano lentamente cambiando colore: in questo modo, mentre generano elettricità, conferiscono un aspetto sempre diverso all'edificio. Un altro esempio originale è *DysCrete*, un cemento colorato che, grazie al rivestimento con pigmenti organici simili alla clorofilla, capta radiazione solare e tramite un processo fotoelettrochimico la converte in energia. Tali soluzioni integrate per la generazione di elettricità hanno evidenti vantaggi rispetto alle tradizionali

fonti fossili, sebbene gli utenti debbano provvedere a una continua manutenzione per assicurare prestazioni ottimali.

Intelligente

Le nuove tecnologie intelligenti aumentano le capacità dell'architettura di risparmiare energia e di adattarsi al clima. L'uso di materiali avanzati e di strumenti in grado di rendere gli edifici più responsabili dal punto di vista ambientale è evoluto attraverso diversi stadi: l'architettura in ferro e vetro dell'Inghilterra Vittoriana, ad esempio, ha sfruttato le allora innovative prestazioni di quei materiali allo scopo di massimizzare l'apporto di luce naturale per gli utenti e le piante. Il secolo successivo ci ha introdotto nell'era moderna del fotovoltaico e ha spinto a sviluppare una generazione di edifici a energia solare. In anni più recenti, una serie di progressi comprendenti intelligenza artificiale, robotica e l'Internet delle cose (IoT) ha ispirato le espressioni “seconda età delle macchine” e “quarta rivoluzione industriale (4IR)” per segnalare le possibilità finora sconosciute che queste tecnologie offrono, soprattutto se combinate¹⁸. Ad esempio, la *Smart Paint* messa a punto dall'Università di Strathclyde come materiale da rivestimento tiene monitorata la salute delle strutture e delle superfici:



| 04



composta da nanotubi in carbonio e ceneri volatili, la conduttività della vernice cambia in presenza di tensioni o fenomeni di corrosione, permettendo di conseguenza di anticipare gli interventi di riparazione. *Pointelist* di *KieranTimberlake* è un sensore wireless progettato per monitorare in maniera dettagliata dati climatici negli edifici, come temperatura e umidità. Il sistema plug-in-play permette agli architetti e agli utenti di prendere decisioni con cui massimizzare le performance ambientali, basandosi su dati relativi a fenomeni invisibili. Il proliferare di queste tecnologie intelligenti nel mondo costruito richiederà di considerare una serie di fenomeni concomitanti relativi alla manutenzione, alla sicurezza e all'aumento del *digital divide*.

Conclusioni

delle innovazioni nelle tecnologie edilizie per immaginare pro-

Nel corso della storia, architetti e ingegneri hanno fatto tesoro

memory alloy-powered Air Flow(er) increases air movement and views at higher temperatures without the use of electricity. While most architects and clients can appreciate the benefits of improved indoor-outdoor connectivity, such a strategy is more challenging in the case of structures with deep floor plates and multistory configurations.

Harvesting

In addition to utilizing passive strategies, architecture increasingly adopts active methods to harness resources. Such approaches involve a variety of technologies, such as solar panels or wind turbines, with a recognizable aesthetic of renewable power generation. With the imperative to reduce CO₂ emissions as well as the deteriorating condition of the electrical grid, onsite power production is now more critical than ever. Furthermore, the global

use of air conditioning is anticipated to triple between now and 2050, necessitating additional electrical capacity equal to that of the US, EU, and Japan combined today.¹⁷ Building-integrated power generating materials and systems can satisfy much of this demand while saving on the first costs of providing cladding and renewable systems individually. Additionally, such an approach has novel, yet still identifiable, aesthetic implications. For example, Inaba Electric Works' Eco-Curtain is a wind-powered facade system composed of multicolored vertical axis windmills. The individual turbines slowly rotate throughout the day, their changing colors imparting a continuously transforming character to the building enclosure as they generate electricity. Another original example is Dyscrete, a dye-sensitized concrete that harvests solar energy via a sur-

getti visionari, che sono diventati in molti casi architetture comuni. La finezza "ultraterrena" delle pietre portanti nella Cattedrale di Chartres, la lunghezza della megastruttura del Centre Pompidou, o l'altezza mai raggiunta prima del calcestruzzo armato nella torre Burj Khalifa sono tutti esempi di conquiste nel mondo dei materiali, raggiunte per scopi importanti: religiosi, artistici, o commerciali, rispettivamente. La responsabilità ambientale non è differente: la sostenibilità e i suoi ambiti correlati, come il design rigenerativo, la resilienza e la biofilia meritano un'agenda altrettanto ambiziosa per quanto riguarda l'innovazione nei materiali. In *The Shape of Green* l'architetto Lance Hosey riassume il problema in questo modo: «la sostenibilità INVISIBILE -cioè considerazioni riguardo l'energia incorporata, le risorse materiali, il contenuto in sostanze chimiche- costituisce un'agenda che ci è diventata familiare, in parte perché questi fattori sono facili da regolare e misurare. Ma la sostenibilità VISI-

face coating of organic dyes [Fig. 5]. Similar to chlorophyll, the natural, light-responsive dyes use a photoelectrochemical process to convert light into power. Such building integrated solutions for electricity generation have distinct advantages over traditional fossil fuel-based power sources, although users must account for their ongoing maintenance to ensure optimal performance.

Intelligent

New smart technologies enhance the energy-saving and climate-tuning capacities of architecture. The use of advanced materials and tools to make buildings more environmentally responsive has evolved over several stages of progression. For example, the ferrovitreous architecture of Victorian England channeled the latest capabilities in iron and glass construction

to maximize daylight for people and plants, while the next century ushered in the modern photovoltaic (PV) age and a generation of buildings powered by solar energy. In recent years, a series of advances including artificial intelligence, robotics, and the Internet of Things (IoT) has inspired the terms "second machine age" and "fourth industrial revolution (4IR)" for the unprecedented capabilities they offer—particularly when combined¹⁸. For example, the Smart Paint developed by the University of Strathclyde monitors the health of the structures and surfaces it is used to coat. Composed of aligned carbon nanotubes and fly ash, the paint's conductivity changes when encountering stress or corrosion, thus allowing building owners to anticipate repairs at an early stage. *KieranTimberlake's Pointelist* is a wireless sensor network designed to monitor climate

BILE -quella cioè che investe forma, dimensioni e aspetto- può avere un impatto ancora maggiore sia sulla protezione dell'ambiente che sul comfort»¹⁹.

Si tratta di un obiettivo che oggi occasionalmente configura una forma compiuta o un simbolismo, ma di una strategia che comunque, in molti casi, si sviluppa a partire dalle proprietà dei materiali stessi. Così come l'architettura si adatta per mitigare gli effetti avversi dei cambiamenti climatici, dell'esaurimento delle risorse e della perdita di biodiversità, la comunità probabilmente svilupperà una forma di alfabetizzazione visiva relativa all'uso dei materiali in sintonia con l'ambiente. La lista di strategie presentate in questo articolo fornisce solo una traccia di quello che potrebbe essere uno studio molto più esteso e approfondito, ma speriamo tuttavia riesca a chiarire quanto gli architetti possono impegnarsi alla ricerca di un verde visibile.

NOTE

¹ Gombrich, E.H. (2010), *Il Senso dell'ordine: studio sulla psicologia dell'arte decorativa*, London, UK: Phaidon, 1.

² "Energy Future: Think Efficiency," American Physical Society, September 2008: 52.

³ "A material is perceived according to a code – a social code. And so we can manipulate the code itself" Jun Aoki interviewed in Blaine Brownell, *Matter in the Floating World: Conversations with Leading Japanese Architects and Designers* (New York: Princeton Architectural Press, 2011), 158.

⁴ See Lance Hosey, *The Shape of Green: Aesthetics, Ecology, and Design* (Washington, DC: Island Press, 2012), 6.

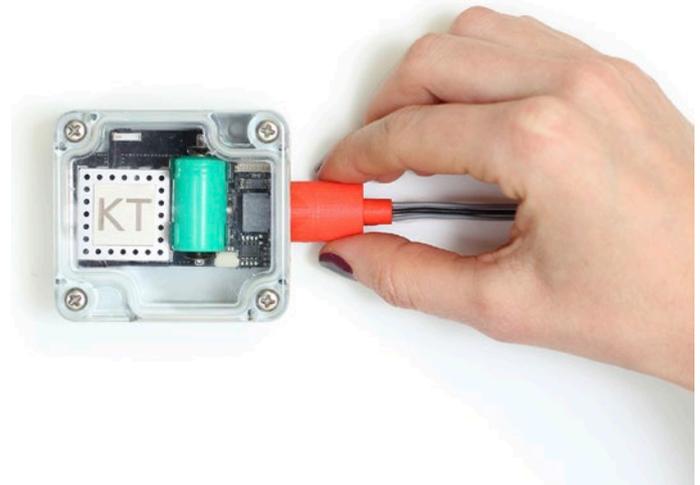
⁵ Mathis Wackernagel & William Rees, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996), 118.

data, such as temperature and humidity, at a granular level in buildings. The plug-in-play system enables architects and users to make informed decisions about largely invisible phenomena to maximize environmental performance. The proliferation of these smart technologies throughout the built environment will be accompanied by concerns about maintenance, security, and the growing digital divide.

Conclusion

Throughout history, architects and engineers have capitalized on innovations in building-related technologies to create aspirational works that now comprise much of the architectural canon. The otherworldly delicacy of load-bearing stone in Chartres Cathedral, the long-span megastructure of articulated service systems in the Centre Pompidou, or the unprecedented

height achieved in reinforced concrete in the Burj Khalifa tower all exemplify material achievements made for significant purposes (religion, art, or commerce, respectively). Environmental responsibility is no different. Sustainability and its related movements such as regenerative design, resilience, and biophilia deserve a similarly ambitious agenda of material innovation. In *The Shape of Green*, architect Lance Hosey summarizes the problem in this way: «INVISIBLE green—considerations such as embodied energy, material sources, chemical content, and so forth—has become a more familiar agenda, partly because these factors are easier to regulate and measure... But VISIBLE green—form, shape, and image—can have an even greater impact on both conservation and comfort»¹⁹. Such an objective occasionally consists entirely of form or symbolism; howev-



⁶ Ryan Mitchell, "What is the tiny house movement," *The Tiny Life*, August 8, 2009. <https://thetinylife.com/what-is-the-tiny-house-movement/>

⁷ Atelier Bow-Wow, *Pet Architecture Guide Book Vol 2* (Tokyo: World Photo Press, 2002).

⁸ Si veda il Fondo Nazionale per la tutela dei beni storici: <https://forum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer> <https://forum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer>

⁹ "We will use and, if we discard it, throw away as much 'stuff' in the next 25 years as in the entire history of industrialization." Michael Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, Second Edition (Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2013), 81.

¹⁰ "Because of the different rates of change of its components, a building is always tearing itself apart." Stewart Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built* (London, UK: Penguin, 1995).

¹¹ Ibid.

er, in many cases, this strategy is based on the capacities of materials themselves. As architecture adapts more substantially to mitigate the adverse effects of climate change, resource depletion, and biodiversity loss, the public will likely develop an enhanced visual literacy regarding the use of environmentally attuned material approaches in design. The list of strategies provided in this article is merely the outline of what could be a much longer and more thorough study; however, it will hopefully clarify how architects can emphasize the pursuit of visible green.

NOTES

¹ E.H. Gombrich, *The Sense of Order: A Study in the Psychology of Decorative Art*, London, UK: Phaidon, 1979, 1.

² "Energy Future: Think Efficiency," American Physical Society, September 2008: 52.

³ Jun Aoki interviewed in Blaine Brownell, *Matter in the Floating World: Conversations with Leading Japanese Architects and Designers* (New York: Princeton Architectural Press, 2011), 158.

⁴ See Lance Hosey, *The Shape of Green: Aesthetics, Ecology, and Design* (Washington, DC: Island Press, 2012), 6.

⁵ Mathis Wackernagel & William Rees, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996), 118.

⁶ Ryan Mitchell, "What is the tiny house movement," *The Tiny Life*, August 8, 2009. <https://thetinylife.com/what-is-the-tiny-house-movement/>

⁷ Atelier Bow-Wow, *Pet Architecture Guide Book Vol 2* (Tokyo: World Photo Press, 2002).

⁸ See the National Trust for Historic Preservation: <https://fo->

¹² “For the first time in history, we can and should build pretty much anything out of carbon that we coaxed from the air”. Bruce King, ed., *The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2017), 1.

¹³ Ibid.

¹⁴ <http://www.shinrin-yoku.org/shinrin-yoku.html>.

¹⁵ <https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-green-walls-to-life>.

¹⁶ “Maximizing natural conditioning in ways specific to each climate, and minimizing energy and water resource extraction and pollution”. https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o.

¹⁷ “Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth,” “L’uso dell’aria condizionata è uno dei fattori chiave della crescita della domanda elettrica mondiale” International Energy Agency, May 15, 2018. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>.

¹⁸ Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution* (World Economic Forum, 2016).

¹⁹ INVISIBLE green – considerations such as embodied energy, material sources, chemical content, and so forth – has become a more familiar agenda, partly because these factors are easier to regulate and measure... But VISIBLE green – form, shape, and image – can have an even greater impact on both conservation and comfort” *The Shape of Green*, 6.

[rum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer](http://www.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer)

⁹ Michael Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, Second Edition (Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2013), 81.

¹⁰ Stewart Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They’re Built* (London, UK: Penguin, 1995).

¹¹ Ibid.

¹² Bruce King, ed., *The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2017), 1.

¹³ Ibid.

¹⁴ <http://www.shinrin-yoku.org/shinrin-yoku.html>.

¹⁵ [https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-](https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-green-walls-to-life)

[green-walls-to-life](https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o).

¹⁶ https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o.

¹⁷ “Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth,” International Energy Agency, May 15, 2018. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>.

¹⁸ Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution* (World Economic Forum, 2016).

¹⁹ *The Shape of Green*, 6.

Simone Gheduzzi,
Diverserighestudio, Bologna, Italia

simonegheduzzi@diverserighestudio.it

“Off-cells. Un luogo del lavoro per le Foreste Casentinesi” è il progetto presentato alla Biennale di Venezia 2018 da Diverserighestudio, uno dei cinque gruppi di progettazione selezionati per il Padiglione Italia dal Curatore Mario Cucinella. “Arcipelago Italia” guarda ai territori distanti, fuori dalle città e dalle aree urbane maggiori: l’area di boschi secolari al confine tra Toscana ed Emilia Romagna ha, ancor più di altre, stimolato a riflettere sulle potenzialità che le risorse materiali del luogo offrono all’architettura e sulla rete di relazioni che esse possono alimentare, diventando occasioni di rilancio di sistemi insediativi indeboliti da decenni di marginalizzazione, ma ancora straordinariamente ricchi di potenzialità. Un tema che presenta parecchi interessanti punti di contatto con quello proposto questo Numero di *Techne*, e sul quale Simone Gheduzzi di Diverserighestudio ha accettato di confrontarsi rispondendo ad alcune domande.

Techne *Nel vostro progetto per “Arcipelago Italia” la foresta e il legno sono il filo conduttore che caratterizza fortemente la proposta e ne connota tutte le scelte: una conseguenza delle caratteristiche del luogo o una precisa scelta progettuale?*

Simone Gheduzzi Certamente una strategia progettuale, ma nata dalla ricerca di un legame profondo dell’architettura con il contesto. Non solo nel senso dell’attenzione per la determinante fisica, ambientale e paesaggistica del luogo in cui si opera, ma anche in un senso più profondo legato alla nostra idea di architettura. Penso che il progettista debba accettare la sfida di riuscire a fornire un significato attuale alla materia che impiega, cercando di renderlo universale. Chiedendosi cosa è la materia e quali le sue potenzialità. Da sempre, materia è ciò che viene percepito dai sensi, che in qualche modo si oppone allo spiri-

to. Ma la materia occupa spazio e si plasma con il lavoro, il che presuppone che essa sia “naturalmente” oggetto di una progettualità. Il progetto è l’atto che le dà una forma, che la compone, ma tenendo conto che la materia porta con sé anche una misura. Penso che l’armonia dell’opera, la sua bellezza, abbia la sua origine proprio nel rapporto di onestà tra materia e forma. Ogni materia esprime un significato, un messaggio, la cui percezione è un fatto culturale e collettivo, stratificato nella storia dei luoghi e delle persone. La materia, dunque, è contesto.

Techne *La call di questo Techne 16 stimola a domandarsi se «la crescente complessità dei processi di trasformazione dell’ambiente costruito abbia dilatato l’attenzione per la dimensione immateriale del progetto» e attribuito invece «minore rilevanza al controllo attento delle sue componenti fisiche e materiali». Come ti collochi rispetto a questa considerazione?*

SG Penso che la domanda costringa “di riflesso” a chiedersi se c’è invece il rischio opposto, cioè se la moltitudine di possibilità offerte dal nostro tempo non possa indurre, persino oltre le intenzioni e le effettive capacità di controllo dei progettisti, un primato delle caratteristiche tecniche dei materiali sulla forma e conseguentemente sulla qualità dello spazio architettonico. Esattamente l’opposto del primato della forma sulla materia propugnato nei primi anni del Novecento da alcuni movimenti artistici, sostenitori di un’estetica indipendente dalla qualità del materiale, e prevalente sia sulla matericità che sulla tettonica, cioè sulla costruzione. Mi pare che entrambe le posizioni siano molto astratte e lontane dalle sfide che oggi l’architettura è chiamata ad affrontare: di certo non sono fra quelle che mi appassionano e alle quali cerco di rispondere nei miei progetti.

OFF-CELLS: A PLACE OF WORK FOR CASENTINESI FORESTS

“Off-cells. A place of work for Casentinesi Forests” is the project presented at Biennale di Architettura 2018 in Venice by Diverserighestudio, one of the five design groups selected for Italian Pavilion by the Curator Mario Cucinella. “Arcipelago Italia” looks to distant territories, outside the cities and major urban areas: this area of secular woods on the border between Tuscany and Emilia Romagna has, even more than others, stimulated to reflect on both the potential that the material resources of the place offer to architecture and the network of relationships that they can form, becoming opportunities for relaunching settlement systems weakened by decades of marginalization, but still extraordinarily rich in potential. A theme that presents several interesting points of contact with that proposed this Issue of *Techne*, and on which Simone

Gheduzzi of Diverserighestudio has accepted to confront, answering some questions.

Techne *The forest and the wood in your design for “Arcipelago Italia” are the common thread that strongly characterizes the proposal and connotes all the choices: a consequence of the characteristics of the place or a precise design choice?*

Simone Gheduzzi Certainly a design strategy, but born from the research for a deep connection between architecture and context. Which we intend as attention to the physical, environmental and landscape determinant of the place where we work, but also in a deeper sense linked to our idea of architecture. I think that the designer has to accept the challenge of being able to provide a current meaning to the matter he employs, trying to make it uni-

versal. Wondering what the matter is, what its potential is, but the matter has always been what is perceived by the senses, which in some way opposes the spirit. But the matter occupies space and is molded by work, which presupposes that it is “naturally” the object for a design. The design is the act that gives it a shape, which composes it, but taking into account that matter also carries a measure. I think that the harmony of the work, its beauty, has its origin precisely in the relationship of honesty between matter and form. Each matter expresses a meaning, a message, whose perception is a cultural and collective fact, stratified in the history of places and people. So matter is context.

Techne *The call of this Techne 16 stimulates us to ask ourselves if «the increasing complexity of the transformation processes of the built environment has*

Techne Quindi non ritieni che esista una reale dicotomia materiale/immateriale nella progettazione?

SG Personalmente trovo molto più interessante riflettere sulla capacità dell'architettura di generare spazi che arricchiscono le relazioni fra le persone e ne stimolano l'esperienza. Utilizzando per questo tutti i mezzi, compresi i materiali con cui l'architettura si modella. E penso che la nozione di "molteplice" e quella di "mutevole" – nelle loro diverse accezioni – segnino la direzione da seguire. «L'architettura del XX si è dedicata alla realizzazione di forme nello spazio, quella contemporanea si dedicherà alla progettazione delle forme nel tempo»: condivido l'acuta riflessione proposta da Anna Barbara in un suo scritto del 2012, che secondo me coglie bene l'evoluzione che la disciplina sta vivendo: uno spostamento dell'immaginario da una architettura duratura che tende all'infinito, ad una adattabile, che prevede e consente nel medesimo spazio infinite possibilità d'uso. Un'architettura che produce esiti effimeri destinati ad esaurirsi in lassi di tempo anche molto brevi, ma grazie alla quale si introduce potentemente nell'opera architettonica la dimensione del mutevole, sia della forma che della materia. Questo approccio progettuale determina nuove sintesi urbane e tipologie architettoniche, che tentano un superamento della *consecutio* degli spazi, attraverso la sperimentazione del molteplice nei processi di progettazione, includendovi cioè la dimensione urbano-sociale, che rende gli individui parte della collettività: lo spazio, non più solo tridimensionale in senso fisico, si compone così di linguaggio, di intelletto, di know-how e di servizi, che influenzano qualsiasi concezione architettonica contemporanea, inducendola a passare da forma chiusa, stabile e specializzata a forma aperta, provvisoria e *liquida*, direbbe Zygmund Bauman. «Le grandi operazioni pos-

widened the attention to the immaterial dimension of the design» and instead attributed «less importance to the careful control of its physical and material components». How do you fit in relation to this consideration?

SG I think that the question forces "reflexively" to ask ourselves if there is instead the opposite risk, that is, if the multitude of possibilities offered by our time can induce a primacy of the technical characteristics of the materials on the form and consequently on the quality of the architectural space, even beyond the intentions and the control ability of the designers. Exactly the opposite of the primacy of form over matter advocated in the early twentieth century, propounding the independence of aesthetics from the quality of the material, and its prevalence on both the materiality and the tectonics, that is on the construction. I think that

both positions are very abstract and far from the challenges that architecture is called to face today: they certainly are not among those questions that fascinate me and to which I try to answer in my designs.

Techne So do not you think there is a real material / immaterial dichotomy in the design?

SG Personally I find it much more interesting to reflect on the architecture's ability to generate spaces that enrich relationships between people and stimulate their experience. Using all the means for this, including the materials by which the architecture is shaped. And I think that the notion of "multiple" and that of "changeable" – in their different meanings – mark the direction to follow. «The architecture of the XX has spent to the creation of forms in space, the contemporary one

sono oggi avvenire attraverso l'organizzazione di apparati provvisori, destinati programmaticamente alla dismissione, apparati temporanei di un gene che cresce solo come specializzazione, intelligenza, esperienza e non come struttura complessa» (Branzi, 2006). Penso che il progetto – e la capacità di produrre innovazione che gli è propria – richieda di superare il *finito* a favore di un sistema capace di mutare continuamente la sua dimensione introversa ed in grado di realizzare sempre nuove attese.

Techne Ma anche quando effimere e mutevoli, le architetture vivono in una dimensione fisica, che è loro propria e imprescindibile. Il che ci riporta al tema iniziale del rapporto con la materia.

SG Penso che per comprendere meglio il potenziale che la contemporaneità ci offre, occorra ridefinire le caratteristiche che l'architettura esprime, immaginandole anch'esse mutevoli, come mutevole è il tempo e multiple le possibilità della materia. In architettura il tempo ha una valenza storica, legata al succedersi degli eventi, una legata alla memoria che l'architettura conserva e una che interagisce con l'esperienza di chi quell'architettura la abita. Questo tempo è scandito non dai ritmi e dalle dinamiche dell'oggetto, ma dal soggetto che percepisce l'oggetto, ed è quello che ci interessa in relazione ai nuovi bisogni che oggi la società esprime. Mentre prima la distanza tra la stabilità del passato e la linearità del futuro veniva percepita in modo progressivo, ora l'insieme di materia, spazio e bellezza in architettura possono portarci in un tempo che ha sì coscienza del passato grazie alla memoria, ma che crea un'attesa per un futuro molteplice, fatto di salti. Ed è in questo cambio di paradigma che si inseriscono le potenzialità dei nuovi materiali che devono consentir possibili adattamenti futuri, nuove funzioni e diversi usi che lo spazio

will dedicate itself to the design of the forms in the time»: I share the acute reflection proposed by Anna Barbara in 2012, which describes well the evolution that the discipline is experiencing: a shift of the imaginary from a durable architecture that tends towards infinity, to an adaptable one, that foresees and allows in the same space a multiplicity possibilities of use. This is an architecture that produces ephemeral results, intended to be exhausted in even very short time laps, but thanks to which the dimension of the changeable is powerfully injected in both form and matter of the architectural work. Such design approach determines new urban syntheses and architectural types, which attempt to overcome the *consecutio* of the spaces, through the experimentation of the manifold in the design processes, including the urban-social dimension, which makes

the individuals part of the community. The space, no longer only three-dimensional in the physical sense, is thus made up of language, intellect, know-how and services, which influence any contemporary architectural concept, causing it to move from a closed, stable and specialized form to an open, provisional and *liquid form*, Zygmund Bauman would say. «The big operations can nowadays happen through the organization of temporary apparatuses, destined programmatically to the disposal, temporary apparatuses of a gene that grows only as specialization, intelligence, experience and not as complex structure». (Branzi, 2006.) I think that the project – and its ability to produce innovation – requires to overcome the *finite* in favour of a capable system of continuously changing its introverted dimension and capable of always achieving new expectations.

costruito dovrà ospitare. Ma anche pelli materiche mutevoli che grazie al coinvolgimento di nuove tecnologie offrono risultati più effimeri e brillanti.

Techne *A cosa ti riferisci in particolare?*

SG Mi vengono in mente due esempi che rimandano entrambi al dinamismo mutevole, ma secondo due approcci radicalmente diversi. Da un lato, l'Allianz Arena di Herzog & de Meuron a Monaco di Baviera, che lo realizza sfruttando una grande quantità di tecnologie di avanguardia. Dall'altro, l'orecchio di Dioniso a Siracusa, in cui il carattere dell'architettura e il suo dinamismo dipendono dal variare delle sonorità, ottenute modellando sapientemente un luogo naturale. Un'architettura che dopo più di duemila anni continua ad essere attuale nella sua forma, materia e capacità di sentire: difficile prevedere che lo Stadio di Monaco saprà esprimere nel tempo la medesima efficienza.

Quando riescono a funzionare insieme per un tempo lungo, forma e materia producono una dimensione di Bellezza permanente, architetture che costruiscono una relazione empatica con chi le abita. Empatica, cioè capace di creare rapporti di reciproca comprensione -come quello fra l'autore-cantore del teatro greco e il suo pubblico, da cui il termine deriva - empatica perché presuppone un livello profondo di coinvolgimento dei sentimenti dell'altro, ossia la capacità di riconoscersi.

Techne *Come sono entrate queste considerazioni nel vostro progetto per la Biennale 2018?*

SG Nel progetto di *Off-cells* convergono molte di queste riflessioni: il principio del multiplo e del mutevole qui si intersecano con il contesto e la storia del luogo, che deve molto del suo carattere

Techne *But even when ephemeral and changing, the architectures live in a physical dimension, which is their own and indispensable. Which brings us back to the initial theme of their relationship with the matter.*

SG I think that we must better understand the potential that contemporaneity offers us, to redefine the characteristics that architecture expresses, imagining them changeable how changeable is time and multiple the possibilities of the matter. Time has an historical value in architecture, linked to the course of events, a further value linked to the memory that architecture preserves and a third one that interacts with the experience of those who inhabit it. This time is marked not by the rhythms and dynamics of the object, but by the subject perceiving the object, and it's what interests us in relation to the new needs that society

today expresses. While we had used to perceive the distance between the stability of the past and the linearity of the future as a progression, now the whole of matter, space and beauty in architecture can take us into a time that is aware of the past thanks to memory, but which creates a waiting for a multiple future, made of jumps. The potentials of new materials belong to this change of paradigm, since they allow to make possible future adaptations, new functions and different uses that the built space will have to host. But also the materic skins can benefit from more ephemeral and brilliant results, thanks to the means provided by new technologies.

Techne *Whatever do you mean in particular?*

SG Two examples come to my mind, both referring to the changing dy-

namism, but according to two radically different approaches. On the one hand, the Allianz Arena of Herzog & de Meuron in Munich, realized with a large amount of high technology. On the other hand, the Ear of Dionysius in Syracuse, in which the character of architecture and its dynamism depend on the variation of the sounds, obtained by wisely modeling a natural place. This architecture continues to be actual in its form, in its material and in its ability to excite, after more than two thousand years: I'm not sure that the Munich Arena will be able to express the same efficiency over time. When they manage to work together for a long time, form and matter produce a dimension of permanent Beauty, then architectures that build an empathic relationship with those who live there. Empathic, that is capable of creating relationships of mutual

Techne *Come si collegano queste soluzioni progettuali con le opzioni materiche e tecnologiche che avete adottato?*

SG Questo concetto della molteplicità funzionale e spaziale ci ha restituito l'idea che il progetto dovesse proporre una ibridazione anche formale, in un'architettura in cui i prodotti derivati dal faggio diventano gli elementi del costruire: struttura portante realizzata con travi in micro-lamellare, ma anche tavolati per le partizioni verticali e pavimenti per le finiture orizzontali interne ed esterne. La ricerca condotta insieme ai tecnologi del legno

understanding - such as that between the author-singer of the Greek theatre and his audience, from which the term derives - empathic because it presupposes a profound level of involvement of the other's feelings, such the ability to recognize oneself.

Techne *How did these considerations come into your design for the 2018 Biennale?*

SG Many of these reflections converge in *Off-cells* design: the principle of multiple and changing intersect with the context and history of the place, which owes much of its character to the centuries-old presence of Camaldolesi hermit monks, the first in the world to be equipped, since the XI century, of a forest code to regulate the protection of woodland resources and the "sustainable" exploitation of wood (a text later printed in 1570 as "Con-

ci porta ad affermare che il faggio è una risorsa molto preziosa, una delle più promettenti per il futuro: un legno estremamente robusto e resistente, con una struttura uniforme che ne permette una facile lavorazione. Inoltre, il faggio è uno dei legnami di latifoglie più reperibile al mondo - e molto abbondante in tutta l'area appenninica italiana- dunque una attenta cura e gestione ecosostenibile della foresta ne garantiscono un'elevata disponibilità. Grazie alle ottime proprietà meccaniche del faggio, nel progetto di *Off-cells* abbiamo potuto utilizzare elementi strutturali ben più snelli delle classiche travi lamellari in abete, e di connetterli con "bulloni" realizzati anch'essi in legno di faggio, assicurandone perfettamente la stabilità e nobilitandone l'aspetto .

Techne Ritroveremo quindi le sottili travi lamellari in faggio di *off-cells* anche nei vostri progetti futuri?

SG Non credo: quella che può essere replicabile è la strategia del progetto, non la sua forma.

La regola della vita eremitica stata data dal beato Romualdo à i suoi Camaldolensi Eremiti ovvero le Costituzioni Camadolensi tradotte nuovamente dalla lingua latina nella toscana, stampate in Fiorenza, Appresso Bartolomeo Sermartelli MDLXXV. Traduzione ad ad opera del monaco camaldolese Silvano Razzi della Eremiticæ Vitæ Regula a Beato Romualdo Camaldulensibus Eremitis tradita, promulgata dal Beato Paolo Giustiniani.

Barbara, A. (2012), *Sensi, Tempo e Architettura. Spazi possibili per umani e non.*

Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa. Il mondo del progetto all'inizio del XXI secolo.*

Poe, E.A. (1995), *La filosofia della composizione e il principio poetico.* A cura di Ettore Bonessio di Terzet.

stitutiones Camaldolensis" by Paolo Giustiniani). This tradition coexists with the needs of a society that expects positive effects from the hybrid architecture that we proposed, benefits that go well beyond the opportunity to have work, on which the program is mainly based. A hybrid architecture that hosts the second transformation activities of beech timber, since 80% of the forest is of beech trees, aiming at fueling the local economy by the benefits from the product chain most profitable phase. But we planned to include also two types of schools: one for the transmission of craftsman knowledge linked to wood crafts - which risks disappearing due to a generational hole - and a second one at university level, devoted to the research and experimentation on the beech and its uses. To which some housing units are added for permanent residents, few more for tourists, a

library and a medical clinic. In a whole where the different functions are articulated in a non-distinction between served and serving spaces.

Techne How do these design solutions connect with the material and technological options you have adopted?

SG This concept of functional and spatial multiplicity has given us back the idea that the project should propose a formal hybridization, performing an architecture in which the products derived from the beech become the main construction elements: load-bearing structure made of micro-gluelam beams, but also boards for vertical partitions and floors, and for interior and exterior horizontal finishes. The research carried out together with the wood technologists leads us to affirm that beech is a very precious resource, one of the most promising for the fu-



01 | Atmosfera. Lo spazio di lavoro

ture: a very robust and resistant wood, with a uniform structure that allows easy processing. In addition, beech is one of the most widely used deciduous wood in the world - and very abundant throughout the Italian Apennine area - so a careful care and environmentally sustainable forest management can ensure its large availability. Thanks to beech excellent mechanical properties, for *Off-cells* we could use structural elements much slimmer than the classic fir gluelam beams, and connect them with "bolts" also made of beech wood, ensuring perfect stability and ennobling the join appearance.

Techne Will we find again the beech thin gluelam beams of *off-cells* also in your future designs?

SG I don't believe: what can be replicable is the strategy of the design, not its form.

The rule of eremitical life was given by the Blessed Romualdo to his Camaldolensi Eremiti or the Constitutions Camadolensi translated again from the Latin language in Tuscany, printed in Florence, Bartolomeo Sermartelli MDLXXV. Translation by the Camaldolese monk Silvano Razzi of the Eremiticæ Vitæ Regula to Blessed Romualdo Camaldulensibus Eremitis betrayed, promulgated by Blessed Paolo Giustiniani.

Barbara, A. (2012), *Sensi, Tempo e Architettura. Spazi possibili per umani e non.*

Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa. Il mondo del progetto all'inizio del XXI secolo.*

Poe, E.A. (1995), *La filosofia della composizione e il principio poetico.* A cura di Ettore Bonessio di Terzet.

F.45 - Parco Biogeno di
dei Membrici Romagna

Santuario de
La Vena

Località
Cancellino

Valico di
Cerrata

Ermo di
Camaldoli

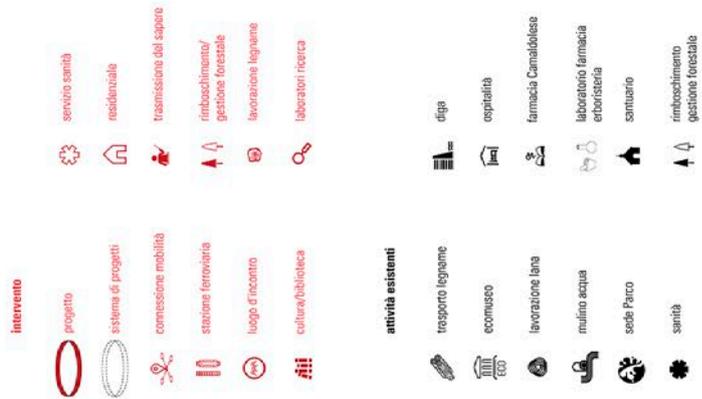
Località
Montemaro

Diga di
Rivaroli

Pratovecchio Sesto
Sofia

Stazione di
Sita - Pratovecchio

Sita



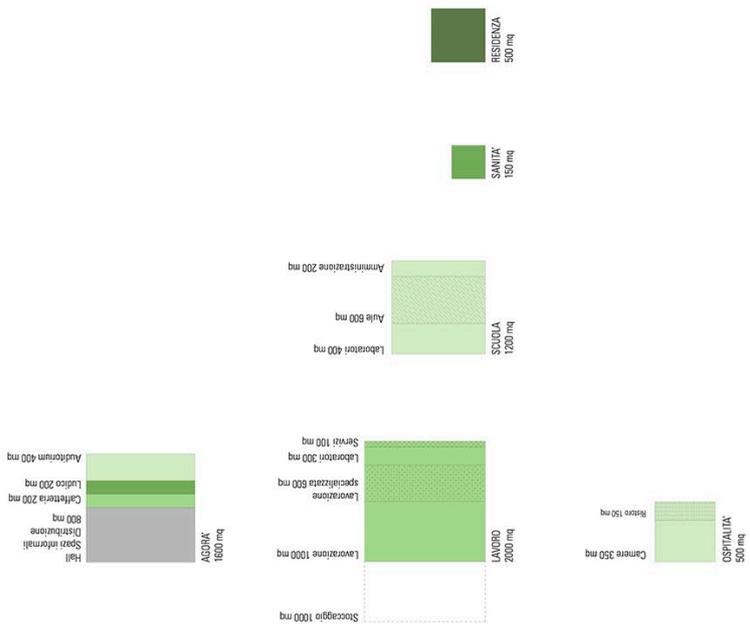
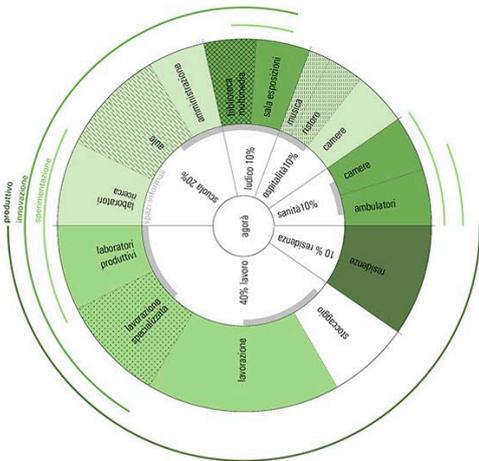
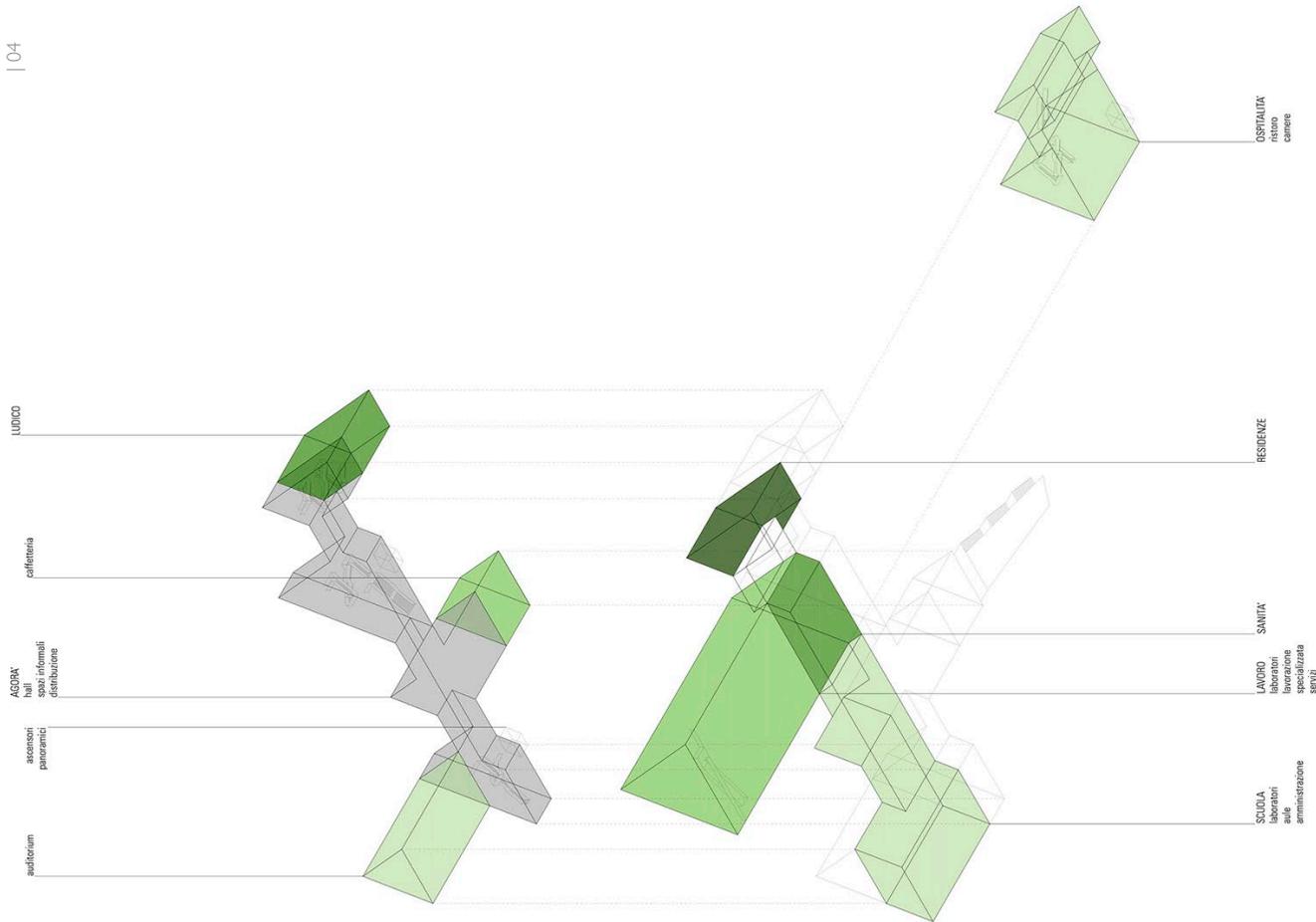
Intervento

- progetto
- sistema di progetti
- connessione mobilità
- stazione ferroviaria
- luogo d'incontro
- cultura/biblioteca
- servizio sanità
- residenziale
- trasmissione del sapere
- rimboscimento/ gestione forestale
- lavorazione legname
- laboratori ricerca

attività esistenti

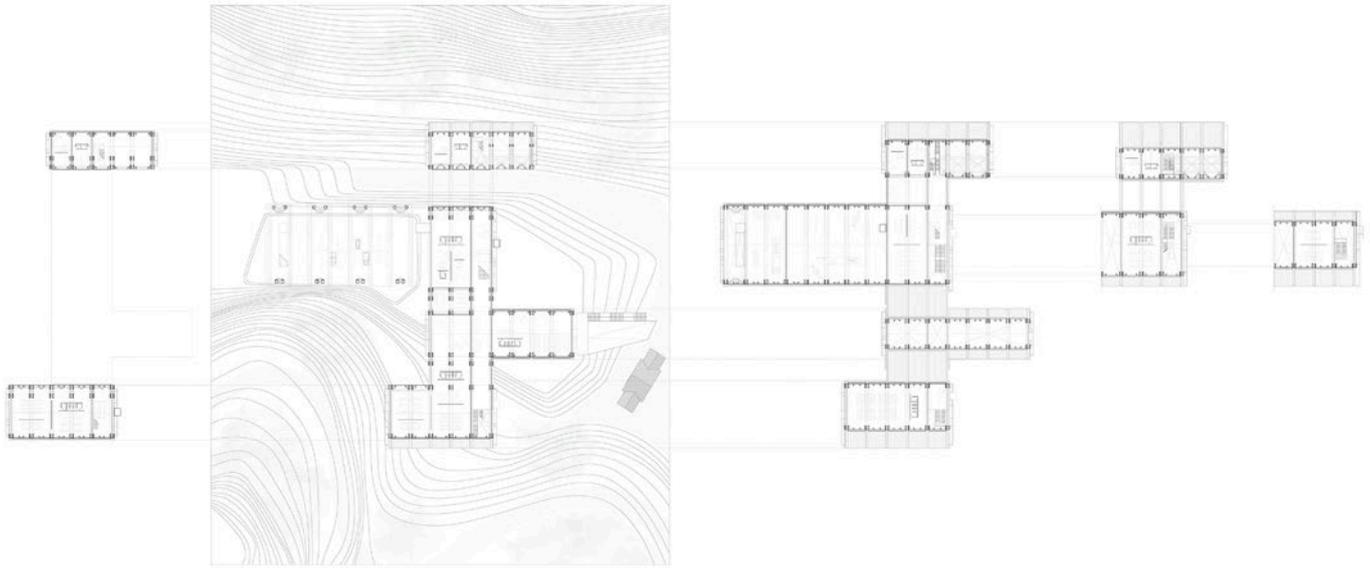
- trasporto legname
- museo
- lavorazione lana
- mulino acqua
- sede Parco
- sanità
- diga
- ospitalità
- farmacia Camaldolese
- laboratorio farmacia erboristica
- santuario
- rimboscimento gestione forestale

03 | Strategia territoriale. Le attività presenti ed il sistema degli interventi

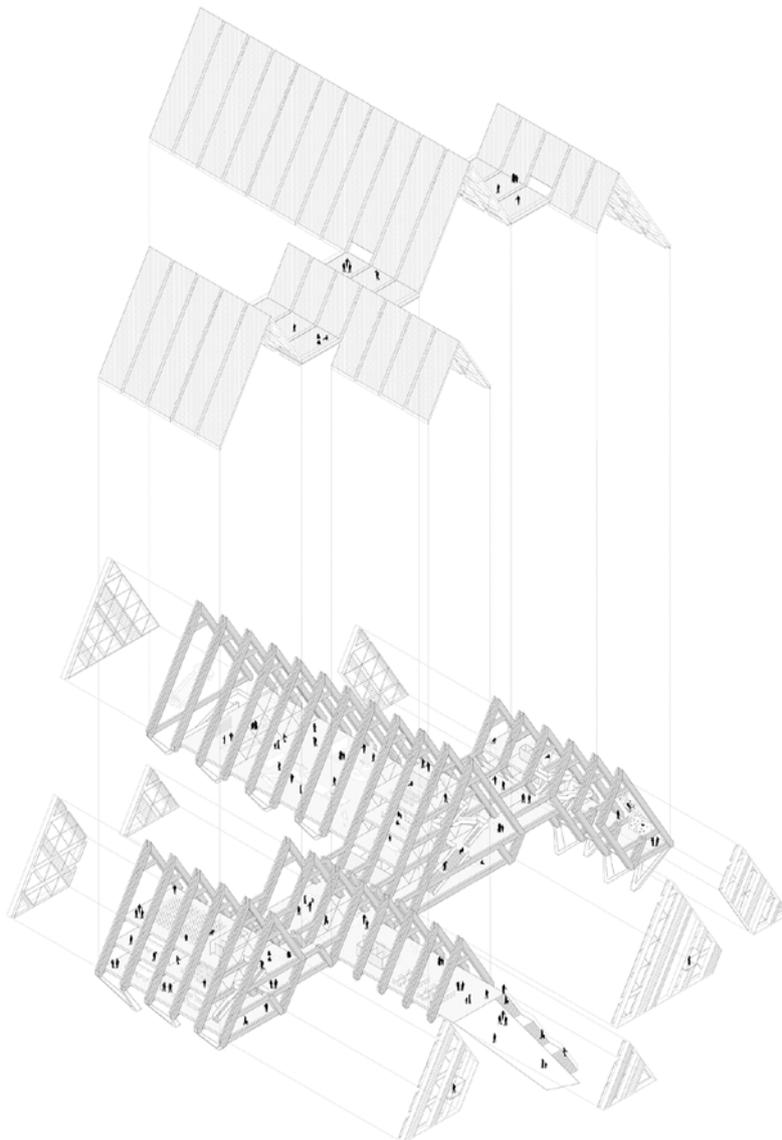




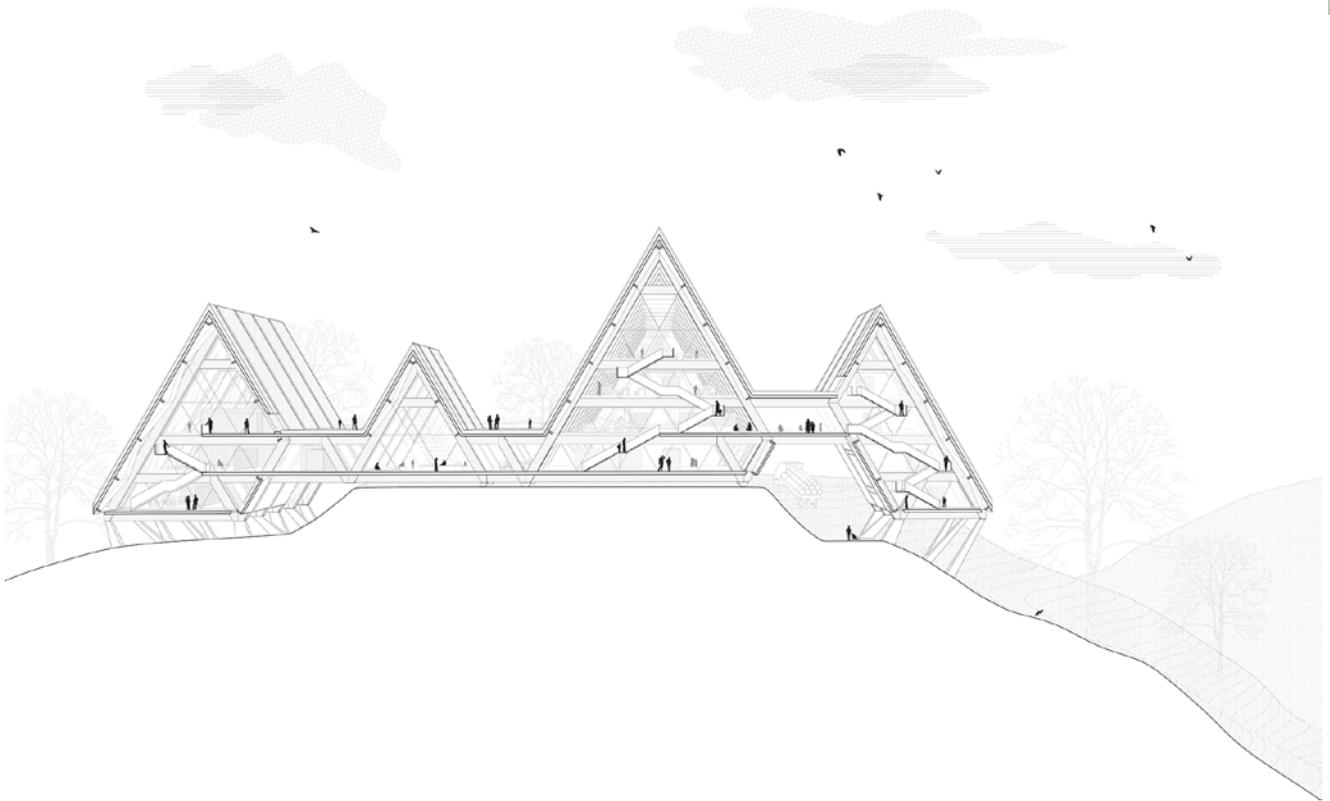
05 | Planimetria. L'edificio ibrido e, lungo il sentiero, il moltiplicatore



06 | Pianta. L'edificio ibrido 06 | Pianta. L'edificio ibrido



07 | Esploso assometrico. La matrice strutturale si replica e definisce spazi e volumi



08 | Sezione prospettica. Free space, spazi comuni e connessioni



09 | Atmosfera. Il progetto nel paesaggio



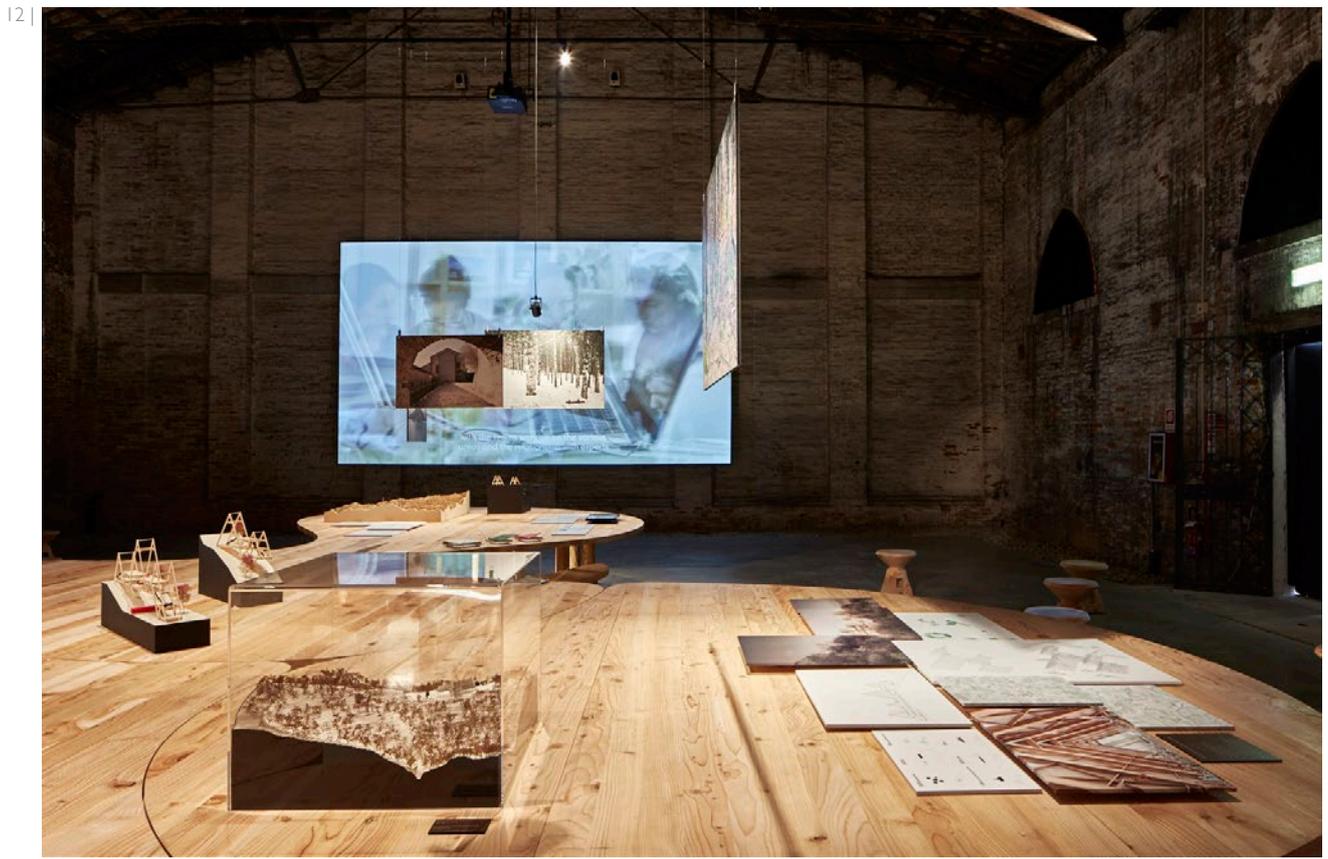
| 10

10 | Assonometria. Visione futura: smontaggio e riconversione in parco a tema

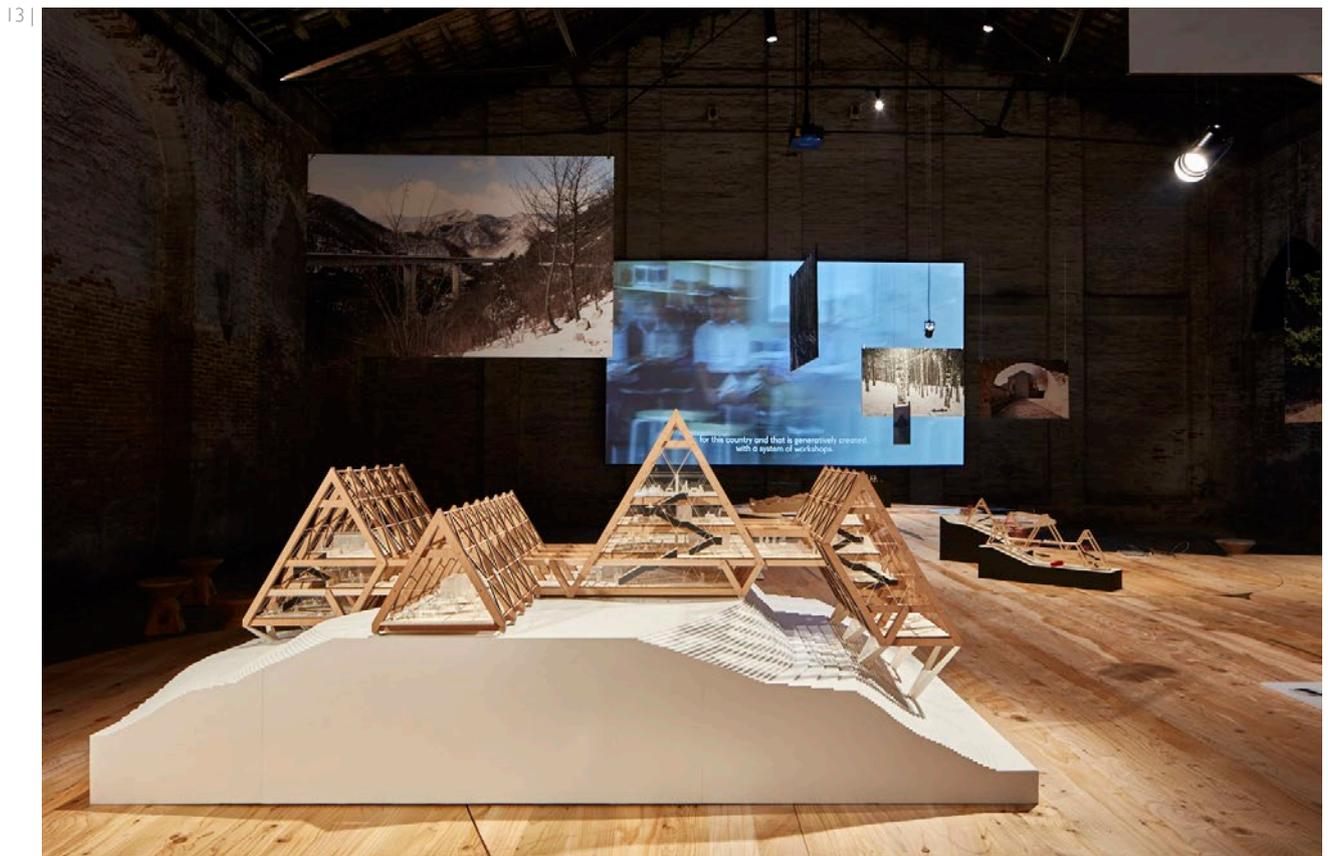


| 11

11 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report



12 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report



13 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report



14 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report



15 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report



16 | Exhibit. Foto a cura di Urban Report

Marco Introini

È senza dubbio il prototipo della città alta e densa al quale tutti ci riferiamo ma non è solo per la sua storia, la sua pianificazione, la sua evoluzione a renderla densa; è densa anche di immaginario dovuta a infiniti racconti, romanzi, film, serial che anche la rendono a qualsiasi visitatore familiare. E per un fotografo? È ancora più densa di immaginario. Jacob Riis, Berenice Abbot, Alfred Stieglitz, Edward Steichen, Ezra Stoller, Joel Meyerowitz, solo per citare alcuni dei pilastri della fotografia che hanno lavorato su Manhattan e che con i loro lavori costituiscono i riferimenti per qualsiasi fotografo che si cimenta sulla città e ai quali avvicinarsi e allontanarsi in una sorta di danza di affinità culturali e di immaginario, e con lo stesso ritmo danzerà con la sua camera e il suo cavalletto attraverso le vie, tra gli edifici, tra i grattacieli.

DENSITY

Is undoubtedly the prototype of the high and dense city, the one we all refer. It's not only its history, its planning, its evolution to make it dense; it is also dense with imaginary due to endless stories, novels, films, serials that also make it to any visitor familiar. And for a photographer? It is even fuller of visionary. Jacob Riis, Berenice Abbot, Alfred Stieglitz, Edward Steichen, Ezra Stoller, Joel Meyerowitz, just to mention some pillars of photography that have worked on Manhattan and that with their works are the references for any photographer who implants himself in the city. To them any approach and move away in a sort of dance of cultural affinity and imaginary. With the same rhythm he will dance with his camera and his easel through the streets, between the buildings, between the skyscrapers.



01 | Manhattan_NYC_USA



02 | Manhattan_NYC_USA



03 | Manhattan_NYC_USA



04 | Manhattan_NYC_USA



05 | Manhattan_NYC_USA



06 | Manhattan_NYC_USA



07 | Manhattan_NYC_USA



08 | Manhattan_NYC_USA



09 | Manhattan_NYC_USA



10 | Manhattan_NYC_USA



|| | Manhattan_NYC_USA



12 | Manhattan_NYC_USA



13 | Manhattan_NYC_USA



14 | Manhattan_NYC_USA



15 | Manhattan_NYC_USA



16 | Manhattan_NYC_USA



17 | Manhattan_NYC_USA

Filippo Angelucci, Cristiana Cellucci, Michele Di Sivo, Daniela Ladiana,
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi G. d'Annunzio di Chieti-Pescara, Italia

filippo.angelucci@unich.it
cristiana.cellucci@gmail.com
michele.disivo@unich.it
daniela.ladiana@unich.it

Abstract. Dopo la serie di eventi sismici 'severi' avviatisi dal 2009, gli strumenti legislativi italiani classificano i materiali di demolizione come rifiuti urbani, nonostante la Direttiva 2008/98/CE tenda entro il 2020 al 70% del riuso/riciclo di tutti i residui da attività umane. Questo produrrà un impoverimento tecnico, culturale, ambientale ed economico per territori già gravemente provati. Partendo dalla convergenza tra i paradigmi dell'Economia Circolare e della *Smartness*, il saggio individua le innovazioni tecnologiche avviabili attraverso una rete di archivi dei materiali da demolizione. Luoghi in cui attività e spazialità collettive, per la selezione, riuso e riciclo, possono generare forme di resilienza socio-organizzativa-collettiva per affrontare perdite e danni subiti dalle comunità.

Parole chiave: Economia circolare; *Smartness*; Riuso; Manutenzione riparativa; Resilienza post sisma.

Un nuovo quadro problematico nei territori del 'cratere'

Il territorio italiano, dal 2009, è stato colpito da eventi sismici di medio-elevata entità¹ che hanno fatto rilevare nuove 'straordinarie' emergenze andate ad aggiungersi alle già gravi situazioni emergenziali definibili però 'ordinarie' per un Paese che da sempre convive con il rischio sismico. Un'ampia porzione del territorio peninsulare, caratterizzata da una struttura insediativa policentrica, storicamente consolidata e ancora economicamente attiva grazie alle sue ricchezze storiche, culturali e paesaggistiche (Ernst & Young, 2016), ha subito ingenti danni.

Dopo questi eventi sismici sono emersi dati importanti riferiti non solo ai danni subiti dal patrimonio edilizio (strutturali, simbolici, immobiliari) e dalle popolazioni (perdite umane, sintomi post-trauma), ma anche alle ricadute negative sul quadro tecnico-costruttivo delle attività di ricostruzione e sulle dinamiche socioeconomiche e insediative dei territori colpiti.

A repository of recovered materials from post-earthquake reconstruction areas

Abstract. Following the series of 'severe' seismic events that began in 2009, Italian legislation classified demolition debris as urban waste, despite Directive 2008/98/EC calling for the reuse/recycling of 70% of all waste from human activities by 2020. This choice will produce a technical, cultural, environmental and economic impoverishment in territories already under heavy strain. Considering the convergence between the paradigms of the Circular Economy and *Smartness*, the essay identifies possible technological innovations for creating repositories of recovered materials. Collective activities and spatialities tied to processes of selection, reuse and recycling can generate forms of social-organisational-collective resilience required to confront the losses and damages suffered by a community.

Keywords: Circular economy; *Smartness*; Reuse; Restorative maintenance; Post-earthquake resilience.

Considerando i dati riferiti a uno dei crateri più estesi² delinea-tosi con la sequenza sismica di Amatrice dall'agosto 2016, emergono alcune evidenze.

Nelle indagini ISTAT riferite a 140 comuni con danni gravi risultava un 66,4% degli edifici residenziali realizzati con struttura portante in muratura (rispetto al valore nazionale del 57,2%), un 22,5% con strutture in CIs armato (su 29,5% nazionale) e un 11,1% con altre tecniche (su 13,3% nazionale). Una quota pari all'82,1% del totale degli edifici aveva uno sviluppo su due o tre piani. Di questo patrimonio edilizio solo l'87,8% era utilizzato per usi strettamente residenziali mentre nel 12,2% si accoglievano usi non residenziali (di servizio, produttivi, ricettivi) con un'importante quota del 30,8% di abitazioni vuote oppure occupate da non residenti (ISTAT, 2017).

Negli stessi comuni, le attività produttive prevalenti registrate dopo l'ultimo censimento del 2011 erano espressione di una vocazione tendenziale per il comparto delle costruzioni pari al 13,7% delle unità locali (contro l'11,6% del quadro italiano) e per il 74,5% nel macrosettore dei servizi (contro il 78,3% nazionale) (ISTAT, 2014). La presenza di 3.878 esercizi attivi nel settore turistico (ricettivi, alberghieri, extra-alberghieri) faceva registrare una disponibilità di 74,2 posti letto ogni mille abitanti su un valore nazionale pari a 80,3 (ISTAT, 2015).

Questi dati fanno emergere un'ampia area insediativa in cui i danni al patrimonio costruito hanno comportato ripercussioni che vanno ben oltre la perdita della casa. Entrano di fatto in gioco impatti negativi sulle economie di un territorio in cui le at-

A New Set of Problems for Territories in the Earthquake 'Crater'

Since 2009, the Italian territory has been plagued by a series of earthquakes of medium-high intensity¹. These events have added new 'extraordinary' emergencies to the already serious 'ordinary' situations supported by a country that has always coexisted with seismic risk. Widespread damage has been suffered by a vast portion of the Italian Peninsula, characterised by a polycentric and historically consolidated structure of settlement that maintains an economic vitality thanks to its historic, cultural and landscape heritage (Ernst & Young, 2016).

These recent earthquakes were followed by the release of important information not only about the damages suffered by Italy's tangible heritage (structural, symbolic, real estate stock) and its population (loss of hu-

man life, post-trauma symptoms), but also regarding the negative effects on the technical-physical aspects of reconstruction and socio-economic and settlement dynamics in affected areas. Information relative to one of the largest seismic craters² caused by the 2016 Amatrice earthquake reveals the following.

ISTAT studies of 140 towns that suffered serious damages show that 66.4% of residential buildings were constructed with masonry load bearing structures (compared to a national average of 57.2%), 22.5% in reinforced concrete (national average 29.5%) and 11.1% using other techniques (vs. 13.3%). Some 82.1% of all buildings are two to three-floors in height. Of this stock, 87.8% was used strictly for residential purposes, while 12.2% also hosted non-residential uses (services, production, hospitality), with a signifi-



01 | Qualità delle macerie nell'area del cratere. Foto di: M. Marà, S. Stampatori, T. Zechini
Quality of wreckage in the post-earthquake crater. Photo by: M. Marà, S. Stampatori, T. Zechini

tività turistico-ricettive, produttive enogastronomico-artigianali e socio-culturali trovano spazio e attrattività proprio nell'essere integrate nel tessuto edilizio dei centri abitati.

Al danno immediatamente rilevabile sugli edifici (crollati o da demolire) si aggiungono così due ulteriori aspetti gravosi differiti nel tempo medio/lungo e per i quali saranno necessarie linee di intervento innovative.

Il primo riguarda i tempi di rimozione delle macerie (Fig. 1): se ridotti, comportano azioni di smaltimento in discariche indifferenziate; se troppo estesi, rallentano la ripresa della vitalità delle zone colpite. Il secondo aspetto è relativo al recupero selettivo dei materiali. In sua assenza, si perdono non solo preziose risorse reimpiegabili, ma si obbliga a una ricostruzione tutta basata sull'uso di materiali nuovi che produrrà un ulteriore impoverimento economico, tecnico e culturale.

Paradigmi convergenti

La materia del costruito non può essere considerata statica e morfologicamente compiuta. È sempre 'artefatta', perché concretizza nel tempo risorse ed energie che le hanno conferito forme, funzioni e significati simbolici. È quindi materia che può vivere

cant quota (30.8%) of homes either unoccupied or occupied by non-residents (ISTAT, 2017).

In the same towns, the primary productive activities registered during the most recent census in 2011 revealed that 13.7% of local units were related to the building industry (compared to an Italian average of 11.6%) and 74.5% to the macro-sector of services (vs. the national value of 78.3%) (ISTAT, 2014).

The presence of 3,878 exercises operating in the tourism sector (hospitality, hotels, non-hotel accommodations) revealed a value of 74.2 beds per every one thousand persons, compared to a national value of 80.3 (ISTAT, 2015). These numbers describe a vast inhabited area in which the repercussions of damages to built heritage extend far beyond the loss of homes. Negative impacts spread to the economies of a ter-

ritory dedicated to tourism-hospitality, food/wine-handicraft, productive and socio-cultural activities, attractive precisely for their integration within the built fabric of historic centres.

The damages immediately visible to buildings (collapsed or to be demolished) are accompanied by additional serious medium/long-term conditions, in need of innovative approaches.

One involves the time required to remove debris (Fig. 1): when limited, debris is indiscriminately consigned to generic landfills; when overly lengthy, the return of activities to affected areas is slowed. A second aspect involves the selective recovery of materials. When absent, we lose precious reusable resources and mandate an approach to reconstruction based entirely on the use of new materials, which produces an additional technical, cultural and economic impoverishment.

più cicli di vita e deve entrare a far parte di un progetto più ampio, per superare la cultura dell'usa e getta senza riparazione (Latouche, 2013) e per diffondere una progettualità basata anche sulla selezione/reintegrazione di resti e spoglie del costruito (Friedman, 2009; Emery, 2011).

Anche la materia risultante da crolli e demolizioni (CeD) delle aree colpite da un sisma può entrare a far parte di circuiti innovativi di recupero, riciclo e riuso.

È infatti riscontrabile una convergenza tra due importanti paradigmi della contemporaneità che stanno comportando mutazioni radicali del costruire, cambiandone le modalità di pensare, utilizzare e integrare le risorse materiali.

Un primo paradigma riguarda l'economia circolare (EC) che oggi attraversa una fase andata ben oltre il superamento del principio 'produci, consuma, smaltisci' (nel caso delle aree colpite dal sisma, demolisci, smaltisci, produci). Si sta infatti diffondendo una visione 'rigenerativa' dell'idea di circolarità (AISEC, 2017) per recuperare materia anche a fine ciclo di vita degli artefatti. Attribuendo all'economia un'accezione «restorative by intention and by design» (MacArthur Found., 2013), l'EC passa da un ruolo reattivo a un approccio proattivo, attraverso tre principali

Converging Paradigms

The material consistency of human building cannot be considered static or morphologically complete. It remains an 'artefact', something that has given concreteness over time to the resources and energies that served to create its forms, functions and symbolic meanings. For this it is matter that lives through more than one lifecycle and must become part of a vaster project, designed to overcome a throwaway society that no longer repairs anything (Latouche, 2013) and favour a design approach based on the selection/reintegration of discarded material and construction waste (Friedman, 2009; Emery, 2011).

Material from collapses and demolitions (C&D) in areas affected by earthquakes can also become part of innovative cycles of recovery, recycling and reuse.

In fact, there is a convergence between two important paradigms of our contemporary era, causing radical changes in how we build, and modifying the ways we think about, utilise and integrate material resources.

An initial paradigm involves the Circular Economy (CE), now in a phase that has moved well beyond simply overcoming the principle of 'producing, consuming, disposing' (in the case of areas affected by earthquakes, demolishing, disposing, producing). A new 'regenerative' vision of circularity is beginning to spread (AISEC, 2017), focused on recovering materials at the end of an artefact's lifecycle. Attributing the notion of «restorative by intention and by design» to the economy (MacArthur Found., 2013), the CE passes from a reactive role to a proactive approach through three principal strategies: the useful applica-

strategie: utile destinazione dei materiali, estensione della vita utile di beni/componenti, intelligente utilizzo/lavorazione dei prodotti (Potting *et al.*, 2017).

Tali strategie comportano gradienti di circolarità crescenti, in base alle innovazioni di processo/prodotto messe in campo. Esse possono contribuire nel trasformare i principi dell'EC in pratiche attive per un'intelligenza collettiva, basata sulla partecipazione degli abitanti nel recupero, riparazione e riuso dei resti del patrimonio andato perduto, come materia da rigenerare. Rintracciando valori anche nei materiali non più utilizzati per reimpiegarli nella ricostruzione (Turner *et al.*, 2003); aumentando i cicli d'uso dei materiali (*life cycle approach*) minimizzando la produzione di scarti (Campioli *et al.*, 2017); favorendo la cura delle risorse di scarto, anche con incrementi valoriali, per incentivarne lo scambio nei futuri cicli edilizi.

Il secondo paradigma riguarda invece la *smartness* (Sm) che, inizialmente, è stata considerata solo per l'efficienza dei dispositivi digitali nelle cosiddette città smart. In seguito, ha assunto importanza nella valutazione dell'efficacia degli strumenti digitali e della qualità delle informazioni per i processi partecipativi e decisionali che incidono sulle trasformazioni del capitale sociale, umano e naturale. Di recente però il paradigma della Sm ha assunto una declinazione legata alle innovazioni dei territori locali, in termini economici, culturali e costruttivi (Bonomi e Masiero, 2014).

È in quest'ultima accezione che la *smartness* converge verso il concetto di circolarità economica, mettendo in gioco creatività e risorse collettive che possono riguardare anche il riutilizzo della materia proveniente dal patrimonio irrimediabilmente danneggiato dal sisma. Attraverso la costituzione di reti di *prosumer* e *maker* (manutentori/riparatori) che condividono esperienze, saperi

of materials, the extended lifespan of a product and its parts, smarter product use and manufacture (Potting *et al.*, 2017).

These strategies comport growing degrees of circularity, based on innovations to process/product. They can contribute to transforming the principles of the CE into active practices for a smarter society, based on the participation of users in the recovery, repair and reuse of the remains of lost heritage, as material to be regenerated. Assigning values to materials that have lost their use by reutilising them for new reconstruction (Turner *et al.*, 2003); increasing the cycles of use of materials (*life cycle approach*) and minimising waste production (Campioli *et al.*, 2017); caring for discarded resources, and increasing their value, to stimulate their exchange within future cycles of construction.

The second paradigm involves *smartness* (Sm), initially considered solely in relation to the efficiency of digital devices for so-called smart cities. Successively, it became an important variable for verifying the efficacy of digital tools and the quality of information used in participatory and decision-making processes affecting transformations of social, human and natural capital. Recently, however, the paradigm of Sm is taking on a definition associated with economic, cultural and building-related innovations in local territories (Bonomi and Masiero, 2014). In relation to this latter definition, *smartness* converges toward the concept of a circular economy, bringing into play creativities and collective resources that may also include the reuse of materials from buildings irremediably damaged by an earthquake. By creating networks of *prosumers* and

tecniche e culture costruttive per l'*upcycling* (Cattaneo, 2013); organizzando filiere basate sulle tecnologie digitali e l'autovalutazione/ricalibrazione per l'uso/riuso delle risorse di scarto; condividendo le forme di reimpiego dei materiali di recupero, come strategia resiliente di comunità per affrontare la ricostruzione (Klein, 2008).

Le evidenze sperimentali

Una serie di sperimentazioni nazionali e internazionali mostrano l'evidente possibilità di superare il modello lineare di produzione dell'economia classica, esplorando le possibili convergenze tra Economia Circolare e *smartness*, passando dall'approccio *cradle to grave* verso nuovi modelli *cradle to cradle* per introdurre nuovi cicli di produzione.

Un primo gruppo di sperimentazioni affronta l'attivazione di circuiti *closing the loop*, considerando tutte le fasi del processo edilizio e le loro relazioni con la biosfera, per contribuire alla definizione di nuovi prodotti (VAMP-TO-Trento, Atlante Inerti).

In alcuni casi si ridefiniscono le esternalità di flusso nel substrato biofisico, con l'attivazione di filiere che utilizzano rifiuti/sottoprodotti (BioBuild/Arup, pannelli da biocompost agricoli; Bus Boarder Platform, riciclo rivestimenti di cavi in rame; C2CA, riciclo materiali di scarto del Cls, RECinert Filiera Ri-inerte). In altri, si attivano scambi di prodotti/rifiuti su piattaforme di beni di seconda mano (Waste Producer Exchange, BreMap, Harvestmap, PlanetReuse, Bexleyheath, interfaccia imprese/enti di beneficenza).

Un secondo gruppo considera le dinamiche tecnologico-sociali come elementi chiave per avviare innovazioni *smart* basate sul *closed loop recycling* per impiegare la materia proveniente dai trattamenti di riciclo *post-consumer*, coinvolgendo gli utenti in

makers who share experiences, technical know-how and cultures of building in favour of *upcycling* (Cattaneo, 2013); organising supply chains supported by digital technologies and self-evaluation/recalibration for the use/reuse of discarded resources; sharing best practices in the reuse of recovered materials as a resilient strategy for communities facing reconstructions (Klein, 2008).

Experimental Evidence

A series of national and international experiments demonstrate the evident possibility of overcoming the linear model of production of a classical economy. By exploring possible convergences between the Circular Economy and *smartness*, they move from a *cradle to grave* approach toward new models of *cradle to cradle* and introduce new cycles of production.

A first group of experiments explores

the activation of circuits that *close the loop*. This means considering all phases of the building process and their relationships with the biosphere to contribute to the definition of new products (VAMP-TO-Trento, *Atlante Inerti*).

In some cases, there is a redefinition of externalities on the biophysical substrate, and the activation of supply chains that use waste/sub-products (e.g. BioBuild/Arup, panels from agricultural biocomposts; Bus Boarder Platform, recycling the protection on copper wires; C2CA, recycling concrete waste materials, RECinert *Filiera Ri-inerte*). Others activate exchanges between products/waste via second-hand platforms (e.g. Waste Producer Exchange, BreMap, Harvestmap, PlanetReuse, Bexleyheath interface between businesses/charity organisations).

A second group considers technological-social dynamics as key elements for

una visione creativa-capacitante per implementare progetti di natura sociale. Si collocano in questo gruppo esperimenti di collettivi come PKMN Architectures, Leon11, WOBO, Basurama che recuperano spazi urbani degradati attraverso il riciclo di oggetti/materiali non riutilizzabili e la partecipazione delle comunità locali. Oppure, i padiglioni OfficinaRoma (Raumlabor) o Rake, realizzati con materiali recuperati da allestimenti espositivi e demolizioni edilizie.

Un terzo raggruppamento riguarda sperimentazioni di *urban mining* (Brunner, 2011) per ottenere risorse da rifiuti urbani, attraverso cicli di mappatura, recupero, stima del potenziale di ri-usabilità/reimpiego di materiali a elevata domanda e difficoltosa reperibilità. In questa prospettiva si collocano le strategie *online* per: il riconoscimento/mappatura di scarti (*e-waste* e non), il controllo di qualità del materiale trattato, i rilevamenti/monitoraggi delle fasi di riciclaggio (MCS-Recycling/Londra, Urban Mine Platform, progetto PUMA-Prospecting the Urban Mines of Amsterdam, progetto Circular-construction/Metabolich per le città di Utrecht e Amersfoort); per l'attivazione di reti di *reverse logistic* dal consumatore al produttore (programma FARE/Fiat Auto Recycling, BorsinoRifiuti start-up, iniziativa Entrajuda in Portogallo, progetto PolyCE per il riciclo delle materie plastiche dai rifiuti elettronici).

Per un archivio dei materiali da demolizione post-sisma

solo come scarti edilizi da smaltire, ma come materia 'viva' da reintegrare nelle filiere della ricostruzione.

initiating *smart* innovations based on *closed loop recycling*, in order to make better use of materials from *post-consumer* recycling treatments, involving users in a creative-enabling vision to implement social projects. This group features experiments by collectives such as PKMN Architectures, Leon11, WOBO and Basurama, which recover degraded urban spaces by recycling non-reusable objects/materials and fostering the participation of local communities. Other examples include the *OfficinaRoma* (Raumlabor) or Rake pavilions, constructed using materials recovered from exhibitions and building demolitions. A third group is linked to experiments in *urban mining* (Brunner, 2011) to obtain resources from urban waste, through cycles of mapping, recovery, estimating the potential of reusability/reuse of materials in high demand and with a scarce availability.

Dal quadro finora evidenziato emerge la possibilità di reinterpretare i materiali provenienti da CeD nelle aree di cratere non

This perspective includes *online* strategies for: the identification/mapping of waste (*e-waste* and non-*e-waste*); the quality control of treated material; the surveying/monitoring of recycling phases (e.g. MCS-Recycling/London, Urban Mine Platform, PUMA-Prospecting the Urban Mines of Amsterdam project, Circular-construction/Metabolich project for the cities of Utrecht and Amersfoort); the activation of *reverse logistics* networks from consumer to producer (e.g. FARE/Fiat Auto Recycling, *BorsinoRifiuti* start-up, Entrajuda initiative in Portugal, PolyCE project for the recycling of plastic materials from electronic waste).

Proposal for a Repository of Post-Earthquake Demolition Materials

The situation described above reveals the possibility to reinterpret C&D

In questo senso, è possibile ipotizzare la costituzione di una rete di archivi dei materiali da CeD per attivare due scenari di resilienza post-sisma riguardanti: le innovazioni di processo, per governare le fasi di recupero/archiviazione nel riavvio immediato della ricostruzione (resilienza socio-organizzativa); le innovazioni di progetto, per integrare gli spazi per il recupero/archiviazione nella ripresa attiva della vita in comunità (resilienza socio-collettiva).

Per quanto riguarda gli aspetti legati al processo di recupero dei materiali da CeD, la Direttiva 2008/98/CE definisce un quadro di riferimento in materia di rifiuti finalizzato alla protezione dell'ambiente e della salute, stabilendo il raggiungimento del 70% di riciclo dei materiali entro il 2020. In particolare, introduce il principio della "gerarchia dei rifiuti" stabilendo una priorità basata sulla prevenzione, preparazione, riutilizzo, riciclo, recupero e, solo per ultimo, lo smaltimento in discarica (EU, 2016). Non prevede quindi solo la riduzione o compensazione delle esternalità negative, ma il passaggio verso una sostenibilità 'forte' in cui tali esternalità non sono prodotte.

Questa logica, confrontata con il quadro legislativo italiano fa emergere alcuni aspetti critici.

Il D.Lgs. 205/2010, in attuazione della 2008/98/CE, all'articolo 184ter definisce la "cessazione della qualifica di rifiuto". Dopo le operazioni di recupero, riciclaggio o riutilizzo, i materiali (oggetti/sostanze) possono essere reimpiegati se risultano comunemente utilizzati, esiste per essi un mercato/domanda, soddisfano requisiti/standard esistenti e non comportano impatti negativi per ambiente e salute.

Tuttavia, proprio a seguito degli eventi sismici del 2016, nella Legge 45/2017 i materiali derivanti da CeD in aree danneggiate

materials from the areas of the earthquake crater as 'living' materials to be reintegrated within reconstruction works, and not merely as waste to be disposed of.

In this direction, it is possible to imagine the constitution of a network of C&D material repositories that can be used to activate two scenarios of post-earthquake resilience for: process innovations for managing the phases of recovery/cataloguing during the immediate start-up of reconstruction works (social-organisational resilience); design innovations that make the spaces required by recovery/cataloguing activities an integral part of the return to life for the community (social-collective resilience).

With regards to aspects linked to the recovery of C&D materials, Directive 2008/98/EC defines a framework of reference for waste focused on pro-

tecting the environment and health, setting the target to recycle 70% of all materials by 2020. In particular, it introduces the principle of "waste hierarchy" based on prevention, preparation, reuse, recycling, recovery and, only lastly, disposal in a landfill (EU, 2016). In addition to a reduction in or compensation of negative externalities, the Directive also foresees a movement toward 'strong' sustainability that no longer produces these externalities. Compared with the Italian legislative framework, this logic reveals a number of critical issues.

Article 184ter of Legislative Decree 205/2010, the transposition of 2008/98/EC, defines the "end of the qualification as waste". Commonly used materials (objects/substances) that have been the object of operations of recovery, recycling and reuse, can be reutilised when there exists a market/

dal sisma sono classificati come rifiuti urbani. Risultano esclusi da questa definizione i resti di beni di interesse architettonico, artistico, storico, simbolico (coppi, mattoni, ceramiche, pietre, legno e opere in metallo lavorato) oppure i materiali tossici da rimuovere. Tali indicazioni, opposte alla filosofia della direttiva europea, hanno intensificato lo smaltimento indifferenziato in discarica, perdendo grandi quantità di materia potenzialmente reimpiegabile a livello locale, nella ricostruzione e nei ripristini ambientali delle cave dismesse.

L'attivazione di una rete di archivi dei materiali da CeD potrebbe contribuire positivamente nel governo dei flussi metabolici di energia e materia del processo di ricostruzione, minimizzando gli impatti ambientali negativi e alimentando lo sviluppo di una resilienza socio-organizzativa, in termini di attività economiche e tecniche a elevato impatto positivo sui territori locali.

Il governo del ciclo di recupero da CeD, proiettato verso una successiva attività di archiviazione dei materiali, deve certamente confrontarsi soprattutto con le questioni della pianificazione, programmazione e prevenzione *ex ante*, in termini di armonizzazione delle fasi di processo (organizzazione dei cantieri, gestione dei flussi, coordinamento con le attività di primo soccorso). Anche le fasi operative di recupero *ex post*, per la costituzione di un archivio dei materiali, presuppongono però una programmazione preventiva delle attività. È necessario operare con tecniche di demolizione selettiva, procedendo alla 'decostruzione' progressiva dell'edificio. La demolizione selettiva è necessaria per ottimizzare le fasi di cantiere rispetto all'obiettivo del recupero/archiviazione (identificazione e selezione delle frazioni materiche, prodotti, scarti, materiali tossici; separazione di elementi, componenti, semilavorati; stoccaggio provvisorio; classificazio-

ne e attribuzione dei codici CER) (Fig. 2). Ma è fondamentale anche per la movimentazione e la localizzazione nel territorio degli impianti di trattamento mobili o per la gestione dei trasporti di scarti e rifiuti presso siti e discariche a media distanza. L'istituzione di una rete di archivi dei materiali, territorializzata nelle aree colpite dal sisma, può comportare esternalità e impatti positivi sociali, economici e insediativi anche dal punto di vista progettuale. Gli spazi dedicati alle attività da svolgersi in un archivio dei materiali da CeD, infatti, devono essere in grado di generare capacità pratiche e comportamentali di resilienza socio-collettiva, per affrontare/superare 'insieme' gli effetti dello shock post sisma.

In quanto tali, dovrebbero prevedere l'impiego di tecnologie soft, deboli e informazionali per integrarsi nei siti di recupero, ma anche negli insediamenti provvisori di emergenza, rispetto a tre momenti temporali.

Un primo momento riguarda l'archiviazione *ex ante*, come attività preventiva e conoscitiva sui materiali. Oggi, la diffusione capillare di dispositivi ICT miniaturizzati, leggeri, indossabili, facilita l'acquisizione/archiviazione di dati multimediali sull'ambiente costruito attraverso l'azione diretta degli utenti e la condivisione delle informazioni in network online (Ratti, 2014; Shootman *et al.*, 2016). A quest'archiviazione, operata spontaneamente dagli abitanti, possono affiancarsi dati provenienti da rilevamenti georeferenziati, geomatici, *photomapping*, ormai basati su dispositivi portatili (micro-laserscan, mini-droni). Questa fase di archiviazione faciliterebbe la costituzione di una banca dati condivisa sulle qualità/quantità essenziali della materia del costruito nelle aree a rischio sismico, già nelle fasi pre-emergenziali, con potenzialità anche per l'avvio di progettualità partecipative pre-

demand, when they satisfy existing requirements/standards and when they do not negatively impact on the environment and health.

Nonetheless, precisely in the wake of the 2016 earthquakes, Law n. 45/2017 classified C&D materials from damaged areas as urban waste, though excluding remains of architectural, artistic, historic or symbolic interest (tiles, bricks, ceramics, stones, wood and metal artefacts) and toxic materials that must be removed. These indications, opposed to the philosophy of the European Directive, intensified the unseparated disposal of waste in landfills, with a resulting loss in large quantities of building materials that could potentially have been reused locally during reconstruction works or the environmental recovery of exhausted quarries. The activation of a network of C&D material repositories could make a

positive contribution to the governance of the metabolic flows of energy and matter involved in processes of reconstruction, minimising negative impacts on the environment and nurturing the development of a social-organisational resilience, in terms of economic and technical activities with a positive influence on local territories. The governance of the cycles of recovering C&D materials, projected toward their successive classification, means confronting above all questions of *ex ante* planning, programming and prevention, intent on harmonising the phases of this process (building site organisation, flow management, coordination with first response activities). In addition, *ex post* recovery actions to favour the creation of a repository of materials presuppose a preventative programme of activities. There is a need for techniques of selective demo-

lition and the progressive 'deconstruction' of a building. Selective demolition serves to optimise site activities in relation to the objective of recovery/cataloguing (identification and selection of groups of materials, products, waste, toxic substances; separation of elements, components, semi-finished products; temporary storage; classification and EWC code assignment) (Fig. 2). However, it is also fundamental for the movement and localisation of mobile treatment plants within different territories, or for managing the medium-distance transportation of discarded materials and waste to different sites and landfills.

A network of material repositories, distributed across areas affected by earthquakes, may generate positive externalities and social, economic and collective benefits also in the field of design. Spaces dedicated to the differ-

ent activities taking place in a repository of C&D materials must be able to generate practical and behavioural capacities for social-collective resilience that help confront/overcome the effects of post-earthquake trauma 'together'. As such, they must foresee the use of soft, weak and information-based technologies, integrated within recovery sites, as well as temporary emergency sites, linked to three moments in time.

The first moment is one of *ex ante* classification, a preventative activity of studying materials. Today, the capillary diffusion of miniaturised, lightweight and wearable ICT devices facilitates the acquisition/cataloguing of multimedia data about the built environment through the direct actions of users and the sharing of information via online networks (Ratti, 2014; Shootman *et al.*, 2016). Information

02 | Tipologie e quantità (in Tonnellate) delle macerie private e pubbliche rimosse dal 2012 al 2017 dopo il terremoto del 2009/L'Aquila. Elaborazione degli autori dal database online "Monitoraggio Macerie" (Fonte: USRA/USRC)

Typology and quantities (in Tons) of public and private wreckage removed from 2012 to 2017 after the 2009 earthquake/L'Aquila. Authors' processing from online database "Monitoraggio Macerie" (Source: USRA/USRC)

ventive di messa in sicurezza, programmazione dei cantieri e/o fiscal based (sisma bonus, art bonus, crowdsourcing).

Un secondo momento concerne l'archiviazione *in itinere*, dopo l'evento sismico, come attività di recupero e selezione dei materiali. Ha ricadute sugli assetti *in situ* (compatibilità tempi/risorse per il recupero manuale, gradi di selezione dei materiali), ed *ex situ* (dislocamenti di prossimità, consumo provvisorio di suolo). L'archiviazione può diventare essenziale per un agire responsabile da parte di tecnici, abitanti, *prosumer* (Peretti *et al.*, 2017) e incentivare una cultura rigenerativa delle risorse. L'archivio dovrebbe allora trasformarsi in luogo delle azioni sistematiche di archeologia edilizia, sull'esempio delle strategie emergenziali adottate dal MiBACT per i beni di valore storico. Influenzando nell'organizzazione degli insediamenti provvisori di emergenza (spazi *open air* per selezione/classificazione, depositi temporanei), ma anche sulla vita delle persone che potrebbero trovare

nelle azioni collettive di identificazione, recupero e archiviazione le prime occasioni di reattività psicologico-sociale per affrontare gli effetti delle perdite familiari e patrimoniali.

Il terzo momento riguarda l'archiviazione *ex post*, in una visione in cui la rete degli archivi dei materiali può protrarre la sua presenza sul territorio come sistema infrastrutturale di laboratori partecipativi a supporto e completamento della ricostruzione.

In questa fase, le attività degli archivi/laboratorio potranno riguardare due filiere di riuso, recupero e riciclo (Misuzu *et al.*, 2013). Le filiere corte, riferibili allo stoccaggio di materiali per il riuso, alla valutazione e/o *upgrading/retrofitting* prestazionale con tecniche e manodopera locale, al riciclo dei materiali di scarto attraverso impianti mobili, all'istituzione di centri di scambio/commercio delle risorse utili recuperate. Le filiere lunghe, connesse allo smaltimento di materiali tossici, all'avvio di residui complessi verso adeguati impianti di trattamento/riciclo

CER code	Descrizione Description	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
17 09/04	Rifiuti misti da costruzione/demolizione Mixed waste from building/demolition	183.711	554.059	490.174	458.481	450.205	316.180	2.464.810
17 01/07	Mix di cemento, mattoni, mattonelle, ceramico Mix of concrete, bricks, tiles, ceramics	10.324	13.802	15.375	11.647	1.571	320	58.039
17 01/01	Cemento Concrete	2.130	7.105	4.578	11.272	4.953	2.492	32.539
17 04/05	Ferro e acciaio Iron and steel	1.096	4.052	3.204	1.144	799	716	11.011
17 05/04	Terra e rocce Soil and rocks	384	4.233	345	1.670	279	1.339	8.250
17 02/01	Legno Wood and timber	882	1.059	943	1.124	1.191	904	6.183
17 03/02	Miscela bituminosa Asphalt mix	419	833	1.306	572	134	473	3.826
17 06/04	Materiali isolanti Insulating materials	342	332	192	291	242	202	1.601
17 08/02	Materiali a base di gesso Plaster-based materials	222	341	213	158	192	147	1.273
17 04/07	Metalli misti Metal mix	368	288	31	18	35	47	787
17 02/03	Plastica Plastic materials	43	64	156	28	48	59	398
17 01/02	Mattoni Bricks	6	2	0	152	172	75	367
17 02/02	Vetro Glass	49	55	34	20	12	17	187
17 04/04	Zinco Zinc	4	19	0	52	22	37	134
17 01/03	Mattonelle e ceramiche Tiles and ceramic elements	0	15	40	23	24	17	119
17 04/02	Alluminio Aluminium	13	19	3	7	26	6	74
17 04/01	Rame, bronzo, ottone Copper, bronze, brass	3	6	10	1	6	3	35
17 04/11	Cavi Electrical cables	5	5	6	0	0	0	16
17 04/06	Stagno Tin	0	3	1	0	0	0	4
17 04/03	Piombo Lead	0	0	0	0	0	0	0

GER code	Descrizione Description	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
17 09/04	Rifiuti misti da costruzione/demolizione Mixed waste from building/demolition	9.603	33.600	44.423	56.695	64.503	69.297	269.311
17 01/07	Mix di cemento, mattoni, mattonelle, ceramico Mix of concrete, bricks, tiles, ceramics	30	18	129	4.944	456	0	5.593
17 01/01	Cemento Concrete	0	0	130	300	848	1.354	2.632
17 04/05	Ferro e acciaio Iron and steel	32	227	93	271	215	333	1.171
17 02/01	Legno Wood and timber	16	106	56	89	176	266	709
17 03/02	Miscela bituminosa Asphalt mix	98	0	83	153	54	94	467
17 05/04	Terra e rocce Soil and rocks	0	0	76	227	0	33	336
17 06/04	Materiali isolanti Insulating materials	5	26	31	80	102	80	304
17 08/02	Materiali a base di gesso Plaster-based materials	50	45	1	42	51	29	218
17 01/02	Mattoni Bricks	0	0	0	50	0	4	54
17 04/04	Zinco Zinc	3	0	29	0	12	0	44
17 02/02	Vetro Glass	0	6	5	9	14	3	37
17 02/03	Plastica Plastic materials	1	0	1	9	2	16	31
17 04/07	Metalli misti Metal mix	0	0	1	3	15	1	20
17 01/03	Mattonelle e ceramiche Tiles and ceramic elements	0	9	0	8	0	2	19
17 04/02	Alluminio Aluminium	0	1	0	2	0	0	3
17 04/01	Rame, bronzo, ottone Copper, bronze, brass	0	0	0	0	0	0	0
17 04/11	Cavi Electrical cables	0	0	0	0	0	0	0

17 09/03	Rifiuti da costruzione + sostanze pericolose Building waste + dangerous elements	565	1.246	665	563	586	382	4.007
17 09/01	Rifiuti da costruzione/demolizione + Mercurio Building/demolition waste + Mercury	376	796	1.044	669	369	327	3.581
17 06/05	Materiali da costruzione + amianto Building materials + asbestos	191	234	121	25	68	39	678
17 04/09	Rifiuti metallici + sostanze pericolose Metal waste + dangerous elements	16	143	253	140	6	61	621
17 09/02	Rifiuti da costruzione/demolizione + PCB Building/demolition waste + PCB	16	115	42	103	78	51	405
17 01/06	Materiali isolanti da costruzione + amianto Insulating building materials + asbestos	92	111	186	9	4	1	403
17 05/05	Fanghi di dragaggio + sostanze pericolose Dredging sludge + dangerous elements	2	63	37	0	29	0	161
17 03/01	Miscela bituminosa + catrame di carbone Asphalt mix + coal based tar	14	70	0	0	0	0	84
17 05/03	Terra e rocce + sostanze pericolose Soil and rocks + dangerous elements	0	22	0	1	3	0	26
17 02/04	Vetro, plastica, legno + sostanze pericolose Glass, plastic, timber + dangerous elements	0	1	18	2	2	2	25
17 08/01	Materiali a base di gesso + sostanze pericolose Plaster-based materials + dangerous elements	0	0	0	0	0	23	23
17 06/01	Materiali isolanti + amianto Insulating materials + asbestos	6	1	0	3	0	0	10
17 04/10	Cavi, impregnati di olio, catrame, carbone ecc. Electrical cables + oil, tar, coal etc.	0	1	0	0	0	0	1

17 09/01	Rifiuti da costruzione/demolizione + Mercurio Building/demolition waste + Mercury	0	28	89	101	85	79	382
17 06/05	Materiali da costruzione + amianto Building materials + asbestos	1	6	3	79	74	83	226
17 09/03	Rifiuti da costruzione + sostanze pericolose Building waste + dangerous elements	18	29	0	0	79	47	173
17 04/09	Rifiuti metallici + sostanze pericolose Metal waste + dangerous elements	0	0	5	23	17	0	45
17 09/02	Rifiuti da costruzione/demolizione + PCB Building/demolition waste + PCB	12	4	0	20	0	0	36
17 06/03	Altri materiali isolanti + sostanze pericolose Other insulating materials + dangerous elements	0	2	6	2	11	0	21
17 05/05	Fanghi di dragaggio + sostanze pericolose Dredging sludge + dangerous elements	0	0	0	16	0	2	18
17 05/03	Terra e rocce + sostanze pericolose Soil and rocks + dangerous elements	0	0	0	0	4	0	4
17 06/01	Materiali isolanti + amianto Insulating materials + asbestos	0	0	0	0	0	0	0

o discariche specializzate, ma anche all'attivazione di ricerche e studi sulle culture tecniche locali, in cooperazione con centri di ricerca e università.

Riflessioni sul dibattito in corso La quantità di macerie rimosse nelle aree di cratere italiane dal 2009 ha assunto dimensioni tali da richiedere un approccio diverso da quello del semplice smaltimento in discarica, anche perché è probabilmente destinata a crescere a fronte di un altro allarmante dato. Secondo il rapporto ANCE-CRESME del 2012, le aree a elevato rischio sismico in Italia sono infatti pari a circa il 44% della superficie nazionale; su tali aree insiste un patrimonio del 60% di edifici in pessimo o mediocre stato di conservazione, costruito prima dell'entrata in vigore della normativa antisismica per nuove costruzioni del 1974.

Intervenire su questo patrimonio edilizio per migliorarne resistenza/resilienza strutturale e abbatterne l'elevato grado di vulnerabilità potrebbe quindi non essere sufficiente.

È necessario agire secondo una visione ampliata che mette in gioco altri livelli di resilienza, socio-organizzativa e socio-collettiva, per affrontare le emergenze.

L'ipotesi di istituire una rete di archivi dei materiali provenienti da crolli e demolizioni, in questo senso, può delineare scenari di innovazione tecnologica nel settore delle costruzioni con forti valenze e ripercussioni nei territori locali: sia sul piano delle strategie di recupero/rigenerazione dell'ambiente costruito, sia nel campo della riattivazione di economie e vitalità/creatività delle comunità insediate, altrimenti destinate a inevitabili migrazioni. Innovazioni in cui le azioni di valorizzazione, cura e riparazio-

provided by geo-referenced and geomatic surveys and photo mapping – now possible using portable devices (micro-laser-scan, mini-drones) – can accompany this process of spontaneous cataloguing by local users. This phase of cataloguing would facilitate the creation of a shared database describing the essential qualities/quantities of the physical consistency of buildings in seismic risk areas, prior to any emergency. Other potentials include the start-up of preventative and participatory safety projects, the programming of building sites and/or fiscal activities (earthquake bonus, art bonus, crowdsourcing).

A second moment is one of *in itinere* classification, after an earthquake, involving the recovery and selection of materials. It affects assets both *in situ* (compatibility between time/resources for manual recovery, degree

of selection) and *ex situ* (relocation to nearby sites, temporary land use). Classification may be essential to responsible actions by technicians, users and *prosumers* (Peretti *et al.*, 2017) and support a regenerative culture of resources. The repository should then be transformed into a place of systematic actions of building archaeology, based on the example of the emergency strategies adopted by the MiBACT, the Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism, for historically valuable heritage. They can be incorporated within the organisation of temporary emergency settlements (open air spaces for selection/classification, temporary storage), but also into the lives of residents who may see collective actions of identification, recovery and classification/cataloguing as early opportunities to engage in the psychological-social reactivity

ne, anche condotte sul patrimonio edilizio minore assumono un'importante funzione neghentropica per affrontare le perdite e i danni subiti da una comunità.

NOTE

¹ Negli ultimi dieci anni, sono tre le sequenze sismiche che hanno interessato l'Italia, manifestandosi in un periodo di tempo particolarmente esteso e con scosse superiori a magnitudo 5: L'Aquila 2009, Pianura Padana Emiliana 2012, Amatrice 2016 (fonte INGV).

² Il cratere definito dopo il terremoto del 24 agosto 2016, da una prima definizione a 17 comuni, è stato esteso a comprendere 131 comuni (dopo le scosse del 26-30.10.2016) e 140 comuni (dopo le ultime scosse del 18.01.2017); 15 in Umbria, 87 nelle Marche, 15 nel Lazio e 23 in Abruzzo.

REFERENCES

AISEC, ALTIS, Bureau Veritas (2017), *Quaderno Italiano di Economia Circolare*, AISEC, Rome, pp. 5-11.

Bonomi, A. and Masiero, R. (2014), *Dalla smart city alla smart land*, Marsilio, Padua, pp. 16-70.

Brunner, P.H. (2011), "Urban Mining, A Contribution to Reindustrializing the City", *Journal of Industrial Ecology*, No. 15, Vol. 3, pp. 339-341.

Campoli, A., Torricelli, M.C. and Mannino, I. (2017), "Approccio Ciclo di Vita per la sostenibilità nel settore delle costruzioni e nelle trasformazioni del territorio", in Antonini, E., Tucci, F. (Eds.), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 135-152.

Cattaneo, M. (2013), *Manutenzione, una speranza per il futuro del mondo*, FrancoAngeli, Milano.

European Commission, EuroRys (2016), *Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, Direzione generale Mercato interno, industria, imprenditoria e PMI*, Brussels.

necessary to confront the loss of family members and property.

The third moment is one of *ex post* cataloguing. It belongs to a vision in which the network of materials repositories may extend across a territory as a structured system of participatory laboratories supporting and complementing the process of reconstruction. During this phase, activities of laboratory work may be related to the supply chain of reuse, recovery and recycling (Misuzu *et al.*, 2013). Short supply chains are referred to the storage of materials for reuse, to the performance evaluation and/or upgrading/retrofitting using local labour and techniques, to the recycling of discarded materials in mobile plants, to the institution of centres for exchanging/trading useful recovered resources.

Long supply chains, tied to the disposal of toxic materials, the transfer of com-

plex residual materials to specialised treatment/recycling plants or landfills, as well as the activation of research and studies of local cultural techniques, in cooperation with research centres and universities.

Reflections on current debate

The quantity of debris removed from post-earthquake areas in Italy since 2009 has assumed a dimension sufficient to require a diverse approach to simple disposal in landfills, also and because it is likely to increase following the release of another alarming statistic. According to the 2012 ANCE-CRESME Report, areas of elevated seismic risk cover 44% of the Italian territory; 60% of the buildings in these areas are in a very poor or mediocre state of conservation and built prior to the issuance of new earthquake resistant design criteria in 1974.

- Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*, Vol. 1, Rethink the Future collection, Seacourt, Isle of Wight, UK, pp. 21-62.
- Emery, N. (2011), *Distruzione e progetto. L'architettura promessa*, Christian Marinotti Edizioni, Milano, pp. 279-315.
- Ernst & Young (2016), *Italia creativa. L'Italia che crea, crea valore, 2° Studio sull'Industria della Cultura e della Creatività*, Ernst & Young, Milano.
- Friedman, Y. (2009), *L'architettura di sopravvivenza. Una filosofia della povertà*, Bollati Boringhieri, Torino, pp. 79-98.
- ISTAT (2014), *Archivio statistico delle imprese attive (ASIA) e ASIA Unità locali*, Archivio statistiche ISTAT.
- ISTAT (2015), *Elaborazioni su dati dell'indagine "Capacità degli esercizi ricettivi" e del Bilancio demografico*, Archivio statistiche ISTAT.
- ISTAT (2017), "Caratteristiche dei territori colpiti dal sisma del 24 agosto, 26 ottobre e 30 ottobre 2016 e 18 gennaio 2017", Agg. edizioni 09.2016, 10.2016, 04.2017 Focus, available at: <http://www.istat.it/it/archivio/199364>.
- Kerry Turner R., Pearce, D.W. and Bateman, I. (2003), *Economia ambientale*, Il Mulino, Bologna.
- Klein, N. (2008), *Shock economy. L'ascesa del capitalismo dei disastri*, BUR, Rizzoli, Milan, pp. 535-537.
- Latouche, S. (2013), *Usa e getta. Le follie dell'obsolescenza programmata*, Bollati Boringhieri, Torino, pp. 118-152.
- Misuzu, A., Shin-ichi, S., Toshiaki, Y., Yasumasa, T., Tomohiro, T., Hidetaka, T. and Kohei, W. (2013), "Strategy for Separation and Treatment of Disaster Waste: A Manual for Earthquake and Tsunami Disaster Waste Management in Japan", *J Mater Cycles Waste Management*, No. 15, pp. 290-299.
- Peretti, G., Magliocco, A. and Pollo, R. (2017), "Qualità ecologica: uso efficace delle risorse e dei processi di riciclo, riduzione dei costi ambientali", in Antonini, E., Tucci, F., (Eds.), *Architettura, città e territorio verso la Green Economy*, Edizioni Ambiente, San Giuliano Milanese, pp. 255-270.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., Hanemaaijer, A. (2017), *Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL report 2544, The Hague, NL.
- Ratti, C. (2014), *Architettura Open Source. Verso una progettazione aperta*, Einaudi, Torino, pp. 64-82.
- Schootman, M., Nelson, E.J., Werner, K., Shacham, E., Elliott, M., Ratnapradipa, K., Lian, M., McVay, A. (2016), "Emerging Technologies to Measure Neighborhood Conditions in Public Health: Implications for Interventions and Next Steps", *International Journal of Health Geographics*, No. 15, p. 20.

Intervening in this situation to improve structural resistance/resilience and drastically reducing this elevated level of vulnerability may not be enough.

There is a need for action based on a broader vision that brings into play other levels of social-organisational and social-collective resilience required to face up to emergency situations.

The hypothesis of establishing a C&D materials repository may help define scenarios of technological innovation in the building sector, with important values and repercussions for local territories: both in terms of strategies for recovering/regenerating the built environment, and in relation to the re-activation of economies and the vitality/creativity of resident communities, otherwise destined to suffer inevitable migrations. Innovations whose actions of promotion, caring for and repairing, also extended to built heritage of

a minor value, assume an important negentropic function when confronting the losses and damages suffered by a community.

NOTES

¹ Over the past ten years, Italy has been affected by three seismic sequences that have occurred over a particularly lengthy period of time and with tremors with a magnitude in excess of 5: L'Aquila 2009, Emilian Po Valley 2012, Amatrice 2016 (source INGV).

² The so called seismic 'crater' defined after the earthquake of 24 August 2016, initially involving 17 towns, was later extended to include 131 towns (following the tremors of 26-30.10.2016) and to 140 towns (in the wake of the latest tremors on 18.01.2017); 15 in Umbria, 87 in the Marche, 15 in Lazio and 23 in Abruzzo.

Due modelli costruttivi in legno: tradizione senza innovazione o innovazione senza tradizione?

SAGGI E PUNTI
DI VISTA/
ESSAYS AND
VIEWPOINT

Paola Boarin^a, Marta Calzolari^b, Pietromaria Davoli^b,

^aSchool of Architecture and Planning, Faculty of Creative Arts and Industries, University of Auckland, Nuova Zelanda

^bDipartimento di Architettura, Centro Ricerche Architettura>Energia, Università degli Studi di Ferrara, Italia

p.boarin@auckland.ac.nz

marta.calzolari@unife.it

pietromaria.davoli@unife.it

Abstract. Il contributo analizza gli effetti dei sistemi costruttivi in legno sul progetto di architettura tramite l'analisi critica e il confronto tra due contesti ambientali ed edilizi culturalmente e geograficamente distanti tra loro: quello di influenza anglosassone, rappresentato dalla realtà neozelandese, e quello mediterraneo, descritto dall'esperienza italiana. Tale confronto viene proposto attraverso la lettura di tre temi: il valore culturale del procedimento costruttivo; la sfera prestazionale (*in primis* ambientale, energetica e sismica); la dimensione progettuale. Il saggio mette in luce divergenze e similitudini della cultura tecnologica della progettazione di due Paesi accomunati da analoghe istanze di ricostruzione post-terremoto.

Parole chiave: Cultura tecnologica della progettazione; Prassi costruttive sedimentate; Innovazione tecnologica; Prefabbricazione leggera; Sistemi costruttivi in legno.

Introduzione

Il tema dell'architettura in legno ben rappresenta una delle influenze strategiche che gli aspetti costruttivi hanno esercitato sull'azione progettuale degli ultimi anni e sui suoi fondamenti teorici: una re-interpretazione dell'interlocuzione fra cultura tecnologica e dinamiche progettuali, in virtù del riavvicinamento a una concezione più materica della costruzione, che significa comprendere appieno le esigenze e le prospettive di un materiale.

A differenza dei materiali utilizzati per i sistemi massivi, il legno 'soporta' meno un atto progettuale che porti a criticità morfologiche (laddove cioè il legno non sia adatto ad esprimersi linguisticamente) e di risoluzione del dettaglio costruttivo (quando cioè l'improvvisazione di progettisti e imprese comporti una forte riduzione dell'affidabilità e durabilità del sistema).

Il tema è particolarmente attuale proprio a seguito dei bilanci

fatti sulle recenti emergenze sismiche internazionali e sugli ormai numerosi processi di *social housing* (Ferrante et al., 2012).

Una grande spinta a livello globale è certamente derivata dai principi di sostenibilità propri dei procedimenti costruttivi in legno naturale o ricostruito/ingegnerizzato, secondo una visione olistica "*Cradle to Cradle*" che manifesta un ciclo virtuoso, identitario di nuovi stili di vita eco-sensibili. Decisivi sono stati pure l'esaltazione delle caratteristiche di rapidità costruttiva (processi di industrializzazione e, in particolare, di prefabbricazione leggera, flessibile e 'customizzabile' – Koppelhuber, 2017), la riduzione dei rischi in fase di realizzazione, il comportamento sismico (Ceccotti et al., 2006) e l'affidabilità strutturale in caso di incendio. Per comprendere appieno i fenomeni, occorre tuttavia capire se l'impiego di tali sistemi costruttivi oggi dipenda per lo più da fattori etici e tecnici oppure anche da ragioni stilistiche ed espressive. Vetrina importante in questo senso è la proliferazione di edifici multipiano con struttura portante in legno. Si tratta di una tendenza certamente in rapida affermazione in Europa e con stimolanti sfide internazionali (Fig. 1), che riduce sì dubbi e preconcetti in materia di durabilità e di oneri manutentivi, ma che fa emergere anche nuove potenzialità espressive.

L'originalità di approccio del presente contributo risiede nell'analizzare l'influenza del "prodotto legno" e dei relativi procedimenti costruttivi sul progetto edilizio attraverso la lettura critica e il confronto, in parte inedito, tra due contesti socio-culturali, ambientali ed edilizi fortemente distanti tra loro: quello mediterraneo, ben rappresentato dal caso studio italiano, governato nei secoli per lo più dalla muratura pesante, e quello di influenza an-

Two timber construction models: tradition without innovation or innovation without tradition?

Abstract. This paper evaluates the influence of timber construction on architectural design through a critical analysis and comparison between two environmental and building contexts that are culturally and geographically different from one another: the experience of the former British colonies, represented by New Zealand, and the Mediterranean one, described by Italy. This comparison moves through the investigation on three themes: the cultural value of the construction process; the performance realm (environmental, energy and seismic ones as firsts); the design dimension. The contribution underlines divergences and similarities of the technological culture of design in two countries that share similar requirements regarding post-earthquake reconstruction.

Keywords: Technological culture of design; Established construction proce-

dures; Technological innovation; Light prefabrication; Timber construction.

Introduction

In recent years, the matter of timber architecture has represented one of the strategic influences that construction aspects have carried out on design and its theoretical foundations: a reinterpretation of the dialogue between technological culture and design dynamics, by virtue of the rapprochement to a more material conception of buildings, implying to fully understand the needs and perspectives of a determined material.

Unlike materials used for heavy building systems, timber has a lower capacity to 'bear' a design gesture leading to morphological criticality (where timber is not suitable for an architectural expression) and to the resolution of construction details (when the inexpe-

rience of designers and contractors generates a strong reduction in the reliability and durability of the system itself). Such topic becomes particularly relevant as a result of the evaluations made on recent international seismic emergencies and on the already numerous social housing processes (Ferrante et al., 2012).

At global level, a major incentive has certainly derived from sustainability principles typical of construction processes using natural or reconstructed/engineered timber, according to a holistic "*Cradle to Cradle*" vision representing a virtuous cycle, identifying new and more ecologically-aware lifestyles. The extolling of characteristics such as speed of construction (i.e. industrialization processes and, in particular, light, flexible and 'customizable' prefabrication - Koppelhuber, 2017), risks reduction during construc-

glosassone, descritto dalla realtà neozelandese, a matrice originaria europea con modello misto muratura-legno, che ha condotto poi all'adozione di stili tecnologici quasi interamente in legno.

In termini metodologici, il saggio mette in luce il prodotto dei due diversi modi di 'fare architettura' attraverso una disamina comparata di tre temi strategici:

1. il valore culturale del procedimento costruttivo a forte componente lignea, approfondendo le dinamiche normative e le peculiarità dei processi edificatori;
2. la sfera prestazionale relativa a tali procedimenti (e le pratiche realizzative collegate), declinata in termini di benessere ambientale, efficienza energetica, durabilità e sicurezza, soprattutto sismica, viste le significative esperienze di ricostruzione post-terremoto che accomunano i due Paesi;
3. la dimensione progettuale relativa alla presenza o meno di una pluralità di linguaggi architettonici e morfologici che derivano dai precedenti temi e, allo stesso tempo, li influenzano profondamente.

L'esperienza anglosassone rappresentata dalla situazione neozelandese

La Nuova Zelanda è uno dei Paesi con il patrimonio edilizio più giovane in quanto è stato tra gli ultimi ad essere colonizzato, nella prima metà del XIX secolo. L'abbondante disponibilità di materiale ligneo, anche di pregio (come, ad esempio, il legno di *kauri*), nelle foreste che originariamente ricoprivano quasi interamente il Paese, ha sicuramente facilitato l'evoluzione verso sistemi costruttivi in legno. La maggior parte degli edifici presentava infatti struttura intelaiata leggera a piccoli elementi, prevalentemente di tipo *platform*, come registrato alla fine del XIX

tion, seismic behaviour (Ceccotti et al., 2006) and structural reliability in case of fire, were also decisive factors. However, in order to fully understand these phenomena, it is necessary to comprehend whether the use of such construction systems depends today mainly on ethical and technical factors, or even on stylistic and expressive reasons. In this perspective, an important showcase is represented by the proliferation of multi-storey buildings with load-bearing timber structure. Undoubtedly, this is a rapidly growing trend in Europe, raising stimulating international challenges as well (Fig. 1), reducing doubts and preconceptions regarding durability and maintenance costs, but also bringing new expressive potentials to light. The originality in the approach of the present contribution lies in the analysis of the influence of the timber product and its related construction proce-

dures on building design, through the critical interpretation and comparison between two socio-cultural, environmental and building contexts that are strongly different from one another: the Mediterranean one, well represented by the Italian case study, ruled over the centuries mostly by masonry buildings; and the one of the former British colonies, described by New Zealand, which has European origins based on a mix of masonry and timber, then leading to the adoption of an almost exclusive timber-based technological style. In a methodological perspective, the essay highlights the result of two different ways of 'making architecture', through a comparative examination of three strategic topics:

1. the cultural value of a construction process characterized by a strong timber component, enquiring the breadth and depth of regulatory

secolo (Isaacs, 2010), anche se con qualche variazione nei dettagli costruttivi rispetto all'ormai consolidato sistema anglosassone. Il motivo della diffusione delle costruzioni lignee (dal 79% nel 1858 al 90% nel 1911, *ibidem*) non risiedeva esclusivamente nella necessità di far fronte con rapidità alla crescente richiesta di ampliamento del parco edilizio a causa del veloce popolamento del giovane Paese, ma soprattutto dalla frequenza degli eventi sismici che caratterizzavano una terra giovane anche dal punto di vista geologico.

In Nuova Zelanda, il *platform frame* è tuttora il sistema più diffuso, utilizzando circa il 95% del volume di legno per usi edilizi e rappresentando circa il 95% del parco edilizio residenziale (Shelton & Beattie, 2012). Per contro, l'uso del legno ingegnerizzato (LVL, glulam e CLT) resta ancora limitato a costruzioni 'straordinarie' oppure come alternativa all'acciaio in costruzioni multipiano di pregio in cui la struttura viene lasciata a vista per scelta architettonica e formale. Tuttavia, l'industrializzazione *off-site* rimane ancora un ambito da esplorare, sebbene il rapido aumento di popolazione previsto per il 2030 abbia portato alla definizione di una *roadmap* per la diffusione della prefabbricazione nel Paese (Burgess, Buckett, & Page, 2013).

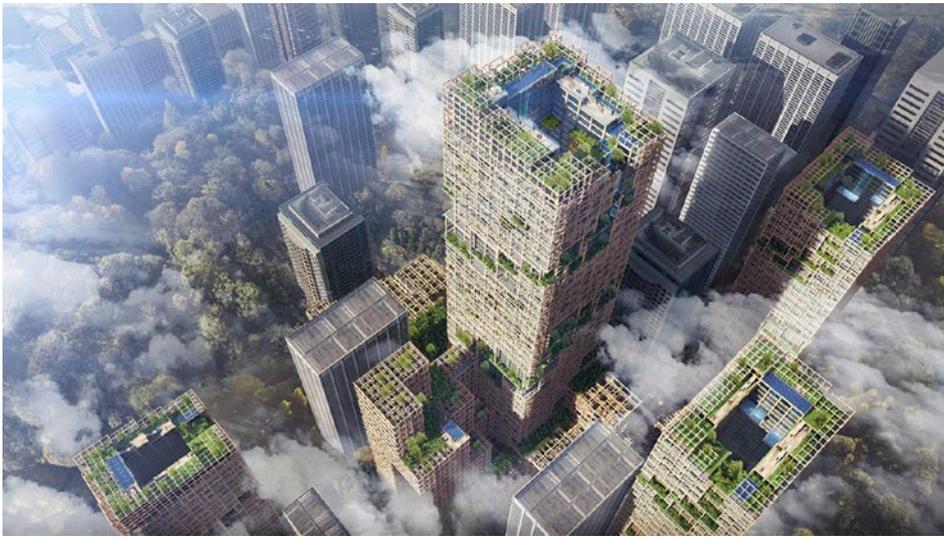
Prima dell'introduzione della NZS 3604:2011 (Standards New Zealand, 2011), l'attuale riferimento tecnico, si faceva esclusivo affidamento all'esperienza di maestranze locali, avvantaggiate dalla richiesta di soluzioni tecnologiche e dettagli ricorrenti dovuti al limitato *range* di soluzioni progettuali. Tutt'oggi, anche se non esiste un vero e proprio mercato della "casa a catalogo", il patrimonio edilizio esistente dimostra che le variazioni architettoniche al tipo edilizio residenziale unifamiliare isolato sono molto ridotte (Fig. 2), aspetto che, da un lato, facilita lo sviluppo

- dynamics and some peculiarities concerning building procedures;
2. the performance aspect related to such processes (and the connected implementation practices), understood in terms of environmental quality, energy efficiency, durability and safety – especially seismic – given the significant experiences of post-earthquake reconstruction the two countries have in common;
 3. the design dimension related to either the presence or absence of a plurality of architectural and morphological languages, deriving from previous themes and that, at the same time, influence them deeply.

The experience of the former British colonies through the case study of New Zealand

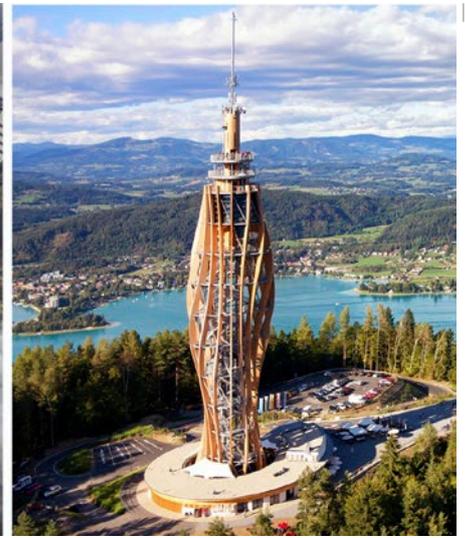
New Zealand is one of the countries with the most recent building stock, as

it was colonised as one of the last, in the mid-19th century. The abundance of timber material, of good quality as well (such as the *kauri* timber), in the forests that originally used to cover the country almost entirely, has fostered the evolution and diffusion of timber construction systems. The vast majority of buildings presented light framed structure made of small timber elements, mainly of platform type, as registered at the end of the 19th century (Isaacs, 2010), although minor variations to construction details were present compared to the established British technology. The reason of such diffusion of timber constructions (from 79% in 1858 to 90% in 1911, *ibidem*) was not only related to the need to supply the rapidly increasing demand of expanding the building stock due to the fast-growing population in the country, but also to the need to address



01 | a) W350 Plan: un modello concettuale finalizzato allo sviluppo tecnologico e di ricerca per il più grande grattacielo al mondo in legno, di 70 piani (350 metri), che sarà costruito a Tokyo entro il 2041 dalla società Giapponese Sumitomo Forestry Co. Avrà una struttura ibrida per il 90% in legno e per il 10% in acciaio ed una superficie totale di 455.000 m². Ospiterà abitazioni, negozi, uffici e hotel, oltre ad un'importante quota di verde verticale, e amplierà il concetto di foresta urbana e di biodiversità nelle città. Un caso emblematico e quasi provocatorio di uso a vista del legno strutturale. Progetto: Sumitomo Forestry's Tsukuba Research Institute and Studio Nikken Sekkei Ltd, Tokyo. Committente: Sumitomo Forestry Co., Tokyo. Archivio: Sumitomo Forestry & Nikken Sekkei

b) Torre Pyramidenkogel, Keutschach am See, Austria (2013). Si tratta della torre panoramica in legno (tecnologia lamellare, con parti in XLAM) più alta al mondo (quasi 100 metri), con una suggestiva e sinuosa struttura. A 60 m di altezza si trova la "Skybox", una location per eventi e manifestazioni. Progetto: Studio di Architettura Klaura, Kaden + Partners, Klagenfurt, su progetto strutturale degli ingegneri Lackner + Raml, Villach. Realizzazione: Rubner Holzbau. Committente: Pyramidenkogel Infrastruktur GmbH & Co KG. Archivio: Rubner Holzbau



a) W350 Plan: a concept model for the research and technological development of the largest timber skyscraper in the world (i.e. 70 floors, 350 meters high), to be built in Tokyo by 2041 by the Japanese company Sumitomo Forestry Co. The building will have a hybrid structure, 90% timber and 10% steel, for an overall area of 455.000 m². It will house dwellings, shops, offices and hotels, as well as an important share of vertical greenery, expanding the concept of urban forest and biodiversity in cities. It is an emblematic and almost provocative use of exposed structural timber. Project: Sumitomo Forestry's Tsukuba Research Institute and Studio Nikken Sekkei Ltd, Tokyo. Customer: Sumitomo Forestry Co., Tokyo. Archive: Sumitomo Forestry & Nikken Sekkei

b) Pyramidenkogel Tower, Keutschach am See, Austria (2013). This panoramic timber tower (glue-laminated technology, with parts in XLAM) is the highest in the world (almost 100 meters), displaying a suggestive and sinuous structure. At 60 meters high is the "Skybox", a location thought for hosting a variety of events. Project: Klaura Architecture Studio, Kaden + Partners, Klagenfurt; structural project by Lackner + Raml, Villach engineers. Realization: Rubner Holzbau. Customer: Pyramidenkogel Infrastruktur GmbH & Co KG. Archive: Rubner Holzbau



02 | Esempi ricorrenti di tessuto residenziale unifamiliare di tipo isolato ad Auckland, New Zealand, sia tradizionale/storicizzato, sia contemporaneo, anche se per quest'ultimo caso gli edifici con qualità morfologica elevata sono in genere poco diffusi. I casi mostrati in figura presentano struttura lignea di tipo platform con rivestimenti in doghe (weatherboard) di legno, legno ricostruito o fibrocemento. Anche nei casi in cui il rivestimento propone elementi in laterizio (brick veneer), la sottostruttura è in genere con tecnologia lignea diffusa a piccoli elementi. Elaborazione grafica di Paola Boarin su foto Auckland Design Manual

Typical examples of single-family detached housing in Auckland, New Zealand. Examples refer to both traditional and more contemporary housing, although building with high morphological quality are less diffused for this latter category. All the cases in the figure are built with platform frame and cladded with weatherboards made of timber, regenerated timber or fibre cement. Also in case of use of brick veneer as external cladding, the main construction technology is timber frame. Graphic elaboration by Paola Boarin from Auckland Design Manual

e l'ottimizzazione di soluzioni conformi (le cosiddette "acceptable solutions" citate dal New Zealand Building Code - Ministry of Business Innovation and Employment, 2004) e semplifica il processo costruttivo, fino ad arrivare al paradosso della possibilità di auto-costruzione senza l'obbligo di calcoli strutturali, dall'altro, limita l'innovazione di prodotto e di processo, il coinvolgimento di molteplici professionalità e la specializzazione degli operatori del settore.

Tra la metà degli anni '90 e Duemila, il Paese è stato interessato dal problema dei *leaky buildings*, una crisi di dimensioni molto vaste in cui oltre 42.000 edifici, quelli in legno *in primis*, hanno manifestato gli effetti della cattiva progettazione degli involucri edilizi (scarsa tenuta all'acqua), con conseguenze disastrose sulla durabilità dei materiali e sulla salubrità degli ambienti, oltre che sul portafoglio dei proprietari. Il problema è scaturito da un quadro legislativo che non solo richiedeva limiti prestazionali molto bassi, ma non prevedeva neppure un sistema di controlli e di ispezioni in cantiere. La prassi progettuale e costruttiva derivante da tale approccio ha creato una crisi che ancora oggi affligge il mercato immobiliare, ma, ciononostante, il medesimo approccio viene utilizzato anche nella normativa relativa all'efficienza energetica. Nel caso di costruzioni in legno leggero con scarsa massa termica, ovvero la maggior parte degli edifici, la clausola H1 del New Zealand Building Code (Ministry of Business Innovation and Employment, 2004) prevede valori di resistenza termica minima per ogni componente edilizio estremamente ridotti e con limitata variabilità in funzione delle zone climatiche. Si verifica dunque una situazione in cui i requisiti per la zona climatica 1 e 2 (rispettivamente la zona più calda e la zona temperata) sono i medesimi per ogni componente e differiscono

the frequent seismic events that distinguished the new country also from the geological point of view.

Today, the platform frame is still the most diffused construction system in New Zealand, using approximately 95% of the total timber volume for building uses and representing approximately 95% of the overall housing stock (Shelton & Beattie, 2012). On the other side, the use of engineered timber (such as LVL, glulam and CLT) is still limited to special constructions or as an alternative to steel in multi-storey buildings where the structure is deliberately left visible as per architectural choices. However, off-site prefabrication is still a field to be fully explored, although the fast population growth predicted for 2030 has led to the definition of a roadmap for the wider diffusion of prefabrication in the country (Shelton & Beattie, 2012).

Before NZS 3604:2011, the current standard for timber constructions, came into force (Standards New Zealand, 2011), the main reference were the experience and skills of the local workforce, favoured by the request of recurring technological solutions and detailing due to the limited design options. Even today, although the model of the 'house catalogue' does not really occupy a relevant segment of the market, the existing building stock demonstrates limited architectural variations to the single-family detached housing type (Fig. 2). On one hand, this situation facilitates the development and optimisation of typical solutions (the so-called "acceptable solutions" mentioned by the New Zealand Building Code) and simplifies the building process to the extent of giving the possibility of achieving simplified building consents without the requirement of

di poco e solo per alcuni elementi dalla zona 3 (zona fredda) e che, inoltre, la medesima soglia prestazionale è prescritta per le chiusure trasparenti verticali nelle tre aree climatiche. Le ridotte prestazioni richieste dal New Zealand Building Code fanno sì che il parco edilizio in Nuova Zelanda sia allo stesso livello in cui erano i paesi del Nord Europa negli anni '60 (New Zealand Business Council for Sustainable Development, 2008).

Dal punto di vista della dimensione progettuale, la costante minaccia sismica ha profondamente influenzato il panorama architettonico, producendo architetture prevalentemente leggere a tecnologia lignea sin dai tempi dei coloni. Tuttavia, pietra e mattone avevano un carattere particolare evocativo della Madre Patria, in quanto rappresentavano il vecchio continente, ormai geograficamente e culturalmente lontano. Si verificarono dunque due risposte a tale conflitto: da un lato nacquero le prime fabbriche locali per la produzione di elementi in laterizio; dall'altro, la prassi costruttiva iniziò ad adattarsi all'uso del legno per la componente tecnologica, anche se attraverso linguaggi architettonici non maturi e non identitari, ma ancora legati al mondo antico, nel tentativo di ricreare un ambiente dall'apparenza più storicizzata (Fig. 3). Gli edifici in muratura e materiale lapideo si sono successivamente dimostrati meno resistenti all'azione sismica e sono dunque stati più duramente colpiti dai terremoti che si sono susseguiti negli ultimi due secoli, provocando in molti casi la perdita quasi completa di tale patrimonio edilizio. Per contro, i medesimi eventi sismici hanno lasciato pressoché intatte le costruzioni in legno, in cui i danni maggiori per le persone e gli edifici stessi sono stati principalmente causati dalla caduta di camini, altri elementi in laterizio o materiale pesante in genere (come il vetro).

structural verifications; on the other hand, it does limit process and product innovation, the involvement of multiple expertise and the specialisation of the workforce.

Between the mid-90s and 2000s, the country was struck by the leaky buildings problem, a vast crisis where over 42.000 buildings, timber constructions as first, demonstrated the effects of a poor envelope design, mainly related to weathertightness. Consequences on durability of materials, healthiness of indoor environments and owners' money were (and still are) devastating. This issue was generated by very low performance requirements in the building code, as well as by the lack of verifications on materials submitted for the building consent and the absence of site inspections. The design and construction approach derived by this condition has created a crisis that

is still affecting the building market but, nonetheless, the same attitude is adopted in the energy performance sphere as well. In case lightweight timber construction without thermal mass, that represent the vast majority of buildings, clause H1 of the New Zealand Building Code (Ministry of Business Innovation and Employment, 2004) requires minimum thermal resistance values that are very low and have very limited variations related to the climate region. For this reason, requirements for climate zones 1 and 2 (warm and temperate zones respectively) are the same and have very little differences with climate zone 3 (cold zone). Moreover, the same thermal performance is required for windows across the three climate zones. Therefore, the very poor performances requested by the New Zealand Building Code have produced a national build-



03 | Old Government House, Auckland, New Zealand. L'edificio, costruito tra il 1855 e il 1856 ad opera dell'architetto William Mason, è stato realizzato per ospitare la sede del governo e la residenza del Governatore Generale della Nuova Zelanda, prima che essa venisse spostata a Wellington nel 1865. La costruzione è interamente realizzata in legno, ma la parte centrale della facciata principale presenta gli elementi architettonici distintivi degli edifici di epoca rinascimentale, con riferimenti al contesto italiano (ad esempio nella balaustra di coronamento), nel tentativo di imitarne gli elementi lapidei e in muratura anche se con materiali non consoni a tale uso. L'edificio oggi è di proprietà della University of Auckland e ospita lo Staff Common Room Club. Foto di Paola Boarin

Old Government House, Auckland, New Zealand. Built between 1855 and 1856 by hand of the architect William Mason, the building hosted the New Zealand Government's headquarter and Governor's house until the capital was moved to Wellington in 1865. The construction is entirely built with timber, but the central part of the external façade has the distinctive features of renaissance buildings, with reference to the Italian style (for instance in the upper balustrade), in the attempt of mimicking the typical stone and masonry elements, but with materials that are not suitable for this use. The building is now a property of the University of Auckland and is the Staff Common Room Club. Photo by Paola Boarin

I terremoti che hanno colpito Christchurch nel 2010 e 2011 hanno fornito l'opportunità per ri-orientare il destino di una città già in forte declino. I temi della sicurezza strutturale e della sostenibilità ambientale hanno permeato il dibattito sulla ricostruzione già dalle fasi preliminari, con l'obiettivo di assicurare maggiore resilienza al nuovo contesto urbano e ai singoli edifici. Tale situazione ha creato condizioni ottimali per promuovere innovazione di prodotto nell'industria dei materiali lignei da costruzione, generando alcuni esempi particolarmente interessanti in cui la sperimentazione si è spinta sia sul lato tecnologico, nell'uso del legno ingegnerizzato, sia sul lato funzionale-spaziale, nella definizione di nuovi modelli architettonici (Fig. 4).

ing stock which is nowadays performing as the mid-60s' Nord-European one (New Zealand Business Council for Sustainable Development, 2008). From the design point of view, the permanent seismic threat has influenced the architectural scenario very deeply and produced a prevalence of light-weight timber structures since the time of colonies. Yet, stone and brickworks had a particularly evocative connotation, linking back to the 'Mother Land', which was geographically and culturally distant. This conflict generated two different answers: on one hand, the first manufactures producing brickworks started to appear at local level; on the other hand, the building process started to get used to timber as construction material, although the related architectural expressions were not yet mature and independent, but still linked to the ancient world, in the

attempt of recreating an environment with a more historical connotation (Fig. 3). Later, unreinforced masonry and stone buildings demonstrated their many weakness when facing seismic events and were more heavily struck by the earthquakes that affected New Zealand in the last two centuries, leading to the loss of a vast heritage. On the other side, seismic events have not had major effects on timber constructions, where damages to people and to the building themselves were mainly caused by the falling of chimneys and other masonry or heavy materials in general (such as glass). Earthquakes that have struck Christchurch in 2010 and 2011 have offered the opportunity to re-orient a city that was already declining. The topics of structural security and environmental sustainability have connoted the debate on the reconstruction since the

In Nuova Zelanda, il legno è stato sicuramente individuato quale materiale caratterizzante sia la ricostruzione delle zone colpite da terremoto, sia il più ampio ambito delle nuove costruzioni e del riuso degli edifici esistenti (Fig. 5), creando un'importante opportunità per lo sviluppo e la crescita del settore delle costruzioni.

La realtà mediterranea filtrata attraverso il caso italiano

opzione tecnologica globale e se ne faceva uso soltanto per la risoluzione tecnica di alcuni componenti edilizi o solo in alcune

In Italia, fino a pochi decenni fa, la tradizione del progetto edilizio raramente attingeva al sistema costruttivo in legno come

preliminary phase, with the aim of providing the new urban context and single buildings with more resilience. This situation represented an optimal environment to support product innovation within the timber industry, generating some interesting examples where major experimentations occurred both on the technological side, in the use of engineered timber, and on the spatial and functional side, through the definition of new architectural models (Fig. 4). In New Zealand, timber has been identified as main material for both the reconstruction of areas hit by earthquakes and for the wider building sector, in case of new constructions and the renovations of existing and historic buildings (Fig. 5), creating an important opportunity for the growth of the construction sector.

The Mediterranean experience observed through the Italian case study
In Italy, until a few decades ago, timber construction systems were rarely used as a global technological option within the traditional design process. It was used only as technical solution for some building components or just in some geographical areas thanks to the easy supply of timber. Today, the country faces the international scene by translating a knowledge, coming mainly from the centre of Europe, into design solutions that are more coherent with the Mediterranean climate. Italy occupies the fourth place in Europe for the use of such technologies thanks to 7 new homes out of 100 being made with natural or reconstructed timber structure. The value of the production in 2015 reached 696 million Euros (Fig. 6) and more than 3400 housing units were built (Centro



04 | Cathedral Grammar Junior School, Christchurch, New Zealand. L'edificio, facente parte del piano per la ricostruzione della città, è il frutto di una collaborazione tra il neozelandese Andrew Barrie Lab (ABL) e il giapponese Tezuka Architects. Il progetto è caratterizzato da una pianta aperta e flessibile, in stretto contatto sia visivo che fisico con gli spazi esterni, al fine di garantire lo svolgimento delle attività secondo il modello pedagogico del sistema scolastico neozelandese. Si tratta della struttura di più grandi dimensioni prodotta in Nuova Zelanda (12 m) attraverso macchine a controllo numerico. I portali in legno micro-lamellare (LVL) sono stati progettati per assicurare efficienza strutturale, per minimizzare gli scarti in fase di produzione e per essere assemblati in cantiere in modo rapido e preciso. Il progetto è risultato vincitore del NZ Wood Resene Timber Design Awards 2017 nella categoria "Commercial Architectural Excellence" e raccomandato nella categoria "Engineering Innovation". Foto di Patrick Reynolds

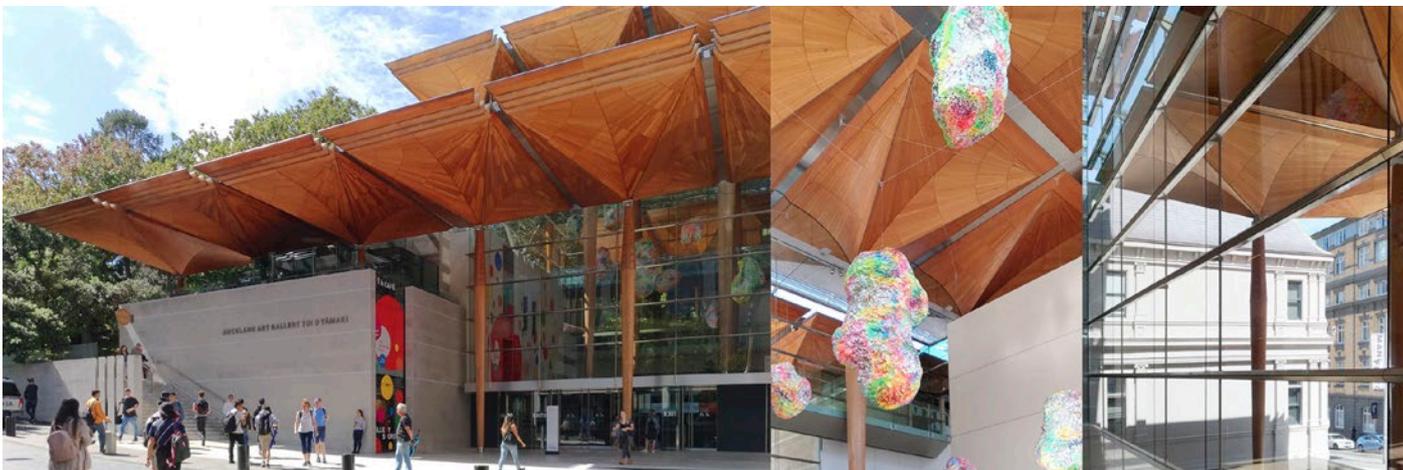
Cathedral Grammar Junior School, Christchurch, New Zealand. The building is part of the reconstruction plan for the city of Christchurch and is the result of a collaboration between the New Zealand architect Andrew Barrie Lab (ABL) and the Japanese firm Tezuka Architects. The project is characterised by an open and flexible plan, in direct visual and physical contact with the outdoors, in order to foster the implementation of school activities according to the pedagogical model used in New Zealand. The 12-metre span CNC-fabricated timber structure is unprecedented in New Zealand. LVL portals are designed to ensure structural efficiency, to minimise waste during its production and to be rapidly and precisely assembled on site. The project was the winner of the NZ Wood Resene Timber Design Awards in 2017 in the category "Commercial Architectural Excellence" and highly commended in the category "Engineering Innovation". Photo by Patrick Reynolds

aree geografiche grazie alla facilità di approvvigionamento del legno.

Oggi il Paese si propone sul panorama internazionale traducendo conoscenze provenienti soprattutto dal centro Europa in soluzioni progettuali più coerenti con il clima mediterraneo. Con 7 nuove abitazioni ogni 100 realizzate con struttura in legno naturale o ricomposto, l'Italia occupa il quarto posto in Europa per l'uso di tali tecnologie, con un valore della produzione che,

nel 2015, ha raggiunto i 696 milioni di euro (Fig. 6) e un totale di oltre 3400 unità abitative costruite (Centro Studi Federlegno Arredo Eventi, 2017).

Un trend rilevante, considerata la crisi del mercato edilizio. La ragione di tale crescita è certamente il frutto di una combinazione di effetti positivi. Il primo è dovuto all'introduzione del legno come materiale da costruzione nelle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2008 (N.T.C., 2008), novità tecnico-legislativa segui-

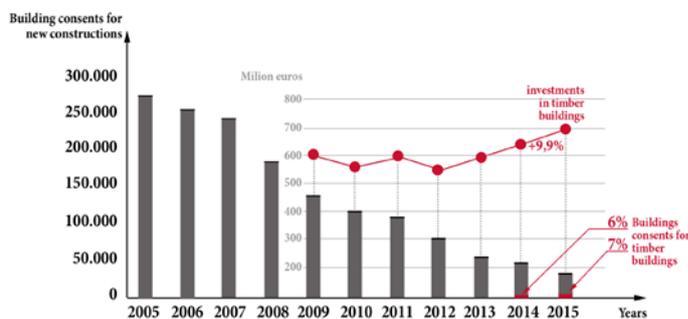


05 | Auckland Art Gallery Toi o Tāmaki, Auckland, New Zealand. Il progetto di espansione dell'edificio esistente, ad opera dell'australiano Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) e del neozelandese Archimedia, è caratterizzato dall'uso di una serie di coperture fitomorfe che ricordano la vegetazione tipica delle foreste della Nuova Zelanda. I pannelli sono realizzati in legno di kauri riciclato, successivamente applicato a un'ossatura prefabbricata in compensato e sorretti da pilastri in acciaio rivestiti con la medesima essenza locale. Il progetto è risultato vincitore del NZ Wood Resene Timber Design Awards 2012 nella categoria "Commercial Architectural Excellence" e nella categoria "Indigenous Timber Showcase Award". Foto di Paola Boarin

Auckland Art Gallery Toi o Tāmaki, Auckland, New Zealand. The extension of the existing building, by hand of the collaboration between the Australian designers Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) and the New Zealander designers Archimedia, is characterised by tree-like canopies resembling the typical vegetation in New Zealand. Panels are assembled from carefully selected kauri from recycled sources, integrated on a sub-frame of laminated plywood and connected to kauri-sheathed steel columns. The project was the winner of the NZ Wood Resene Timber Design Awards in 2012 in the category "Commercial Architectural Excellence" and in the category "Indigenous Timber Showcase Award". Photo by Paola Boarin

06 | Il grafico mostra l'andamento del mercato edilizio italiano in confronto a quello delle case in legno. A fronte di una diminuzione di oltre l'80% dei permessi di costruire tra il 2007 e il 2015 (grafico a colonne, in grigio), le autorizzazioni a edificare case in legno sono aumentate, coprendo oltre il 7% del totale nel 2015, rispetto al 6% del 2014 (colonne rosse). Tale crescita è confermata dall'aumento degli investimenti del 9,9% tra il 2014 e il 2015. Contestualmente è cresciuto del 112% il volume delle esportazioni (29% dell'export verso la Germania, seguita dalla Svizzera con il 18%, la Croazia e Francia entrambe con l'11%) che, nel 2015, hanno superato le importazioni. Rielaborazione di Marta Calzolari da Centro Studi Federlegno Arredo Eventi, 2017. Dati originali: Istat, Eurostat (Prodcod Italia, Codice 16.23.20.00: Costruzioni prefabbricate in legno) e stime Ance

The graph compares the trend of the traditional Italian building market with the one of timber houses. Faced with a decrease of over 80% of building concessions between 2007 and 2015 (grey columns), authorizations to build timber houses have increased, covering more than 7% of the total in 2015, compared to 6% in 2014 (red columns). This growth is confirmed by the 9.9% increase in investments between 2014 and 2015. At the same time, the volume of exports grew by 112% (29% of exports to Germany, followed by Switzerland with 18%, Croatia and France both with 11%) which, in 2015, exceeded imports. Graphical elaboration by Marta Calzolari from Centro Studi Federlegno Arredo Eventi data, 2017. Original data: Istat, Eurostat (Prodcod Italia, Code 16.23.20.00: Prefabricated wooden constructions) and Ance estimates



ta dal D.L. 201/2011, che sostituisce l'articolo 52 del Testo Unico dell'Edilizia, abolendo la necessità della «dichiarazione rilasciata dal presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici» (D.P.R. 380/2001) per edifici con ossatura in legno con quattro o più piani entro e fuori terra. In tal modo si è snellito l'iter procedurale e reso possibili realizzazioni prima impensabili in legno.

A questo va aggiunta una rinnovata immagine dovuta alle disposizioni europee in termini di sostenibilità ed efficienza energetica. Una casa in legno è oggi sinonimo di benessere *indoor*, ottimo isolamento termico, riduzione di emissioni di sostanze nocive e, considerando l'uso nel contesto mediterraneo, anche ottima inerzia termica. Sospinta da tali prestazioni la propensione a sperimentare l'uso di strutture in legno in un settore edilizio fortemente in crisi si contraddistingue come raro motore di innovazione.

In ultimo, certamente questa crescita è stata favorita, nella tragicità, dal bacino delle aree terremotate. Per esempio, in Abruzzo oltre il 70% degli edifici ricostruiti dopo il terremoto del 2009 sono in legno (Gardino, 2015). La scelta, inizialmente giustificata dalla necessità di edifici strategici di rapida costruzione, effettivamente e psicologicamente più sicuri nei confronti del sisma,

Studi Federlegno Arredo Eventi, 2017). This trend is even more relevant considering the crisis of the construction market. The reason for this growth is certainly the result of a combination of positive effects. The first is related to the introduction of timber as a construction material in the 2008 Technical Standards for Construction (N.T.C., 2008). This technical-statutory innovation was followed by the Law 201/2011, which replaces article 52 of the National Building Code and abolishes the need for the «declaration of the president of the Board of Public Works» (D.P.R. 380/2001) for the construction of 4-storey buildings (or more) with timber structure. This innovation has streamlined the procedure and opened new frontiers for timber projects.

The second reason is the improved image of timber constructions due to

European requirements in terms of sustainability and energy efficiency. Today, a timber house is synonymous with indoor comfort, excellent thermal insulation, reduction of emissions of harmful substances and, considering its implementation in the Mediterranean context, excellent thermal inertia as well. Supported by these performances, the will to experiment with the use of timber structures becomes a rare innovation driver, even more so if considering the crisis of the construction sector.

Lastly, reconstruction needs in areas that were tragically hit by the earthquake have certainly favoured the growth of timber architecture. For example, in the Abruzzo region, over 70% of the buildings that were rebuilt after the 2009 earthquake were made out of timber (Gardino, 2015). This choice, initially justified by the need

to rebuild quickly those buildings that were strategic for the community, making them more secure against the earthquake, also from a psychological perspective, eventually became a driver for areas that did not suffer from post-emergency reconstruction needs.

Furthermore, an ever-evolving theme is reopened again, i.e. prefabrication, understood as a process embedded in the very nature of timber as construction material. It is necessary both to limit the construction time and to organise complex construction sites, typical of contemporary architecture, more efficiently. In the *Nuovo Codice degli Appalti* (New Code of Contracts), "OS32" category, timber structures have been added to the list of "super-specialist" works. Indeed, construction companies become more skilled and replace traditional ones, thus making the building site to become a place of

assembly rather than a place for construction. Despite prefabrication principles, building design continues to be customised: structural components are prefabricated but the project does not become standardized. In Italy, homes are built to last "forever" and this attitude represents an expression of continuity with the traditional construction culture. As a matter of fact, besides framed-structures, the most widely used construction technique is XLAM (or CLT), chosen by the client for its monolithic nature that recall the solidity of traditional masonry buildings. Performance is the strength of timber constructions. «Energy, natural environment, conservation» (Turchini, 2015, p. 33) and good behaviour in case of earthquake are the key words on which the renewed interest of contemporary architecture in timber is based. The choice of this construction

to rebuild quickly those buildings that were strategic for the community, making them more secure against the earthquake, also from a psychological perspective, eventually became a driver for areas that did not suffer from post-emergency reconstruction needs. Furthermore, an ever-evolving theme is reopened again, i.e. prefabrication, understood as a process embedded in the very nature of timber as construction material. It is necessary both to limit the construction time and to organise complex construction sites, typical of contemporary architecture, more efficiently. In the *Nuovo Codice degli Appalti* (New Code of Contracts), "OS32" category, timber structures have been added to the list of "super-specialist" works. Indeed, construction companies become more skilled and replace traditional ones, thus making the building site to become a place of

07 | Complesso di Housing Sociale in Via Cenni a Milano: a sinistra una fase del cantiere, a destra gli edifici ultimati. Si tratta del più grande progetto residenziale realizzato in Europa, per dimensioni, con un sistema di strutture portanti in legno in pannelli a strati incrociati. Oltre al disegno architettonico c'è la visione di una comunità basata su una progettazione partecipata con gli utenti finali e la condivisione di tutte le informazioni sulla tecnologia, i metodi costruttivi e le caratteristiche dei materiali. Progetto: Prof. Arch. Fabrizio Rossi Prodi. Promosso da Polaris Investment, con fondazione Housing Sociale di Cariplo e Regione Lombardia. Archivio: Almerico Ribera

Social Housing Complex in Via Cenni, Milan, Italy. A construction phase is shown on the left, while the completed buildings are on the right. This is the largest residential project in Europe, in terms of size, featuring a system of load-bearing timber structures in cross-layer panels. In addition to the architectural design, there is a vision of a community based on sharing design process and all information about technology, construction methods and characteristics of the materials with end-users. Design: Fabrizio Rossi Prodi. Promoted by Polaris Investment, with Fondazione Housing Sociale Cariplo and Regione Lombardia. Archive: Almerico Ribera



La sfera prestazionale è il punto di forza delle costruzioni in legno. «Energia, ambiente naturale, conservazione» (Turchini, 2015 pag. 33) e risposta al sisma sono le parole chiave su cui si fonda il rinnovato interesse per il legno nell'architettura contemporanea. La scelta di questa tecnica costruttiva, in sostituzione di quelle più convenzionali, è giustificata dalle possibilità tecniche insite nell'uso del materiale legno, adatte sia per l'intervento sul costruito, sia ai nuovi edifici efficienti e sostenibili.

Come scrive Favole (2017) ci sono solo rari esempi in Italia di edifici in legno del XX secolo e questi non hanno contribuito a definirne la corrente stilistica. Per questa ragione, nei primi anni di forte crescita delle costruzioni in legno i progettisti hanno dovuto convincere i propri committenti che anche con il legno

fosse possibile ottenere un linguaggio architettonico analogo a quello degli edifici costruiti con tecniche più consolidate nell'immaginario collettivo.

Il legno quindi scompare, per lo più celato dietro ai rivestimenti e alle finiture, senza influenzare l'immagine finale del fabbricato in modo significativo, soprattutto nel caso dell'edilizia residenziale. Ne è un esempio recente il complesso abitativo "Cenni di Cambiamento", uno degli edifici in legno più alti d'Europa (Fig. 7). Il progetto nasce con l'obiettivo di comunicare un messaggio di innovazione facendosi testimone di nuove concezioni sociali, prestazionali e tecniche, ma lo fa con un linguaggio formale molto affine a quello tradizionale.

Lelevata qualità costruttiva, possibile grazie anche alla conti-

technique, replacing the more traditional ones, is justified by the technical possibilities related to the use of timber, which is suitable both for the intervention on the built environment and for new efficient and sustainable buildings.

As stated by Favole (2017), in Italy there are only rare examples of timber constructions built in the XX century and these have not helped to define the stylistic trend of that period. For this reason, in the first years of strong growth of timber architecture, designers had to convince their clients that, even if using timber, it was possible to obtain the same architectural language of buildings made of materials that were more consolidated in the collective imagination.

Then, especially in the case of housing, timber is mostly hidden behind the building's finishing, without sig-

nificantly affecting its final image. The housing complex called "Cenni di Cambiamento", one of the tallest timber building in Europe (Fig. 7), is a recent example of this approach. The project was born with the aim of communicating a message of innovation, testifying a new social and technical concept, but it performs this role through a formal language that is very close to the traditional one.

The high construction quality, due to the constant specialization of manufacturers and construction companies, is concealed in the inner layer of the buildings and it results in the attention paid during the design phase and the installation of components (to airtightness or the growth of condensation, for example). These aspects have significantly raised up the quality of buildings on the market in recent years. Therefore, the first timber build-

ings do not emerge for their accuracy in the visible technological system (a typical aspect of high-tech prefabrication) because this is not the feature for which timber is chosen (exception being some areas like the Alto Adige district). In fact, even in the post-earthquake reconstruction (in Emilia, Abruzzo and Central Italy), the first buildings being reconstructed were the schools (together with houses), intended as a sign of returning to the daily community life and because of their symbolical and strategic role. Such buildings were made of timber in order to communicate a new sense of safety and comfort, rather than an innovative stylistic trend. However, something is going to change, especially for non-residential buildings. Despite the main reason of this choice is linked to performance aspects, some of these projects represent the first forms of a

new architectural experimentation. Timber is also chosen for its expressive power and projects can also find their own formal identity though the attention to construction details. Therefore, timber, especially the reconstructed one, begins to 'take shape' and also to influence the morphological quality of a building (Fig. 8).

Conclusions

The ideas emerged from the two investigated contexts allow to outline and prefigure both divergent evolutionary paths and possible common matrices and strategic forms of 'contamination', also as a result of the process of technical and cultural globalization.

Up until the recent past, these realities have followed two substantially different approaches:

- in New Zealand, widely diffused timber construction systems - al-



08 | Nido d'Infanzia di Guastalla (RE), inaugurato nel 2015. Il complesso si sviluppa su un unico livello la cui forma è determinata dalla successione di 50 portali in legno lamellare intervallati da ampie vetrate. L'idea alla base del progetto è quella di realizzare uno spazio che possa educare i bambini fin dall'infanzia al gioco, alla creatività, ma anche al rispetto per la natura e all'eco-sostenibilità. Per questa ragione il legno è lasciato a vista ed è stato usato al massimo delle sue potenzialità espressive, collaborando alla creazione di uno spazio suggestivo e dinamico. Le alte prestazioni del legno si integrano alla cura del dettaglio tecnologico che diventa anche espressione architettonica. Progetto: Mario Cucinella Architects. Committente: Comune di Guastalla. Strutture: Geoequipe Studio Tecnico Associato. Realizzazione: Scisciani e Frascarelli Impresa Edile e Rubner Holzbau S.p.A.). Foto di Fausto Franzosi

Kindergarten, Guastalla, Italy, inaugurated in 2015. The building is developed on a single level whose shape is determined by the succession of 50 GLT (Glued Laminated Timber) portals interspersed with large windows. The idea behind the project is to create a space that can educate children to play and to creativity since their childhood, but also to respect for nature and eco-sustainability. For this reason, timber is left visible and it is used to the maximum extent of its expressive potential, collaborating in the creation of a suggestive and dynamic space. The high performance of timber is integrated with the attention to technological detail that also becomes an architectural expression. Project: Mario Cucinella Architects. Client: Municipality of Guastalla. Structures: Geoequipe Studio Tecnico Associato. Companies: Scisciani and Frascarelli Impresa Edile and Rubner Holzbau S.p.A.). Photo by Fausto Franzosi.

nuova specializzazione delle aziende produttrici e costruttrici, è celata nell'anima interna dei fabbricati e si traduce nella cura della progettazione e posa delle stratigrafie (attenzione alla nastrostruttura per la tenuta all'aria o alla formazione di condensa, per esempio), aspetti che innalzano sensibilmente la qualità edilizia del mercato negli ultimi anni. I primi edifici in legno non si contraddistinguono, pertanto, per l'accuratezza del sistema tecnologico a vista (aspetto tipico della prefabbricazione *high-tech* a secco) perché non è questa la peculiarità per cui viene ricercato il legno (tranne in alcune zone come l'Alto Adige). Infatti, anche nella ricostruzione post-sisma (in Emilia, Abruzzo e Centro Italia), i primi fabbricati ricostruiti, le scuole (insieme alle abitazioni) come segnale di ripresa della vita della comu-

nità, attraverso il loro ruolo simbolicamente strategico sono realizzati dichiaratamente in legno per comunicare *in primis* un nuovo senso di sicurezza e comfort, anziché un'innovativa corrente stilistica.

Qualcosa, però, sta cambiando, soprattutto nell'edilizia specialistica. Nonostante la principale ragione della scelta sia legata ad aspetti prestazionali, alcuni di questi progetti rappresentano le prime forme di una nuova sperimentazione linguistica. Il legno viene scelto anche per la sua forza espressiva e i progetti possono trovare pure nella cura del dettaglio costruttivo la propria identità formale. Il legno, soprattutto quello ricostruito, comincia, quindi, 'a prendere forma' e a influenzare anche la qualità morfologica del fabbricato (Fig. 8).

though not enough regulated – which are able to strongly influence the architectural language, and yet producing predictable building types and average construction quality;

- in Italy, marginally present timber technologies with often 'invisible' technical elements, and yet displaying diversified building typologies and quality standards among the highest in the construction market for the concept of 'home forever'.

The most recent dynamics are modifying some reference scenarios:

- a qualitative emergency for New Zealand buildings, due to severe degradation phenomena and scarce comfort conditions. This is the result of living pattern with limited life cycles, which are 'lowering the bar' both regarding performance requirements and the training of

skilled labour, while restraining new stimulus for improvement. Moreover, the stylistic expressions of timber (although capable of strongly influencing design in a typological-morphological way and, at the same time, outdated and satisfied for decades by transfer processes coming from the United Kingdom) are beginning today to search for a more incisive relationship between material and project. This dynamic mainly happens in specialized and 'extraordinary' construction, and where timber technology in multi-story buildings (instead of steel) possesses technical and communicative effectiveness;

- in Italy, timber is increasingly assuming its own independence, dignity and expressive recognition; and yet, the virtuous rush to innovation and improved technical perfor-

mance (the only companion against centuries-old prejudices) has not gained sufficient space (with the exception of several cases on the Alps and a series of specialized buildings at more Mediterranean latitudes as well) to reach a more mature dialogue, capable to constantly, and not only occasionally, express the Architectural and design forces of technology.

Thus, the two dynamics are perhaps less distant in perspective, united by a powerful 'field testing' driving force given by the post-earthquake reconstruction process. An emergency requiring the respect of 'evolved' performance rules, easily accessible for timber systems, producing greater trust and customer loyalty towards such technologies, and providing evidence of both lost opportunities and innovative projects.

Especially regarding non-residential buildings, the earthquake promoted the diffusion of linear prefabricated elements in New Zealand and of two-dimensional ones in Italy: the choice of an expressive and manifest sincerity of technology, also in terms of visibility of morphological joints, has represented a common line.

Therefore, it seems that a sort of common matrix (not physical, but ideal) could be developed in the near future, deriving from processes of globalized sharing of knowledge and use of timber in architecture, with a strong and unexpressed attention to formal language, to detail and to process innovation in both contexts, starting from the specialist construction sector, in order to then follow an implementation path even within the slower housing sector (especially in New Zealand).

What seems certain is that, in both

Conclusioni

Gli spunti emersi dai due contesti permettono di delineare e di prefigurare sia percorsi evolutivi divergenti, sia possibili matrici comuni e strategiche forme di ‘contaminazione’, effetto anche del processo di globalizzazione tecnica e culturale.

Fino al recente passato, le due realtà hanno seguito dunque approcci sostanzialmente diversi:

- sistemi costruttivi in legno ampiamente diffusi, ma poco normati, in Nuova Zelanda, capaci di connotare fortemente il linguaggio architettonico, ma con tipi edilizi scontati e di mediocre qualità costruttiva;
- tecnologie lignee marginalmente presenti in Italia, con elementi tecnici spesso resi ‘invisibili’, ma con tipologie edilizie diversificate e standard qualitativi fra i più elevati del mercato delle costruzioni per un concetto di “casa per sempre”.

Le dinamiche più recenti modificano alcuni scenari di riferimento:

- un’emergenza qualitativa per le costruzioni neozelandesi, in seguito a profondi fenomeni di degrado e di scarso *comfort*. Frutto questo di una consuetudine abitativa con cicli di vita limitati, che abbassa il livello dell’“asticella” sia dei requisiti prestazionali, sia della formazione di figure professionali specializzate e che ha tolto qualsiasi stimolo al miglioramento. Inoltre, le espressioni stilistiche del legno, seppure capaci di influenzare fortemente il progetto tipo-morfologico, ma anche abbastanza stantie e appagate per decenni da processi di *transfer* provenienti dal Regno Unito, cominciano oggi a ricercare un rapporto materia-progetto più incisivo; ciò avviene soprattutto nell’edilizia specialistica e ‘straordinaria’ e dove la tecnologia del legno

nell’edificio pluripiano (in sostituzione dell’acciaio) possiede efficacia tecnico-comunicativa;

- in Italia il legno sta sempre più assumendo indipendenza, dignità e riconoscibilità espressiva, ma la virtuosa corsa all’innovazione e alle prestazioni tecniche (unico viatico contro pregiudizi secolari), non ha ancora lasciato sufficiente spazio, a eccezione dei casi presenti nell’arco alpino e a una serie di edifici specialistici anche a latitudini più mediterranee, ad un maturo dialogo, in grado di esprimere costantemente e non solo saltuariamente la forza linguistica e progettuale insita nella tecnologia.

Le due dinamiche, dunque, sono forse meno lontane in prospettiva, accomunate da quel potente motore di sperimentazione sul campo che è dato dal processo di ricostruzione post-terremoto. Un’emergenza che richiede il rispetto di regole facilmente accessibili per i sistemi in legno, che produce maggiore fiducia e fidelizzazione dell’utente verso tali tecnologie e che documenta su occasioni perse, ma spesso anche progettualità innovativa.

Soprattutto per gli edifici specialistici il sisma ha promosso la diffusione di elementi prefabbricati lineari in Nuova Zelanda e bidimensionali in Italia: linea comune è stata la scelta della sincerità espressiva e manifesta della tecnologia, anche a livello di visibilità dei nodi morfologici.

Sembra dunque che nel prossimo futuro si possa sviluppare una sorta di matrice comune (non fisica, ma ideale) derivante da processi di condivisione globalizzata nella conoscenza e nell’uso del legno in architettura, con una forte ed inespresa attenzione al linguaggio formale, alla cura del dettaglio e all’innovazione di processo in entrambi i contesti a partire, prima di tutto, dal settore dell’edilizia specialistica, per avere in seguito un percorso

countries, the aim is to reach an innovative linguistic evolution, even if at different speeds, where the material is really able to guide and permeate the production of the architectural design.

ACKNOWLEDGEMENTS

- Introduction and conclusions: P. Davoli
- New Zealand case study: P. Boarin
- Italian case study: M. Calzolari

implementativo anche nel più lento comparto abitativo (soprattutto in ambito neozelandese).

Cosa certa è che in entrambi i Paesi si punta, seppure con velocità diverse, a un'evoluzione linguistica innovativa dove la 'materia' sia realmente in grado di indirizzare e permeare la produzione del progetto di architettura.

ACKNOWLEDGEMENTS

- Introduzione e conclusioni: P. Davoli

- L'esempio anglosassone/neozelandese: P. Boarin

- L'esempio mediterraneo/italiano: M. Calzolari

REFERENCES

- Burgess, J., Buckett, N. and Page, I. (2013), "Prefabrication Impacts in the New Zealand Construction Industry. BRANZ Study Report SR279", Porirua, NZ, available at: <http://www.branz.co.nz> (accessed 9 March 2018).
- Centro Studi Federlegno Arredo Eventi (2017), "2° Rapporto Case ed Edifici in legno", Federlegno Arredo, Milano, available at: <http://www.federlegnoarredo.it> (accessed 6 March 2018).
- Ceccotti, A. et al. (2006), "Which Seismic Behaviour Factor for Multi-Storey Buildings made of Cross-Laminated Wooden Panels?", *Proceedings of 39th CIB W18 Meeting, Lisbon September 24-28, 2012*, Florence, pp. 1-8.
- Favole, P. (2017), "Architettura in legno. Naturalità pragmatica vs positivism astratto", *Arketipo*, Rivista internazionale di Architettura e di ingegneria delle costruzioni, Vol. 114, New Business Media Srl, Milan, pp. 22-23.
- Ferrante, T. and Villani, T. (2012), "Housing Sociale: tecniche di prefabbricazione in legno/ Social Housing: wood prefabrication techniques", *Techné Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 4, pp. 124-131.
- Gardino, P. (2015), "Il mercato italiano delle case in legno nel 2010. Analisi del mercato. Previsioni fino al 2015", Consulting per promo_legno, available at: <https://www.trentinosviluppo.it> (accessed 12 March 2018).
- Isaacs, N. (2010), "Timber framing – rapid and reliable", *Build*, vol. 98–99, available at: <https://www.buildmagazine.org.nz> (accessed 9 March 2018).
- Koppelhuber, J. (2017), "Industrialized timber building systems for an increased market share – a holistic approach targeting construction management and building economics", *Procedia Engineering*, Vol. 171, Elsevier, pp. 333-340.
- Ministry of Business Innovation and Employment (2004), *Building Act 2004 No 72*, Pub. L. No. 72, 24 August 2004 371.
- New Zealand Business Council for Sustainable Development (2008), "Better performing homes for New Zealanders: Making it Happen. Auckland, New Zealand", available at: <https://www.sbc.org.nz> (accessed 15 March 2018).
- Parlamento Italiano (2008), *Norme Tecniche per le Costruzioni – Capitolo 4.4 Costruzioni in legno*, Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008.
- Parlamento Italiano (2011), *D.L. n. 201/2011 - Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici, convertito con modificazioni dalla L. 22 dicembre 2011, n. 214*, Gazzetta Serie Generale n.284 del 6 dicembre 2011 - Suppl. Ordinario n. 251.
- Parlamento Italiano (2001), *DPR n. 380/2001 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*, articolo n. 52, Gazzetta Ufficiale n. 245 del 20 ottobre 2001.
- Shelton, R. and Beattie, G. (2012), "Timber framed buildings and NZS 3604", in Quenneville, P. (Ed.), *The Future of Timber Engineering, World Conference on Timber Engineering 2012 (WCTE 2012)*, Auckland, NZ, pp. 712–716.
- Standards New Zealand (2011), *Timber-framed buildings. Standard NZS 3604:2011*, Wellington, NZ.
- Turchini, G. (2015), "Il legno, antica nuova frontiera", *Arketipo*, Rivista internazionale di Architettura e di ingegneria delle costruzioni, Vol. 90/2015, New Business Media Srl, Milan, pp. 32-35.

Filippo Bricolo,

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

filippo.bricolo@polimi.it

Abstract. Il legame secolare tra materia e significato ha subito, nella fase novecentesca dell'ottimismo produttivistico, una forte compromissione. Partendo dall'analisi di alcune opere magistrali, realizzate da architetti non allineati con l'ortodossia modernista, il contributo, intende porre l'attenzione sulla necessità di ricucire il rapporto tra materia e senso.

Parole chiave: Materia; Tradizione; Innovazione; Identità; Tettonica.

Tra le colpe del movimento moderno in architettura, la più sottovalutata e meno compresa, è quella di aver svuotato di significati l'uso della materia¹. L'avvento, all'inizio del XX secolo, di nuovi sistemi costruttivi e la loro diffusione pervasiva in tutto il mondo, ha comportato l'abbandono drastico di materiali tradizionali che erano intimamente legati all'identità dei luoghi e dotati di profondi significati. Murature in mattoni o conci lapidei, basamenti e portali in pietra, intonaci di calce e polvere di marmo, per secoli, questo tipo di elementi, sono stati le figure sulle quali si è fondata la cultura di ogni luogo e di ogni paesaggio antropizzato. Tale mutazione ha determinato una soluzione di continuità nella cultura dell'abitare ben maggiore di quella provocata dall'abbandono degli stili architettonici di derivazione classica i quali, dopo l'eclettismo ottocentesco, avevano perso di significato e non risultavano più comprensibili all'uomo moderno.

Questo abbandono acritico ed ideologico delle materie tradizionali è stato una diretta conseguenza di quell'*hybris* positivista che aveva posto, al centro del progresso, il mito dell'immutabilità del nuovo e quindi l'idea di onnipotenza legata al progresso scientifico/tecnologico, trasformando la materia in un semplice fattore tecnologico sottoposto al primato della funzione.

Nonostante questa idea abbia dimostrato, da molto tempo, la sua natura ambigua e fallace si deve constatare che, dalla nascita del

modernismo ad oggi, non si è mai registrata una critica completa al fenomeno dell'allontanamento dalle materie tradizionali. I libri più critici nei confronti del modernismo, come *L'architettura della città* di Aldo Rossi o *Complessità e contraddizioni in architettura* di Robert Venturi, entrambi del 1966, pur trattando queste tematiche, avevano avuto come lascito effettivo il recupero del formalismo classico e, per un certo periodo, avevano innescato un'attenzione alla struttura urbana², ma non avevano portato ad una rivalutazione dell'aspetto materiale. Similmente si può comprendere che l'esito fallimentare del movimento post-moderno in architettura sia stato determinato dalla sottovalutazione dell'intrinseco valore materiale dell'edilizia storica. L'introduzione, negli anni ottanta, della categoria del Regionalismo critico, secondo la felice intuizione di Kenneth Frampton³, avrebbe potuto innescare un dibattito sull'argomento ma ha portato, invece, alla semplice individuazione di architetti dai profili eterogenei di fatto uniti solo da un comune approccio anti-centristico e di ibridazione tra localismi formali e globalizzazione.

Ma a fianco dell'assenza di un dibattito e di un'analisi completa di questo fenomeno appare evidente, in tutto il Novecento, la presenza di un numero ristretto di architetti, colti ed abili costruttori, che avevano posto l'uso critico della materia tradizionale come centro ontologico-operativo delle loro costruzioni cercando di mantenere vivo il senso nell'architettura. Le loro opere sono caratterizzate da una grandissima intensità e da «una palpabile eloquenza architettonica. Incarnano uno sforzo intellettuale secondo il quale i modi di assemblaggio dei materiali sono inseparabili dalla determinazione di un intenso carattere spaziale»⁴. Significativi, in questa lettura, sono stati gli approcci di maestri come Fernand Pouillon ed il suo lavoro con la pie-

The architects of the other materialism

Abstract. The secular bond between materiality and meaning in architecture has undergone, during the twentieth-century phase of productivistic optimism, a strong weakening. Starting from the analysis of some masterpieces, created by architects not aligned with Modernist orthodoxy, the paper seeks out the need to mend the relationship between materiality and sense.

Keywords: Materiality; Tradition; Innovation; Identity; Tectonics.

Among the faults of the modern movement in architecture, the most underrated and least understood is that of having emptied of meaning the use of the materiality¹. The advent, in the early 20th century, of new construction systems – and their spread pervasively throughout the world – resulted in the drastic abandonment of traditional

materials that were intimately linked to the identity of places and which have deep meanings.

Bricks or stone blocks, plinths and stone portals, lime plaster with marble dust, wood: for centuries, this type of elements were the basis upon which was founded the culture of every site and landscape in the world. This mutation resulted in a solution of continuity in culture of living much greater than that caused by abandoning the classical architectural styles which, after the nineteenth-century's eclecticism, lost meaning and were not comprehensible to modern man anymore.

This uncritical and ideological abandonment of traditional materials resulted as a direct consequence of that positivistic *hybris* that had placed the myth of the immutability of the new at the center of progress, and so the idea of omnipotence tied to the scientific/

technological progress, transforming materiality into a simple technological choice linked to the primacy of function.

Although the ambiguous nature of this idea has been before everyone's eyes for a long time, it must be held that, since the birth of modernism to the recent days, there has never been a real critique aimed to address the issue regarding the traditional materials. The books that criticized modernism the most, such as *The Architecture of the city* by Aldo Rossi or *Complexity and contradiction in architecture* by Robert Venturi, both of 1966, while dealing with these issues, mainly dealt with the recovery of the legacy of classical formalism and, for a time, triggered a focus on urban studies², but had not led to a reevaluation of the material aspect. Similarly, one can understand that the failing outcome of the postmodern

tra portante e la muratura isodoma, le opere del tardo Sigurd Lewerentz con l'utilizzo del mattone come materiale unico (un «mattone-totale che nega sia la propria esaltazione sia l'ortodossia»)⁵, le case maiorchine in pietra di Jørn Utzon, le costruzioni liriche di Dom Hans van der Laan (con il loro rapporto tra spazio, materia, luce e costruzione), ma anche le antesignane architetture «aged in advance» di Alvar Aalto⁶, oppure l'intenso lavoro sul riutilizzo di tecniche tradizionali da parte di Carlo Scarpa. Tutti questi esempi presentano degli evidenti punti comuni come l'utilizzo della materia povera e grezza come elemento significativo, la coincidenza tra spazio, forma, struttura, atmosfera e tecnica costruttiva, la proposta di un'architettura intrisa di presenze tattili in grado di creare un forte legame con l'abitante, la penetrante relazione con la memoria che trova espressione nella lunga durata dei materiali, nelle patine, nelle usure, costruendo architetture senza tempo in dialogo poetico con la luce e l'ombra, come è sempre accaduto nell'architettura antica. Sono costruzioni di senso, opere profonde, programmaticamente lontane da una cultura tecnologica che riduce il suo ambito di azione al rispetto di dati funzionali e prestazionali, sono architetture che costituiscono una presa di distanza proponendo «l'affermazione dell'indissolubilità del rapporto tra senso e techné»⁷.

Stando nella living room della Can Lis di Jørn Utzon a Maiorca (1974) sentiamo di essere all'interno di uno spazio significativo dove la materia ci parla. Le murature sono costruite con blocchi di pietra locale di formato rettangolare con bordi e superfici non lineari, i conci sono giustapposti con strati di malta grezza di un colore leggermente più scuro, sopra gli architravi delle finestre squinciate un filare appare ridotto in dimensioni, quasi fosse frutto di una modifica o di un incidente di cantiere. Tutto è

movement in architecture has been determined by the underestimation of the intrinsic value of construction material in the historical constructions. The introduction, in the 1980s, of the category of critical regionalism, according to the great intuition of Kenneth Frampton³, could have triggered a debate on this issue but, instead, simply pointed out architects with heterogeneous profiles united only by a common approach typified by the hybridization between localism and globalization.

But alongside the absence of a debate and a thorough analysis of this phenomenon we can read the presence, throughout the twentieth century, of a small number of architects that placed the critical use of traditional materials as ontological-operational center of their buildings, trying to keep alive the research of meaning in architec-

ture. Their works are characterized by a great intensity and by «a palpable architectural eloquence. They embody an intellectual effort that states that the way materials are put together is inseparable from the determination of an intense spatial character»⁴. Significant, in this reading, were the approaches of masters like Fernand Pouillon and his work with stone, the works of the late Sigurd Lewerentz using the brick as unique material (a «brick-total that denies both its own exaltation is orthodoxy»)⁵, Majorcan stone houses by Jørn Utzon, lyrical constructions by Dom Hans van der Laan (with their relationship between space, materiality, light and construction), but also the «aged in advance» architectures by Alvar Aalto⁶, or the intensive work on the reuse of traditional techniques by Carlo Scarpa. All these examples have clear common points such as using



stato costruito in maniera programmaticamente imperfetta ma, seppur ineffabile, si sente la presenza di un forte pensiero che, attraverso la materia e la sua relazione con lo spazio e l'abitante, vuole accogliere il tempo dentro il corpo dell'architettura. È il tempo che fugge («Sed fugit interea fugit irreparabile tempus») imbrigliato nel rito giornaliero del raggio di luce che entra da una piccola fessura e, per venti minuti, scorre in diagonale sulle murature scabre a ricordarci che la felicità si misura in secondi⁸. È il tempo fermato rappresentato dalla panchina in pietra semicircolare disposta asimmetricamente e fissata al suolo, allo stesso modo dei tavolini, come se si fosse fermata per sempre in un movimento congelato. È il tempo mutevole della natura che entra dalle aperture strombate opponendo la variazione della luce esterna alla fissità dell'architettura.

Sensazioni non dissimili, nel rapporto tra la materia e la luce, le possiamo provare nella cripta dell'abbazia di San Benedetto

poor and crude materials as significant elements, the coincidence between space, form, structure, atmosphere and construction technique, the proposal of an architecture that can create a strong bond with the inhabitant, the relation with the memory that finds expression in the durability of materials, and in timeless architecture building that reach a poetic dialogue with light and shadow. These are constructions full of meaning programmatically distant from a technological culture that merely deals with functional and performance data. These are buildings that strongly part themselves apart by proposing «the claim of the indissoluble relationship between meaning and techné»⁷.

Standing in the living room of Can Lis by Jørn Utzon in Majorca (1974), the feeling is that of being inside a meaningful space where materials speak to

us. The walls are built of local stone blocks of rectangular shape with non-linear edges and surfaces, the ashlar are juxtaposed with layers of coarse mortar of a slightly darker color, over the lintels of the windows a row appears reduced in size, as if it were the result of an edit or an accident. Everything has been built in an imperfect way but we can feel the presence of a strong thought that, through matter and its relationship with space and the inhabitant, wants to welcome the time inside the body of architecture: Time that escapes («Sed fugit interea fugit irreparabile tempus») harnessed in the daily ritual of ray of light coming from a small crack and flows, only for twenty minutes, diagonally on rough walls remind us that happiness is measured in seconds⁸; time stopped represented by the semicircular stone bench placed asymmetrically in the room and at-

a Vaals (Olanda, 1961) di Hans van der Laan «uno spazio a un tempo suggestivo e austero che deve la sua atmosfera a un'architettura essenziale fatta di materia e di luce, di misura e di ritmo»⁹. Le murature sono realizzate in mattoni dalla superficie non lineare scialbati a calce in modo che la luce diretta, riflessa o diffusa, determini una vibrazione nello spazio, rendendolo vivo e sempre mutevole. L'opera recupera un materiale ordinario e tradizionale e lo assembla e lo tratta fino a portarlo a determinare uno spazio denso di mistero e sacralità. Si legge nel diario romano di van der Laan (martedì 1 marzo 1955): «Il poderoso muro di mattoni che forma la parete esterna testimonia la grandiosità di Roma antica e il più sottile raggio di sole è sufficiente per dare alla grezza e granulosa superficie un effetto di colore che non può essere replicato altrove»¹⁰. Solo sei anni distanziano queste riflessioni dall'ultimazione della cripta di Vaals dove la luce danza sulle pareti grezze. L'esperienza romana è ancora viva e si trasfigura in questi spazi densi di tempo e di memoria dove leggiamo, come in Utzon, un dialogo intenso tra l'ordine della costruzione e l'imperfezione della finitura. «A Roma ogni contraddizione è stupendamente coltivata e in se stessa riconciliata»¹¹ scrive ancora van der Laan due giorni dopo. Così accade a Vaals dove le murature, attraverso la leva di senso della luce, raccontano la ricerca di un equilibrio perfetto tra la materia povera e la razionalità della costruzione determinando il sacro. L'utilizzo del mattone, nella seconda metà del XX, secolo trova probabilmente la sua massima espressione in un'altra Chiesa quella di San Pietro a Klippan (1966) di Sigurd Lewerentz. In quest'opera decade la tensione bilanciata tra l'ordine e l'imperfezione presente nella cripta di van der Laan. La simmetria scompare e l'architettura si fa informale, ma la perdita dell'ordine

tached to the ground, like as if it had stopped forever in a frozen motion. Similar sensations, in the relationship between materiality and light, can be felt in the crypt of the Abbey of Saint Benedict in Vaals (Holland, 1961) by Hans van der Laan «an area at the same time suggestive and austere which owes its atmosphere to an essential architecture made of materials and light, measuring and rhythm»⁹. The walls are made of irregular surfaced bricks treated with faded lime so that the direct, reflected or diffused light determines a vibration inside the space, making it alive and ever-changing. The work reuses an ordinary and traditional material and puts it together to determine a space full of mystery and sacredness. Something interesting can be found in Van der Laan's Roman diary (Tuesday 1 March 1955): «the mighty brick wall that forms the outer wall witnesses

the greatness of ancient Rome and the thinnest ray of sunshine is sufficient to give the rough and gritty surface a color effect that cannot be replicated anywhere else»¹⁰. Only six years part these thoughts from the completion of the crypt of Vaals where light dances on the walls. The Roman experience is still alive and is transfigured in these spaces, dense of time and memory, where we see, like in Utzon, an intense dialogue between the ordered construction and the imperfection of the finish. «In Rome every contradiction is wonderfully cultivated and reconciled itself»¹¹ writes van der Laan two days later. Thus it occurs in Vaals where the walls, describe the attempt for a perfect balance between poor materials and the rationality of the building, giving shape to the sacred place. The use of brick, in the second half of the 20th century, is probably perceiv-



non genera un'assenza di controllo. Lewerentz guida tutto con uno sforzo intensissimo, tenendo insieme in maniera misteriosa un'infinità di variazioni che segnano ogni momento, ogni spazio e ogni dettaglio dell'edificio. Senza l'ordine con cui dialogare l'imperfezione diventa totalizzante fino a sciogliersi nel buio dello spazio sacro. I mattoni scuri e molto grezzi sono posati «con giunti eccezionalmente larghi. La malta non è raschiata o lisciata com'è d'uso, ma tirata rozzamente con un vecchio sacco, lasciando sbavature sui mattoni»¹². Il mattone diventa una materia imperante usata per ogni cosa dal pavimento al soffitto, fino agli arredi¹³, talmente imperante da decidere che il mattone non sia mai tagliato, costringendo i giunti ad allargarsi, in alcuni casi fino allo spessore di un mattone, trattando la malta con ardesia macinata. Anche la fonte battesimale non si esime dal partecipare a questa pervasiva presenza: il pavimento in mattoni si rigonfia ed una fessura mostra uno spazio pieno d'acqua. L'eccezione diventa la regola e l'imperfezione assume un ruolo cardine e semantico. È l'imperfezione della struttura del pilastro

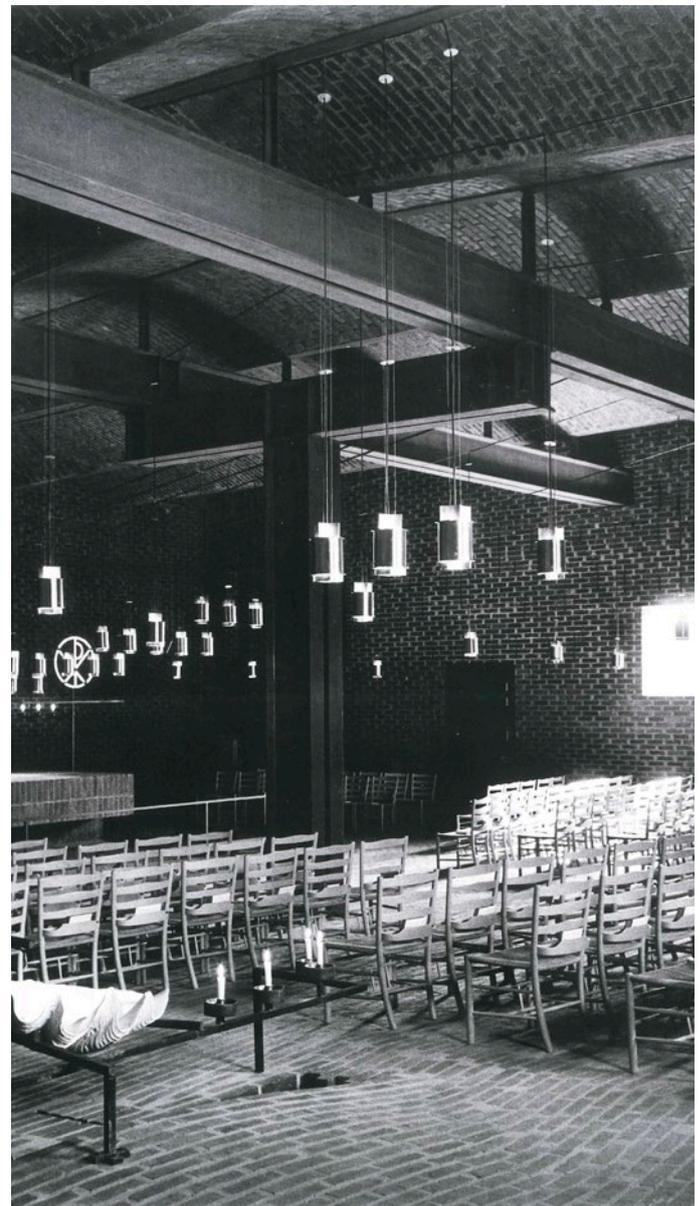
able at its best in another Church: St Peter in Klippan (1966) by Sigurd Lewerentz. In this work we can't find the balanced tension between the order and the imperfection of van der Laan's crypt. Symmetry disappears and the architecture became more informal, but the loss of the order does not generate an absence of control. Lewerentz's strength lies in being able to keep everything together in mysterious ways with an infinity of variations that mark every moment, every space and every detail of the building. The dark and very rough bricks are put down «with exceptionally wide joints. The mortar is not scraped or smooth as is customary, but crudely drawn with an old sack, leaving smears on the bricks»¹². The brick becomes a prevailing material, used for everything from the floors to the ceiling, up to furniture¹³. The brick is so important

that it is never cut, forcing the joints to widen, in some cases up to a thickness of a brick itself, by treating the mortar with ground slate. Even the baptismal font doesn't shy away from participating in this pervasive presence: the brick floor swells and a crack shows a space filled with water. The exception becomes the rule and the imperfection takes on a pivotal role. It's the imperfection of the structure of the central pillar that refuses to be symmetrical to allude to a strange cross, it's the imperfection of compositional structure which disrupts the order up to the limit of its visual persistence; it's the imperfection of laying the bricks that slip between them beyond all logic, it's the imperfection of the material itself with the welds left exposed, or the glass brutally fixed on the outside of the walls. But what is evident here is that these imperfections are not

centrale che rinuncia alla simmetria dichiarandosi croce ma in maniera manchevole, è l'imperfezione della struttura compositiva che disgrega l'ordine fino al limite della sua persistenza viviva, è l'imperfezione della posa dei mattoni che scivolano tra loro al di là di ogni logica di posa, è l'imperfezione del materiale stesso, delle saldature lasciate a vista, dei vetri fissati brutalmente all'esterno come avrebbe fatto poi Utzon a Can Lis. Ma come appare evidente, queste imperfezioni poste in un sospeso equilibrio precario non sono fine a se stesse. In grammatica, il tempo imperfetto è il tempo del verbo che esprime un'azione durevole che si sta svolgendo in un passato, ma che in quel passato non è ancora conclusa. In letteratura si usa l'imperfetto per spostare il racconto in un momento anteriore, facendo perdere i confini del tempo stesso, nebulizzandolo¹⁴. Così accade anche nella chiesa di Klippan, dove Lewerentz torna indietro nella storia¹⁵: prima del modernismo, prima del classicismo nordico, prima della crisi della modernità che ha compromesso il senso della materia. Lo fa congelando i mattoni in un movimento perenne, come se le lancette dell'orologio si fossero improvvisamente fermate trasformando l'architettura nel fermo-immagine di una vita che continua ad esistere in un indefinito passato, un passato che, con matematica e magmatica vaghezza, ci viene riproposto nella circolare ritualità della goccia continua che cade nella crepa di quell'allegorico Giordano che è la fonte battesimale. Con quest'opera, Lewerentz chiude il suo sofferto percorso di vita e di ricerca indicando la strada di un *supermaterialismo* che diventa un invito alla materia affinché la stessa rifiuti di essere relegata nella gabbia sterile dello sviluppo tecnologico. Se Klippan può essere letto come l'apice di un percorso verso la riscoperta valoriale della materia, l'inizio di questo stesso per-

meaningless. In grammar (Italian), the "imperfetto" expresses an action that is taking place in a past, but that in that past has not yet finished. In Italian literature we use the "imperfetto" to move the story in a moment earlier, wasting the boundaries of time itself, making it fade away¹⁴. This also occurs in the Church of Klippan, where Lewerentz goes back in history¹⁵: before the Nordic classicism, before the modernism. It does so by freezing the bricks in a perpetual movement, as if the clock had suddenly stopped, turning architecture into a crystallized image of a life that continues to exist in an undefined past, a past that, is proposed in the circular vagueness and into the rituality of the drop that continues falling into the crack of the allegorical Jordan of the baptismal font. With this work, Lewerentz closes his suffered life path and research point-

ing the way to a super-materialism that becomes an invitation to an idea of materiality that refuses to be relegated in the barren cage of technological development. If Klippan can be read as the pinnacle of a path towards the rediscovery of values of materiality, the beginning of this same path can be traced in a building, in brick, as the Baker House, the student residence at the Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (1946-49) by Alvar Aalto. In this work, the Finnish architect seeks to restore historical value to architecture through the use of a crude and sometimes shapeless brick, trying to programmatically part himself from the White Architectures of the twenties and thirties. Walking in front of the curved walls of the dormitory on Memorial Drive along the Charles River the facade seems to vibrates due to the



long shadows projected on the surface of the bricks: «the bricks were made from clay of ground and dried in the sun. Then were manually stacked in so many pyramids and fired exclusively with oak wood. To erect the walls, all of them would be used, without making any selection»¹⁶. A surprising choice for that era: «crude brick surfaces gave the impression that the building is already old and that would anticipate and stress the effects of weathering. The contrast with the smooth mechanics then in vogue in America was extreme and seemed to suggest a rejection of industrialization in favor of the most enduring themes. Little wonder that the Baker House was perceived in America as a challenge to the strait-jacket of the International Style that derives from Gropius»¹⁷. But in the 20th century not only Nordic architects (Utzon, van der Laan,

Lewerentz, Aalto) were working on material expression. In Europe and worldwide, many other figures were moving against the semantic involution of materiality with very different results and research related to specific territorial and cultural situations¹⁸. Even in the current scenario, there are figures who work on these issues in different geographical, environmental and cultural contexts. Significant are the works of some architects that operate across Latin America who experience the eloquence of poor materials with different outcomes, producing buildings of particular intensity. In Mexico this is highlighted by a new generation that is able to evolve Luis Barragán's experience and to bind to the memory of their land with valuable architectures and poetic vocation using materials from the popular tradition such as brick and wood.

corso, può essere rintracciato in un edificio, sempre in mattoni, come la Baker House, la Casa dello studente del Massachusetts Institute of Technology a Cambridge (1946-49) di Alvar Aalto. In quest'opera, l'architetto finlandese cerca di ridare all'architettura un valore storico attraverso l'utilizzo di un mattone grezzo, episodicamente informe ed aggettante differenziandosi programmaticamente dalle *White architectures* degli anni venti e trenta. Camminare davanti alla facciata sinuosa del dormitorio su Memorial Drive, costeggiando il fiume Charles, permette di vedere ancora oggi la facciata vibrare con le ombre lunghe dei mattoni proiettate sulla superficie: «I mattoni venivano fabbricati con l'argilla del terreno ed essiccati al sole. Poi erano accatastati manualmente in tante piramidi e cotti esclusivamente con legno di quercia. Per erigere i muri, si adoperavano tutti, senza effettuare alcuna cernita»¹⁶. Una scelta spiazzante per quell'epoca: «le superfici grezze in mattone davano l'impressione che l'edificio fosse già vecchio e che fossero anticipati e sollecitati gli effetti dell'azione degli agenti atmosferici. Il contrasto con la levigatezza meccanica allora in voga in America era estremo e sembrava suggerire un rifiuto dell'industrializzazione in favore di temi più duraturi. Poco sorprende che la Baker House venisse percepita nell'America del tempo come una sfida alla camicia di forza dell'International Style derivante da Gropius»¹⁷. Ma nel Novecento non erano solo gli architetti nordici come Utzon, van der Laan, Lewerentz, Aalto a lavorare sulla espressività materica. In Europa ed in tutto il mondo, molte altre figure si muovevano contro l'involuzione semantica della materia con ricerche dagli esiti profondamente diversi e legati a specifiche situazioni territoriali e culturali¹⁸.

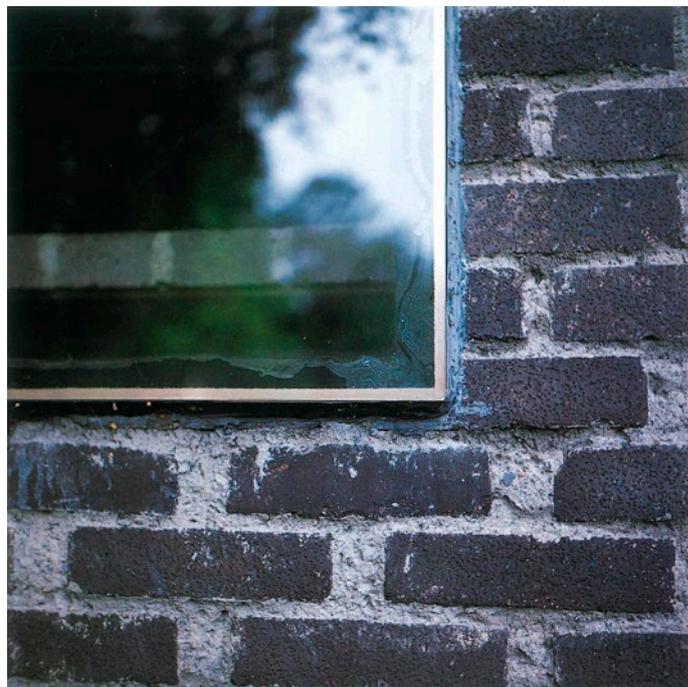
Anche nello scenario attuale si possono individuare figure che

Manuel Cervantes Céspedes (CÇ Arquitectos) is definitely an emerging and prominent figure: he is author of works of great quality that deserve the attention of the international press as the Equestrian Project¹⁹, built in a mountainous area a few hours from Mexico City, or residence El Mirador in Valle del Bravo. Significant in this geographical context is also the work of studio Macías Peredo of Salvador Macías Corona and Magui Peredo Arenas (Guadalajara)²⁰ with works such as Atlas House, Casa del Roble, Home Arenas. In South America, the firm Gabinete de Arquitectura of Solano Benítez, Glo Cabral and Solanito Benítez (Paraguay) deserve attention for the special expressive power of their poetic structuralism tied to the use of bricks. Significant are, in Asia, the works by Studio Mumbai (Bombai) by Bijoy Jain in

India, author of important works as Tara House, Palmyra House or Belavali House²¹. In all these works we can find the idea of an architecture constructively thought, where the architect weaves a profound dialogue with the craftsman. These are experience that are often seen as borderline but which show the formation of a research that try to mend the relationship between meaning, materiality, culture and territoriality.

NOTES

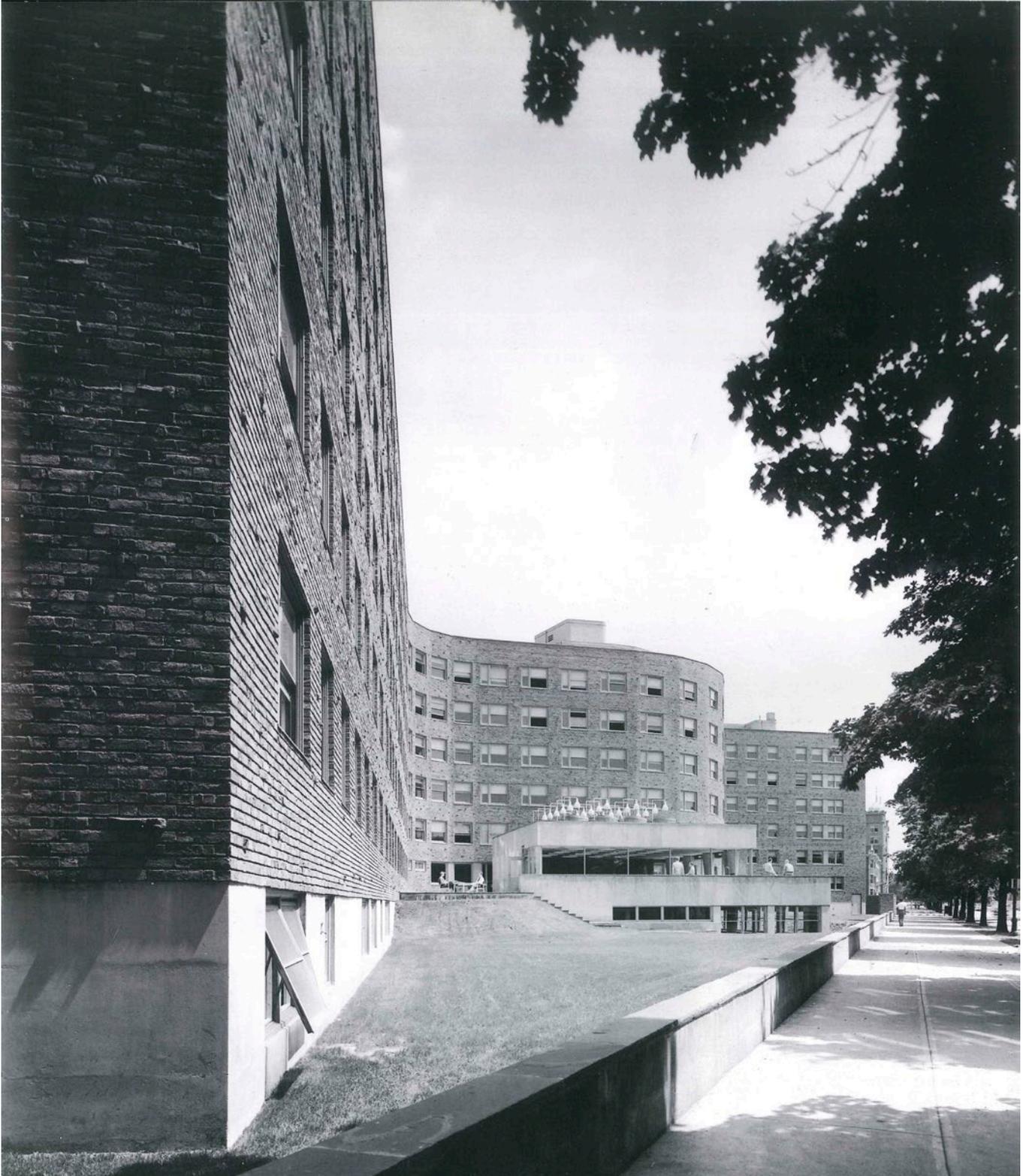
- ¹ Caruso, A. (2009), *The Feeling of Things*, Poligrafica Ediciones Sa, Barcellona.
- ² Caruso, A. (2009), cit.
- ³ Frampton, K. (2007), *Modern architecture: A critical history*, Thames&Hudson Ltd, London, UK.
- ⁴ Caruso, A. (2009), cit., p. 108.



lavorano su queste tematiche in diversi contesti geografici, ambientali e culturali. Significative in questa lettura appaiono le esperienze di alcuni architetti operativi in America Latina che con diverse sensibilità sperimentano l'eloquenza dei materiali poveri producendo architetture di particolare intensità. In Messico si evidenzia la nascita di nuova generazione capace di evolvere l'esperienza di Luis Barragán e di legarsi alla memoria della loro terra con architetture di grande valore e vocazione poetica utilizzando con ricercata intelligenza materiali provenienti dalla tradizione popolare come il mattone ed il legno. Figura emergente e di spicco è Manuel Cervantes Céspedes (CÇ Arquitectos) autore di opere di grandissima qualità che si sono meritate le attenzioni della pubblicistica internazionale come l'Equestrian Project¹⁹ costruito in un'area montana a poche ore da Città del

- ⁵ Espuelas, F. (2009), *Madre Materia*, Lampreave, Madrid, ES.
- ⁶ George Braid "all his buildings after Paimo give the impression of having been aged in advance" mentioned in Mangone, F. e Scalvini, M.L. (1993), *Alvar Aalto*, Laterza, Rome-Bari.
- ⁷ Linazazoro, J.I. (2015), *La memoria dell'ordine. Paradossi dell'architettura moderna*, Lettera 22, Siracusa, p. 137.
- ⁸ Møller, H.S. e Udsen, V. (2006), *Jørn Utzon houses*, Living Architecture publishing, Copenhagen, DK.
- ⁹ Ferlega, A. e Verde, P. (2011), *Dom Hans van der Laan*, Architettura & Natura, Amsterdam, NL.
- ¹⁰ Proietti, T. (a cura di) (2017), *Hans van der Laan. Viaggio a Roma*, Castelvecchi, Roma, IT, p. 25.
- ¹¹ Proietti, T. (a cura di) (2017), *Hans van der Laan. Viaggio a Roma*, Castelvecchi, Roma, IT, p. 25.
- ¹² Flora, N., Giardiello, P., Postiglione,

- G. (2002), *Sigurd Lewerentz. 1885 1975*, Phaidon Inc Ltd, London, UK.
- ¹³ Here we see a very strong relationship with what will afterwards Utzon in Can Lis where furniture and seats are made in the same stone walls.
- ¹⁴ Eco, U., (2002), "Le brume di Valois", in Eco, U., *Sulla letteratura*, Bompiani, Milano, IT, pp. 56-62
- ¹⁵ Nicolini, P. (1997), "Lewerentz-Klippan", *Lotus International*, N. 93, pp. 6-19.
- ¹⁶ Reed, P. (1998), "Alvar Aalto: Between Humanism and Materialism", in Reed, P. (curated by), *Alvar Aalto. 1898 1976*, The Museum of Modern Art, New York, USA.
- ¹⁷ Curtis, W.J.R. (1982), *Modern Architecture Since 1900*, Phaidon Press Limited, London, UK.
- ¹⁸ See for example the work of architects such as Alberto Ponis in Italy, Aris Kostantinidis in Greece.



¹⁹ Guzmán, L. (2015), "Equestrian Project, Messico", *Casabella*, N. 845.

²⁰ AA.VV. (2017), *Macias Peredo. Calmar el ruido. To still the Noise*, Arquine, S.A. de C.V, Città del Messico.

²¹ Studio Mumbai 2003 2011, *Manera de hacer y de fabricar*, El Croquis, 157, El Croquis editorial, Madrid, ES, 2011.

05 | Alvar Aalto, Baker House, Casa dello studente del MIT, 1946-49, Cambridge, Massachusetts, © Ezra Stoller

Alvar Aalto, Baker House, Student housing at MIT, 1946-49, Cambridge, Massachusetts, © Ezra Stoller

Messico o la residenza El Mirador nella Valle del Bravo. Significativa in questo contesto geografico è anche l'opera dello studio Macías Peredo di Salvador Macías Corona e Magui Peredo Arenas (Guadalajara)²⁰ con opere come Casa Atlas, Casa del Roble, Casa Arenas. In Sud America in Paraguay si segnala, per la particolare forza espressiva, l'attività dello studio Gabinete de Arquitectura di Solano Benítez, Glo Cabral e Solanito Benítez con il loro strutturalismo poetico legato agli usi tettonici del mattone. Anche in Asia si trovano esperienze significative nel campo di un'architettura di ricerca intrisa della cultura materiale locale come lo Studio Mumbai (Bombay) di Bijoy Jain in India autore di opera come Casa Tara, Casa Palmyra o la Belavali House²¹. In tutte queste ricerche troviamo la scelta di un'architettura pensata costruttivamente e legata con forza al fare, dove l'architetto intesse un dialogo profondo con l'artigiano entrando nel suo laboratorio, animandone la mano e caricando le sue costruzioni con il pensiero. Sono scelte che spesso vengono tacciate di marginalità ma che evidenziano, nella loro esemplarità, il formarsi di una ricerca diffusa volta a ricucire in maniera solida e fertile il rapporto tra senso, materia, cultura e territorialità.

NOTE

- ¹ Vedesi Caruso, A. (2016), *In sintonia con le cose. La base materiale della forma nell'architettura contemporanea*, Christian Marinotti Edizioni, Milan.
- ² Caruso, A. (2016), cit.
- ³ Frampton, K. (1986), *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli editore, Bologna, pp. 371-387.
- ⁴ Caruso, A. (2016), cit., p. 108.
- ⁵ Espuelas, F. (2012), *Madre Materia*, Marinotti Edizioni, Milan, p. 66.
- ⁶ George Braid "all his buildings after Paimo give the impression of having been aged in advance" citato in Mangone, F. e Scalvini, M.L. (1993), *Alvar Aalto*, Laterza, Rome-Bari, p. 78.
- ⁷ Linazazoro, J.I. (2015), *La memoria dell'ordine. Paradossi dell'architettura moderna*, Lettera 22, Siracusa, p. 137.
- ⁸ Møller, H.S. e Udsen, V. (2006), *Jørn Utzon houses*, Living Architecture publishing, Copenhagen.
- ⁹ Ferlega, A. e Verde, P. (2000), *Dom Hans van der Laan*, Electa, Milan, p. 52.
- ¹⁰ Proietti, T. (a cura di) (2017), *Hans van der Laan. Viaggio a Roma*, Castelvecchi, Rome, p. 25.
- ¹¹ Proietti, T. (a cura di) (2017), *Hans van der Laan. Viaggio a Roma*, Castelvecchi, Rome, p. 25.
- ¹² Flora, N., Giardiello, P., Postiglione, G., (2001), *Sigurd Lewerentz. 1885 1975*, Electa, Milan, p. 399.

- ¹³ Qui si vede un rapporto molto forte con quanto farà in seguito Utzon a Can Lis dove mobili e le sedute sono realizzate nella stessa pietra delle murature.
- ¹⁴ Eco, U. (2002), "Le brume di Valois", in Eco, U., *Sulla letteratura*, Bombiani, Milan, pp. 56-62.
- ¹⁵ Nicolin, P. (1997), "Lewerentz-Klippan", *Lotus International*, N. 93, pp. 6-19.
- ¹⁶ Reed, P. (1998), "Alvar Aalto ed il nuovo umanesimo dell'epoca postbellica", in Reed, P. (a cura di), *Alvar Aalto. 1898 1976*, Electa, Milan, p. 94.
- ¹⁷ Curtis, W.J.R. (2002), *L'architettura moderna del Novecento*, Bruno Mondadori, Milano, IT, p. 455.
- ¹⁸ Vedesi ad esempio l'opera di architetti come Alberto Ponis in Italia, Aris Kostantinidis in Grecia.
- ¹⁹ Guzmán, L. (2015), "20 Stalli, 4 suites tra i boschi del Messico", *Casabella*, N. 845.
- ²⁰ AA.VV. (2017), *Macias Peredo. Calmar el ruido. To still the Noise*, Arquine, S.A. de C.V, Città del Messico.
- ²¹ Studio Mumbai 2003 2011, *Manera de hacer y de fabricar*, El Crouis, 157, El Croquis editorial, Madrid, ES, 2011.

REFERENCES

- Caruso, A. (2016), *In sintonia con le cose. La base materiale della forma nell'architettura contemporanea*, Christian Marinotti Edizioni, Milan.
- Frampton, K. (1986), *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli editore, Bologna.
- Espuelas, F. (2012), *Madre Materia*, Marinotti Edizioni, Milan.
- Mangone, F. and Scalvini, M.L. (1993), *Alvar Aalto*, Laterza, Rome-Bari.
- Linazazoro, J.I. (2015), *La memoria dell'ordine. Paradossi dell'architettura moderna*, Lettera 22, Siracusa.
- Sten Møller, H. and Udsen, V. (2006), *Jørn Utzon houses*, Living Architecture publishing, Copenhagen, DK.
- Ferlega, A. and Verde, P. (2000), *Dom Hans van der Laan*, Electa, Milan.
- Proietti, T. (Ed.) (2017), *Hans van der Laan. Viaggio a Roma*, Castelvecchi, Rome.
- Flora, N., Giardiello, P. and Postiglione, G. (2001), *Sigurd Lewerentz. 1885 1975*, Electa, Milan.
- Eco, U. (2002), "Le brume di Valois", In Eco, U. (Ed.), *Sulla letteratura*, Bombiani, Milan.
- Nicolin, P. (1997), "Lewerentz-Klippan", *Lotus International*, No. 93.
- Reed, P. (Ed.) (1998), *Alvar Aalto. 1898 1976*, Electa, Milan.
- Curtis, W.J.R. (2002), *L'architettura moderna del Novecento*, Bruno Mondadori, Milan.

Andrea Campioli, Anna Dalla Valle, Sara Ganassali, Serena Giorgi,

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

andrea.campioli@polimi.it

anna.dalla@polimi.it

sara.ganassali@polimi.it

serena.giorgi@polimi.it

Abstract. La questione ambientale richiede una rinnovata attenzione nel considerare il ruolo della materia nel progetto, imponendo l'estensione dello sguardo al suo intero ciclo di vita: approvvigionamento, processi produttivi, assemblaggio, cicli di manutenzione e sostituzione, disassemblaggio, riuso/riciclo, smaltimento. Questa prospettiva improntata alla circolarità impone un ampliamento delle conoscenze e delle competenze tradizionalmente coinvolte nell'attività progettuale e una riconfigurazione delle relazioni tra gli operatori della filiera. Si aprono nuovi orizzonti di ricerca e sperimentazione, nuove opportunità di specializzazione all'interno delle quali le logiche e le metodologie LCA sono destinate ad assumere un ruolo sempre più rilevante.

Parole chiave: Life cycle; Circular economy; Informazione ambientale; Benchmark ambientali; Filiera delle costruzioni.

Progetto e materia

Il rapporto tra progetto e materia tradizionalmente era risolto

nella ricerca di una corrispondenza tra i requisiti di carattere estetico e tecnico individuati nel progetto e le prestazioni rese dai materiali disponibili. La questione ambientale impone oggi al progetto l'individuazione di soluzioni capaci di ridurre drasticamente il consumo delle risorse e la produzione degli impatti con una rinnovata e ampliata attenzione alle prestazioni della materia e con l'assunzione dell'orizzonte temporale dell'intero ciclo di vita. In questa prospettiva il centro dell'attività progettuale non è più l'oggetto edilizio considerato fino al momento della sua consegna all'utente finale, bensì l'intero ciclo di vita del manufatto, dei suoi componenti e dei materiali che vengono impiegati per la sua realizzazione. Il rapporto tra progetto e materia si articola e diventa più complesso, includendo al suo interno non soltanto le proprietà fisiche, meccaniche, termiche, economiche ed estetiche dei materiali, ma anche le modalità di ap-

provvigionamento, produzione, trasporto, assemblaggio, manutenzione, riuso/riciclo e smaltimento. Si tratta in altre parole di un cambiamento culturale che attribuisce una rinnovata centralità alla materia e al suo ciclo di vita, richiedendo un ampliamento delle conoscenze e delle competenze, un rafforzamento delle relazioni tra gli operatori della filiera e l'inclusione, fin dalle prime fasi di ideazione, di soggetti con ruoli e posizioni marginali rispetto al processo edilizio.

Le politiche ambientali promosse a livello mondiale, europeo e nazionale hanno avuto un ruolo decisivo nel dare abbrivio a tale processo di cambiamento.

Il ruolo delle politiche ambientali

In ambito europeo, le prime azioni che hanno indotto il progetto a confrontarsi con i temi

della sostenibilità ambientale sono riconducibili alle direttive sull'efficienza energetica degli edifici (2002/91/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE). In questa fase l'attenzione si è concentrata sul contenimento dei consumi energetici, orientando la ricerca progettuale verso manufatti a basso consumo energetico attraverso una puntuale definizione delle soluzioni costruttive e dei materiali utilizzati al fine di raggiungere livelli di emissioni e di consumi energetici prossimi allo zero (Fig. 1).

I più recenti documenti di indirizzo emanati dall'Unione Europea ampliano il punto di vista: sollecitano azioni mirate all'uso ambientalmente efficiente dei materiali da costruzione introducendo la prospettiva del ciclo di vita (COM 571, 2011) e sottolineano l'urgenza di attivare processi virtuosi di riutilizzo, recupe-

Designing the life cycle of materials: new trends in environmental perspective

Abstract. The environmental issue requires a renewed attention in considering the role of materials in the project, imposing a new gaze into their entire life cycle: procurement, production processes, assembly, maintenance and replacement cycles, disassembly, reuse/recycle and disposal. This perspective based on the circularity requires the improvement of knowledge and skills traditionally involved in the design project and the reconfiguration of relationships among the operators of the supply chain. New research and experimentation horizons open up; new opportunities for specialization within LCA methodologies and logics are earmarked to assume an increasingly important role.

Keywords: Life cycle; Circular economy; Environmental information; Environmental benchmarks; Building supply chain.

Design and matter

The relationship between project and materials was traditionally solved in the search for the conformity between aesthetic and technical requirements identified in the project and the performances of available materials.

Nowadays, the environmental issue imposes to the project the identification of solutions able to drastically reduce the consumption of resources and the production of impacts, with a new attention to the performances of materials and the hiring of the life cycle time horizon.

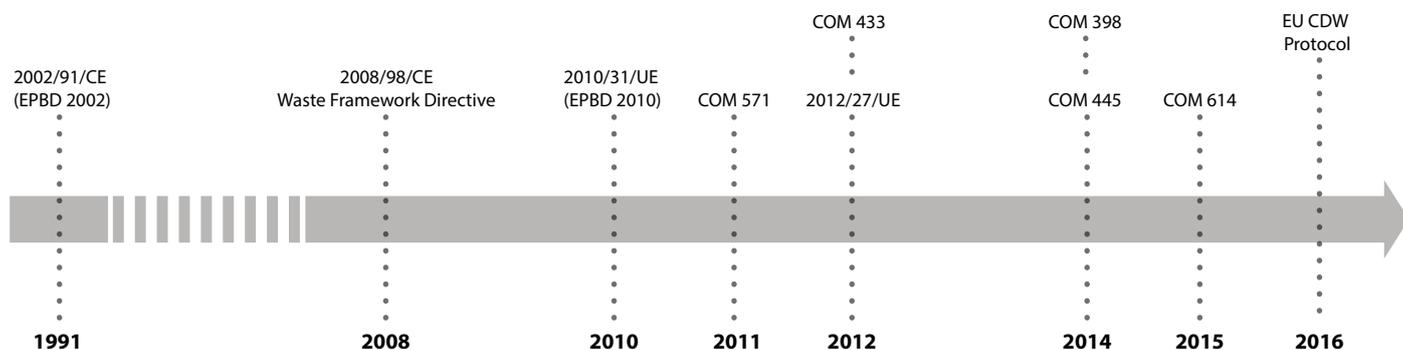
In this perspective, the design activity centre is no longer the building considered until its delivery to the final users, but the entire life cycle of the building, of its components and materials, which are used for its realization. The relationship between project and materials becomes more complex, in-

cluding not only physical, mechanical, thermal, economic and aesthetic properties of materials, but also procurement, production, transport, assembly, maintenance, reuse/recycle and disposal methods.

It is a cultural change that attributes a renewed centrality to the materials and their life cycle, requiring the improvement of knowledge and skills, the strengthening of relationships between the operators of the supply chain and the inclusion, from the early design stage, of subjects with marginal roles and positions in relation to the building process. The environmental policies promoted at global, European and national levels have played a decisive role in launching that process of change.

The role of environmental policies

In the European context, the directives for energy efficient buildings (2002/91/



01 | Linea del tempo delle Direttive e delle Comunicazioni europee. COM 571: Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM 433: Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM 398: Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM 445: On resource efficiency opportunities in the building sector. COM 614: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy

Time line of European Directives and Communications. COM 571: Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM 433: Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM 398: Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM 445: On resource efficiency opportunities in the building sector. COM 614: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy

ro e riciclaggio. L'edificio deve essere quindi concepito partendo dall'esigenza di un uso più efficiente delle risorse e pensato per ridurre gli impatti ambientali complessivi nell'intero ciclo di vita (COM 445, 2014) assumendo strategie di progetto che rendano tecnicamente possibili ed economicamente vantaggiosi tali processi (COM 433, 2012).

Questa prospettiva richiede un radicale cambiamento nell'approccio alla progettazione dove le implicazioni ambientali della scelta del materiale rivestono un'inedita centralità.

La visione *life cycle* apre a una progettazione che deve considerare l'intero ciclo dei materiali, dalla loro origine (estrazione della materia prima) alla loro dismissione. Il settore edile è chiamato a ridurre la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione, che rappresentano il 33,5% dei rifiuti prodotti in Europa (Eurostat, 2016). La progettazione, quindi, deve tenere conto della gestione di tali rifiuti, dell'aumento della riciclabilità e del contenuto di materie riciclate nei materiali da costruzione (COM 398, 2014). Ciò per allinearsi alle più recenti politiche di economia circolare (COM 614, 2015) che mirano a chiudere il cerchio del ciclo della materia (*closed-loop*). In questa direzione si collocano numerose azioni, come il "EU Construction and Demolition

Waste Management Protocol" (2016), che promuovono strategie per il recupero e il riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione e ad aumentare l'utilizzo di materiali con contenuto di riciclato. A livello italiano, l'applicazione dei CAM (Criteri Ambientali Minimi), ovvero requisiti ambientali per il *Green Public Procurement* (D. Lgs. 50/2016, modificato con D. Lgs 56/2017) premia le scelte progettuali orientate alla sostenibilità incentivando i principi di disassemblabilità (almeno il 50% dei componenti edili e degli elementi prefabbricati, in termini di peso, deve essere sottoponibile a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile), la gestione sostenibile del fine vita (i progetti devono prevedere un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita) e l'utilizzo di materia recuperata o riciclatata (almeno il 15% del totale di materiali utilizzati, in termini di peso). Viene inoltre favorito l'uso di prodotti dotati di dichiarazione ambientale di Tipo III, conforme alle norme UNI EN 15804 e ISO 14025, come l'*Environmental Product Declaration* (EPD).

Chiudere il cerchio

Il ciclo della materia assume un'importanza ancora più rilevante all'interno delle politiche improntate all'economia circola-

CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE) represent the first step that bring the project to deal with the environmental sustainability issues. This legislative framework is focused on the reduction of energy consumption towards low energy buildings, through the definition of technical solutions and materials choices (Fig. 1).

The most recent European Union policies widen the point of view: they promote actions aimed to the environmental and efficient use of buildings' materials in the life cycle perspective (COM 571, 2011) and emphasize the activation of circular process of reusing, recovering and recycling. The building have to be designed starting from the need of efficient use of resources and designed to reduce the overall environmental impacts throughout the entire life cycle (COM 445, 2014). It is possible assuming

design strategies that make processes technically possible and economically advantageous (COM 433, 2012).

This perspective needs a radical change in the design approach, that focus on the centrality of the environmental implications of the choice of materials. The life cycle vision opens to a design that consider the entire cycle of materials, from their origin (extraction of the raw material) to their disposal. The construction sector has to reduce the amount of construction and demolition waste, which accounts for 33.5% of waste produced in Europe (Eurostat, 2016). Therefore, the design has to take into account the construction and demolition waste management and their recycling and it have to increase the content of recycled materials in construction materials (COM 398, 2014). This new design approach is important also for aligning with the

most recent circular economy policies (COM 614, 2015) which aim to close the circle of the closed-loop cycle. In this context, there are many actions, such as the "EU Construction and Demolition Waste Management Protocol" (2016), that promote strategies for increasing the recovery and recycling of construction and demolition waste, and the use of materials with recycled content.

At the Italian level, the application of CAM (Minimum Environmental Criteria), that are environmental requirements for Green Public Procurement (D. Lgs. 50/2016, amended by D. Lgs 56/2017), rewards design choices oriented to sustainability. CAM incentivize the principles of disassembly (at least 50% of the building components and prefabricated elements, in terms of weight, must be disassembled through a selective demolition and must be re-

cyclable or reusable), sustainable management of the end of life (the projects must provide a plan for the disassembly and the selective demolition) and the use of recovered or recycled materials (at least 15% of the total materials used, in terms of weight). Moreover, the use of products with a Type III environmental declaration, compliant with the UNI EN 15804 and ISO 14025 standards, such as the Environmental Product Declaration (EPD), is also favoured.

Closing the loop

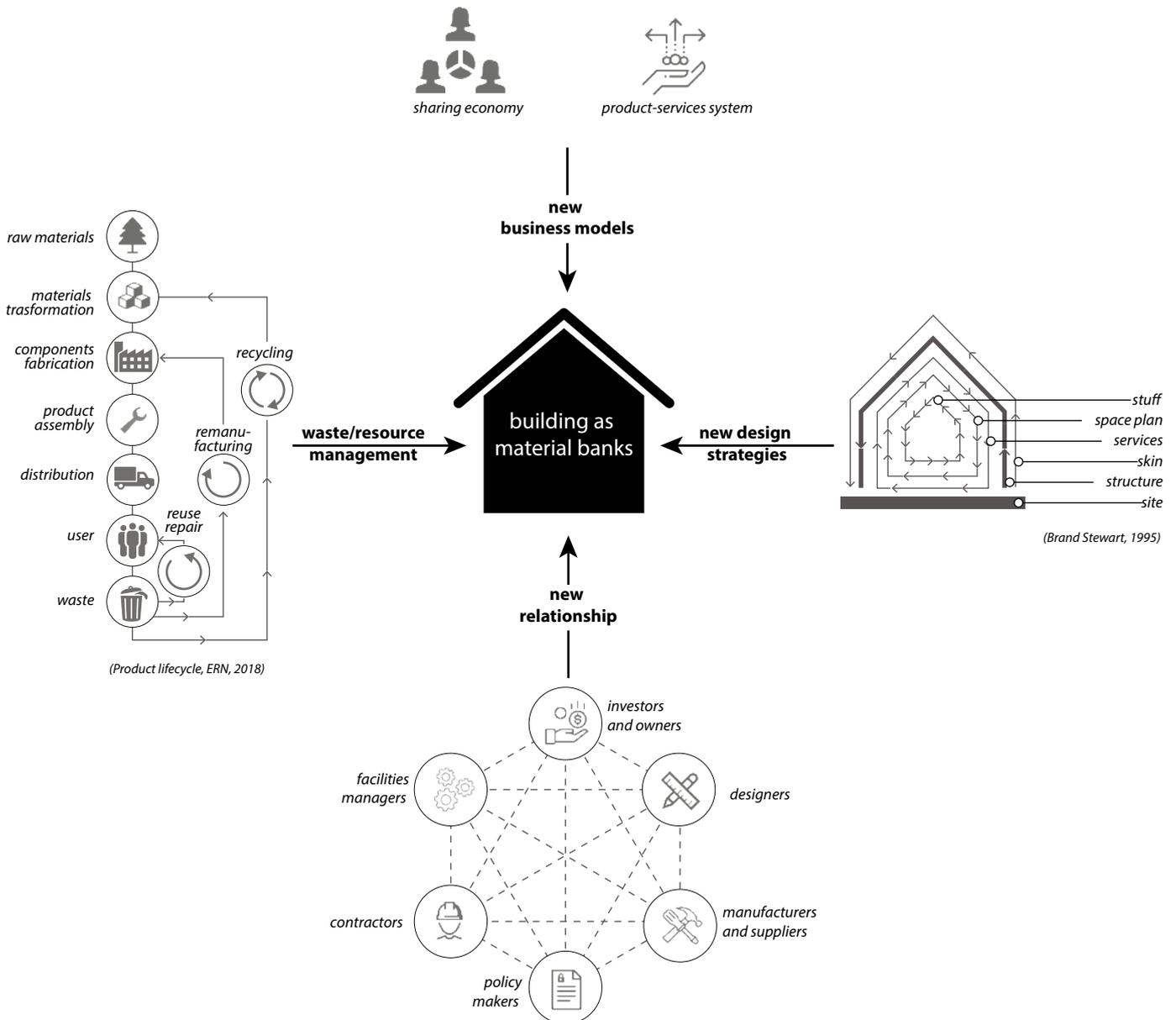
The cycle of matter has a crucial role within the circular economy policies that aim at limiting the consumption of natural resources and reducing the generation of waste.

In order to close the loop of matter, the built environment have to rethought with new design strategies, innovative

re che mirano alla limitazione del consumo delle risorse naturali e alla riduzione della generazione di rifiuti. Per raggiungere la chiusura del ciclo della materia, l'ambiente costruito deve essere interamente ripensato, definendo nuove strategie di progettazione e modelli innovativi di business e di relazioni tra gli attori del processo nella gestione dei flussi di risorse (Fig. 2).
Risulta determinante il mantenimento della qualità e del valore dei prodotti durante il ciclo di vita, cambiando le relazioni tra

materia e tempo, promuovendo un più lungo utilizzo dei prodotti, attraverso pratiche di condivisione, riuso, *re-manufacturing* e infine riciclo. A tal fine, l'edificio deve essere concepito in funzione della disassemblabilità dei diversi materiali e dei singoli componenti, divenendo quindi *materials-bank* e parte di un sistema basato sull'*urban mining*: approccio sistemico di recupero delle risorse antropogeniche (come prodotti, edifici, spazi) e rifiuti (Baccini et al., 2012) che propone una conservazione a lungo termine del-

02 |



le risorse al fine di ottenere benefici ambientali ed economici. In quest'ottica e in accordo con la filosofia *cradle-to-cradle* (McDonough e Braungart, 2000), i materiali e gli elementi che compongono l'edificio diventano a fine vita nutrienti per altri cicli tecnici, evitando lo stato di rifiuto. A partire dalla fase di progettazione diventa così importante definire i percorsi d'uso previsti per i materiali scelti prevedendo come possono essere smontati, riutilizzati o riciclati in altri prodotti.

Per raggiungere tali obiettivi risulta determinante l'attivazione di modelli di business innovativi che considerino nuovi tipi di relazione e di scambio di materiale tra diversi operatori, attraverso la definizione di reti di collaborazione. In tal senso occorre agire sulla catena del valore sia all'interno delle filiere del settore edilizio, sia ampliando i confini di sistema in ambito intersettoriale, aprendosi ai principi dell'economia in *loop* e dell'*industrial ecology*. Occorre, quindi, modificare la situazione attuale rappresentata da un gran numero di piccole medie imprese che difficilmente cooperano (ostacolando la diffusione di *best-practice* circolari sostenibili). La condivisione di pratiche/servizi e la collaborazione tra diversi *stakeholders* implica la definizione di modelli economici che prediligono forme di *sharing economy* (incentivando l'utilizzo dei beni) e di *product-service systems* (trasformando il concetto di proprietà). Attraverso tali modelli si facilitano il recupero, riuso, ricondizionamento o riciclo dei materiali arrivati a fine vita utile, chiudendo così il ciclo della materia.

Si delinea pertanto una progettualità fortemente ispirata ai principi della sostenibilità ambientale dove il ruolo dei materiali e della organizzazione produttiva risulta strategico. Alcune sperimentazioni sono già in corso, mostrando esempi puntuali di riciclo intersettoriali di sotto-prodotti o di *downcycling* di rifiuti

da costruzione e demolizione. Tuttavia, anche nelle situazioni più virtuose, il riferimento a sistemi di valutazione delle prestazioni ambientali che considerino l'intero ciclo di vita della materia risulta ancora incerto (Lavagna, 2016; Giorgi et al., 2017). La messa a punto e l'applicazione nell'ambito del progetto di metodi e strumenti che consentano di misurare la sostenibilità delle scelte considerando gli impatti nelle diverse fasi del ciclo di vita, costituisce un ulteriore terreno di confronto.

Misurare la sostenibilità

La valutazione dell'efficacia delle azioni promosse dalle politiche ambientali pone il duplice tema della precisazione di metodi e strumenti di analisi e della definizione dei livelli di prestazione ambientale con i quali il progetto si deve confrontare.

Per quanto riguarda gli strumenti, sono stati intrapresi due differenti percorsi: quello dei sistemi multicriteri di certificazione ambientale, i *Green Building Rating Systems* (GBRSs), che affrontano molteplici tematiche in grado di rappresentare la sostenibilità ambientale del progetto nel suo complesso, e quello dei metodi di misura della quantità degli impatti prodotti nel ciclo di vita, a partire dalla considerazione dei flussi di materia e di energia (Lavagna, 2008).

Nel primo caso la valutazione muove dall'attribuzione di punteggi correlati al rispetto di requisiti ambientali di vario tipo (es. uso di materiali locali, contenuto di riciclato, impiego di materiali rinnovabili) (Poveda e Young, 2014). Nel secondo caso la valutazione si fonda sull'analisi *Life Cycle Assessment* (LCA), grazie alla quale gli effetti delle azioni di trasformazione dell'ambiente costruito possono essere misurati considerando i flussi di risorse e gli impatti ambientali lungo tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estra-

business models and new relationship among different actors of resources management (Fig.2).

The maintenance of products quality and value during the entire life cycle is very important. The change of relationship between matter and time promotes a longer use of products, by sharing practices, reuse, re-manufacturing and, finally, recycling.

To this reason, the building has to be designed for disassembling of different materials and components. It brings to a building thought as *materials-bank*, that take part of a system based on *urban mining*, where urban mining is a systemic approach of recovery of anthropogenic resources (like products, buildings, spaces) and waste (Baccini et al., 2012). It proposes a long-term conservation of resources in order to achieve environmental and economic benefits.

In this perspective and in accordance with the cradle-to-cradle philosophy (McDonough and Braungart, 2000), materials and elements, at the end of their life, become nutritious for other technical cycles, avoiding the state of waste.

Consequently, the definition of the use paths for the materials chosen, for seeing how they can be dismantled, reused or recycled into other products, becomes very important in the design phase.

In order to achieve these objectives, it is fundamental the activation of innovative business models that considers new types of relationship and new exchange of materials among different operators, through the definition of collaborative networks. It is necessary to act on the value chain, both within the building sector supply chains, and in an intersectoral context, expanding

the system boundaries and opening up to the principles of *industrial ecology*.

Therefore, it is necessary to modify the current situation represented by a large number of small and medium-sized enterprises which don't cooperate (hindering the dissemination of sustainable circular best practices). The sharing of practices/services and the collaboration between different stakeholders implies the definition of economic models, based on sharing economy (encouraging the use of goods) and product-service systems (transforming the concept of ownership). These models facilitate the recovery, reuse, reconditioning or recycling of materials that have reached the end of their useful life, closing the cycle of matter.

Therefore, a vision of design strongly inspired by environmental sustainability principles is defined and the role of

materials and production organization is strategic in it.

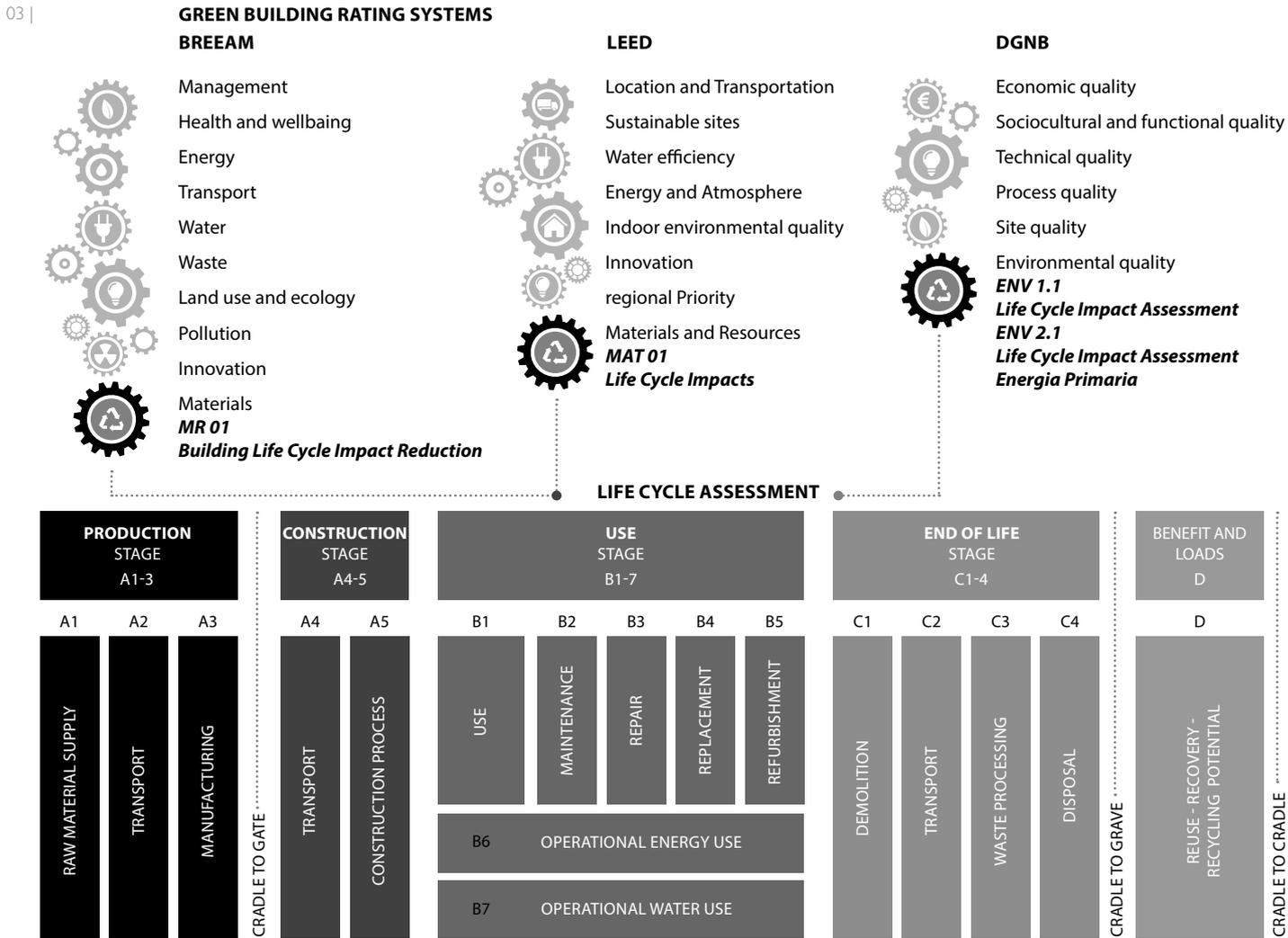
There are some experiments about specific examples of cross-sector recycling of by-products or downcycling of construction and demolition waste. But, also in the most virtuous situations, environmental performance assessment systems, that consider the entire life cycle of the material, are still uncertain (Lavagna, 2016; Giorgi et al., 2017). The development and the application of methods and tools that can measure the sustainability of choices, considering the impacts in the different phases of the life cycle, represent the further field for discussion.

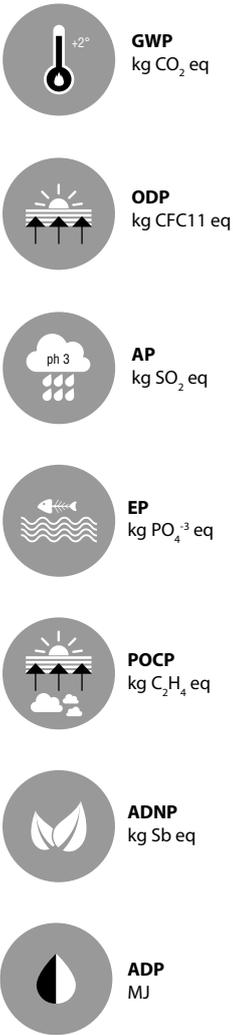
Measure the sustainability

The evaluation of effectiveness of actions promoted by environmental policies shows the twofold theme of the specification of analysis methods and

zione delle materie prime alla loro trasformazione, dalla produzione all'assemblaggio e installazione, dalla commercializzazione all'uso, dalla manutenzione alla gestione del fine vita con scenari di riciclo, recupero, riuso o ricondizionamento. Questo permette di descrivere scientificamente le azioni antropiche, evidenziandone gli impatti rilevanti, le minacce relative alla disponibilità delle risorse, gli effetti sulla salute delle persone e sull'ambiente (Pérez-Lombard et al., 2009). La metodologia LCA consente di comprendere dove si collocano le maggiori opportunità per ridurre gli impatti ambientali durante l'intero ciclo di vita e per evitare spostamenti dei carichi ambientali tra fasi, categorie di impatto, gruppi sociali e aree geografiche (Fig. 3). Per questo motivo, numerosi GBRs hanno introdotto indicatori LCA nei criteri relativi ai materiali e hanno promosso l'impiego di prodotti dotati di

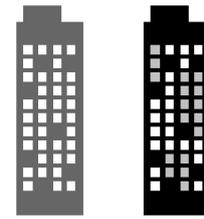
certificazione EPD, consentendo di individuare in fase di progettazione la migliore opzione materica sulla base di informazioni ambientali verificate (Ganassali et al., 2016). La valutazione della sostenibilità ambientale del progetto è legata al tema della definizione di soglie ambientali di riferimento, chiamate *benchmark*, assunte all'interno dei processi per misurare il livello di sostenibilità di un materiale, di un sistema e di un edificio progettato (Ganassali et al., 2017). Su questo fronte si è ancora lontani dall'obiettivo di un quadro definito e condiviso: al fianco di *benchmark* individuati attraverso la modellazione delle prestazioni ambientali di un edificio virtuale elaborato sulla base della prassi costruttiva corrente, vi sono *benchmark* costruiti attraverso l'elaborazione statistica delle prestazioni ambientali di un preciso campione di riferimento.





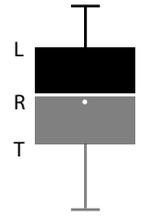
BENCHMARKING LCA

- 1 - Reference sample analysis (built environment)
- 2 - Definition of LCA system boundaries
- 3 - Benchmarking procedure
 - a. Statistical analysis (absolute benchmarks)
 - b. Reference building comparison (relative benchmarks)
- 4 - Benchmarks values and evaluation scale
- 5 - Benchmarks for LCA impact categories
- 6 - Use of benchmarks as decision-making support tool



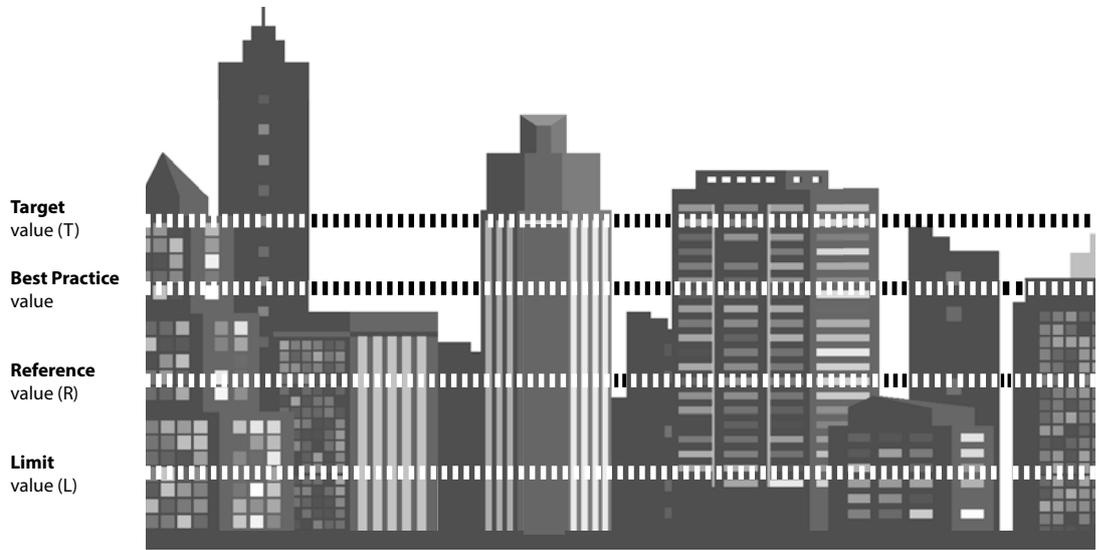
Relative Benchmark

Baseline building vs. Project building



Absolute Benchmark

L - 2,50E-01
R - 1,95E-01
T - 1,24E-01



04 | Benchmark ambientali per il settore delle costruzioni
Environmental benchmarks for the construction sector

tools and the definition of environmental performance levels with which the project must be compared. Regarding the tools, two different paths were undertaken: the environmental multicriteria certification systems, called *Green Building Rating Systems* (GBRSs), which deal multiple themes that can represent the environmental sustainability of the whole project; the tools for measuring the quantity of impacts produced in the life cycle, starting from flows of matters and energy (Lavagna, 2008). In the first case, the evaluation is based on the attribution of scores related to the achievement of multiple environmental requirements (i.e. the use of local materials, the recycled content, the use of renewable materials) (Poveda and Young, 2014). In the second case, the assessment is based on the Life Cycle Assessment (LCA), which allows

to measure the transformation effects of the built environment, considering the flows of resources and the impacts throughout the life cycle phases, from the extraction of raw materials to their transformation, from the manufacturing to assembly and installation on-site, from the maintenance to the end-of-life with recycling, recovery, reuse or reconditioning scenarios. This allows to describe anthropic actions scientifically, highlighting the relevant impacts, the threats related to the availability of resources, the effects on human health and the environment (Pérez-Lombard et al, 2009). The LCA methodology allows to understand the opportunities to reduce the environmental impacts during the entire life cycle and the opportunities to avoid shifts of environmental loads among different phases, impact categories, social groups and geographic areas (Fig.

3). For this reason, many GBRSs have introduced LCA indicators in their criteria related to building materials, promoting the use of products with EPD certification and allowing the identification of the best material choices in compliance with verified environmental information (Ganassali et al, 2016). The evaluation of the environmental sustainability of the project is linked to the theme of environmental thresholds definition, called *benchmarks*. They are assumed within the measurement processes of the environmental sustainability levels of materials, systems and buildings (Ganassali et al, 2017). On this topic, we are still far from the definition of an objective and shared framework: alongside *benchmarks* defined through the modelling of environmental performances of a reference building (which it is based on the current construction practice), there are

benchmarks defined through the statistical analysis of environmental performances of a specific study sample. In this context, the project activity is in a situation of substantial uncertainty compared to the possibility of verifying the effective environmental performances improvement in a perspective able to consider the entire life cycle of materials. The diffusion of environmental information, starting from those related to the materials, has a dominant role for design choices more and more environmentally conscious (Fig. 4).

Integration of the environmental information

The suggested life cycle-oriented design leads a paradigm shift in the way of considering the materials: from things (i.e. products and technologies) to systems (in relation to each

In questo contesto l'attività progettuale si trova in una situazione di sostanziale incertezza rispetto alla possibilità di verificare l'effettivo miglioramento delle prestazioni ambientali in una prospettiva capace di considerare l'intero ciclo della materia; la diffusione delle informazioni ambientali, a partire da quelle relative ai materiali, riveste pertanto un ruolo determinante per scelte di progetto sempre più consapevoli dal punto di vista ambientale (Fig. 4).

Integrare l'informazione ambientale

Il riferimento a una progettazione orientata a considerare il ciclo di vita induce un cambiamento di paradigma circa il modo di considerare i materiali: da cose (cioè prodotti e tecnologie) a sistemi (in relazione tra loro e l'ambiente circostante) concepiti nell'intero ciclo di vita (Boecker et al., 2009). Si tratta di un processo non immediato e assai complesso in ragione dei diversi soggetti coinvolti e della consistente quantità di informazioni da considerare e reperire, strettamente legate ai requisiti di progetto (Dalla Valle et al., 2018).

Tale condizione porta a riflettere su come le informazioni ambientali possano essere integrate all'interno del processo di progettazione, definendo diversi livelli di approfondimento in relazione alle diverse fasi (Riese, 2011), al fine di selezionare materiali e prodotti anche sulla base di criteri *life cycle* (Ortiz et al., 2009).

Partendo dal presupposto che il processo progettuale è iterativo, generalmente la considerazione delle caratteristiche dei materiali entra nel processo decisionale solo dopo la definizione dell'articolazione volumetrica e dell'organizzazione spaziale e funzionale. La scelta dei materiali avviene a seguire in modo progressivo, procedendo dagli elementi tecnologici principali a

quelli secondari e ausiliari e selezionando gradualmente i diversi materiali. Sempre più spesso oltre alle caratteristiche tecniche ed estetiche vengono presi in considerazione parametri ambientali quali *Embodied Energy* e *Embodied Carbon*, reperiti da banche dati con particolare riferimento alla fase di produzione. Una volta definite in modo dettagliato le diverse stratigrafie, la complessità della fase decisionale aumenta ulteriormente con il processo di comparazione e selezione di prodotti specifici. Coerentemente alle tendenze in corso e in linea con una visione *life cycle*, essi vengono esaminati dai punti di vista: fisico, valutando proprietà, caratteristiche e prestazioni; ambientale, valutando gli impatti ambientali (ad esempio tramite EPD); in alcuni casi sociale, valutando gli ingredienti contenuti e le possibili ricadute sulla salute umana (ad esempio tramite HPD – *Health Product Declaration*) e, ovviamente, economico (Arroyo et al., 2012). In questo modo in fase di progettazione lo sguardo viene esteso dalla fase di produzione e costruzione alla fase d'uso e di fine vita, considerando per ogni prodotto le attività di manutenzione e sostituzione, il relativo contenuto VOC e di riciclato, le distanze per il trasporto dallo stabilimento al sito di cantiere (Kohler e Lützkendorf, 2002). Sulla base dei suddetti parametri, il processo di confronto tra i diversi prodotti e produttori si conclude così con l'individuazione dei prodotti di riferimento per ogni elemento tecnologico.

Lungo questo percorso è importante che le informazioni utilizzate vengano organizzate in modo sistematico attraverso l'utilizzo di adeguati strumenti e in questa direzione il *Building Information Modeling* (BIM) offre interessanti opportunità. Esso, infatti, permette non solo di definire progressivamente gli elementi tecnologici (in accordo con LOD – *Level of Development*),

other and the surrounding environment) conceived in the whole life cycle (Boecker et al., 2009). This process is not immediate and it is very complex, due to the several actors involved and the large amount of information to be considered and gathered, closely related to the project requirements (Dalla Valle et al., 2018).

This condition leads to think over on how environmental information can be integrated into the design process, defining different depth level in relation to the different phases (Riese, 2011), with the aim to select materials and products also based on life cycle criteria (Ortiz et al., 2009).

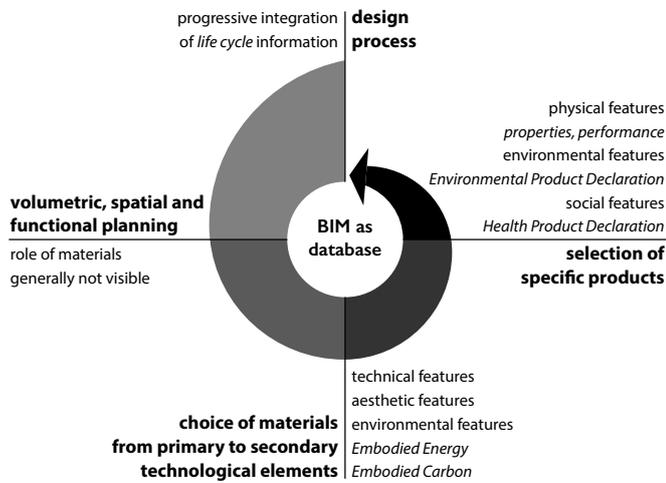
Starting with the assumption that the design process is iterative, usually materials deliberations affect the decision-making process only after the definition of the volumetric articulation and the spatial and func-

tional organization. Materials choices occur after that in a progressive way, moving forward from primary to secondary and auxiliary technological elements and selecting step by step the different materials. Always more often, in addition to the technical and aesthetic features, environmental parameters are taken into consideration, dealing with *Embodied Energy* and *Embodied Carbon* sourced from database with special attention to the production phase. Once the set of stratigraphy is defined in detail, the complexity of the decision-making increases further with the process of comparison and selection of specific products. Consistently with current trends and with a life cycle perspective, products are evaluated from the following points of view: physical, accounting properties, characteristics and performances; environmental, ac-

counting environmental impacts (e.g. by means of EPD); in some cases, social, accounting ingredients contained and the possible impacts on human health (e.g. by means of HPD – *Health Product Declaration*); and, of course, economic (Arroyo et al., 2012). In this way, the design phase embraces not only the production and construction phases but also the use and end of life phases, considering for each product the maintenance and replacement activities, the VOC emissions, the recycled content, the transport distance from the factory to the construction site (Kohler and Lützkendorf, 2002). Based on the quoted parameters, the process of comparison between the several products and producers ends with the identification of the products for each technological element. Along this path it is important to organize in a systematic way the set of

information used with the support of adequate tools and, in this direction, *Building Information Modeling* (BIM) offers interesting opportunities. In fact, it allows not only to progressively define the technological elements (according to LOD – *Level of Development*), but at the same time to integrate the various information into the building elements and objects and to track information between the different project actors and within the entire building process (Fig. 5).

The integration of life cycle information into a virtual model and, consequently, the creation of an information database of the project becomes particularly strategic to optimize the information flow among the various subjects involved, as well as the design process itself and the overall management of the building and related materials along the entire life cycle.



ma consente allo stesso tempo di incorporare negli elementi e negli oggetti dei manufatti le varie dimensioni informative e di tracciare le informazioni tra i diversi operatori del progetto e dell'intero processo edilizio (Fig. 5).

L'integrazione delle informazioni *life cycle* all'interno del modello virtuale e, di conseguenza, la creazione di un *database* informativo del manufatto diventa particolarmente strategica per ottimizzare il flusso di informazioni tra i diversi soggetti coinvolti, nonché il processo di progettazione stesso e la gestione complessiva dell'edificio e dei relativi materiali nel loro intero ciclo di vita.

Nuove competenze, nuove professionalità

A fronte di tali esigenze, all'interno degli studi di progettazione (ma non solo) stanno emergendo nuove figure professionali, specializzate nella conoscenza, nell'uso e nel ciclo di vita dei materiali. In tal senso è stato condotto un sondaggio a livello internazionale tra studi di progettazione (Dalla Valle et al., 2016), che ha evidenziato la presenza di queste competenze, seppur affermate in maniera disomogenea e fortemente influenzata dalla dimensione della struttura. Per dare risposta sia alle questioni tecniche sia di innovazione e sostenibi-

li, infatti, numerosi studi di grandi dimensioni si sono attrezzati creando al loro interno centri di ricerca e di informazione specializzati su tradizionali e nuovi materiali, prodotti e tecnologie. Altre strutture di progettazione, invece, possiedono al loro interno gruppi di esperti specializzati su materiali, fornendo competenze specifiche sia in relazione alle informazioni ambientali dei prodotti, sia alle possibili ripercussioni sulla salute degli utenti. In alcuni casi, la volontà di includere alcuni esperti in materia e di non istituire un centro strutturato di informazione sui materiali è dettata dal fatto che quest'ultimo risulta maggiormente impegnativo in termini di risorse.

New competences, new expertise

To face these needs, new expertise specialized in the know-how and life cycle of materials are emerging within the design firms (but not only). With the aim to deepen the current state, a questionnaire survey was spread at international level among several design firms (Dalla Valle et al., 2016), highlighting the presence of these competences, although in a non-homogeneous way and strongly influenced by the firm size. In fact, to give answer to both the technical and innovation and sustainability issues, many big-size firms have equipped themselves with research and information centers dedicated to traditional and new materials, products and technologies. Instead, other design firms embrace group of experts specialized in materials, providing specific competences both in relation to the environmental information of the

products and to the possible impact on the health of users. In some cases, the willingness to embed only punctual experts on the matter and to not set up a structured information center on materials is due to the fact that the latter is more demanding in terms of resources.

On the contrary, when for economic and/or organizational reasons these competences are not available in-house, the design firms rely on external partners to meet the specific project requirements. This happens often within medium-size firms as well as, in some instances, within big-size firms. Indeed, it is possible that, despite holding internally all the demanded competences, big-size firms prefer to be supported by external consultants, since better acquainted with local requirements and needs and so able to enhance the project from the point of

view of materials and products quality (Fig. 6).

The spread out of new competences and expertise demands an improvement of the training activity, both to orient the decision-making process towards sustainability and to integrate in a systematic way the life cycle information of materials inside a single database (well represented by BIM models).

All the actors are equally involved in this process of updating: clients, designers and all the subject engaged in the production, construction, use and end of life phases.

Conclusion

In the design process, the consideration of environmental aspects in the life cycle of different material options is an unavoidable priority. The achievement of high material perfor-

mances in the environmental indicators poses a double challenge to the project. The first one concerns the relationship between projects and materials. The researches carried out in recent years on the *bio-based* materials side are emblematic; they show the possibility to design the material features not only from the technical performance point of view (e.g. the composite materials), but also from the environmental point of view. Furthermore, there is the opportunity to optimize the production processes, in order to reduce the phases that cost resources and impacts.

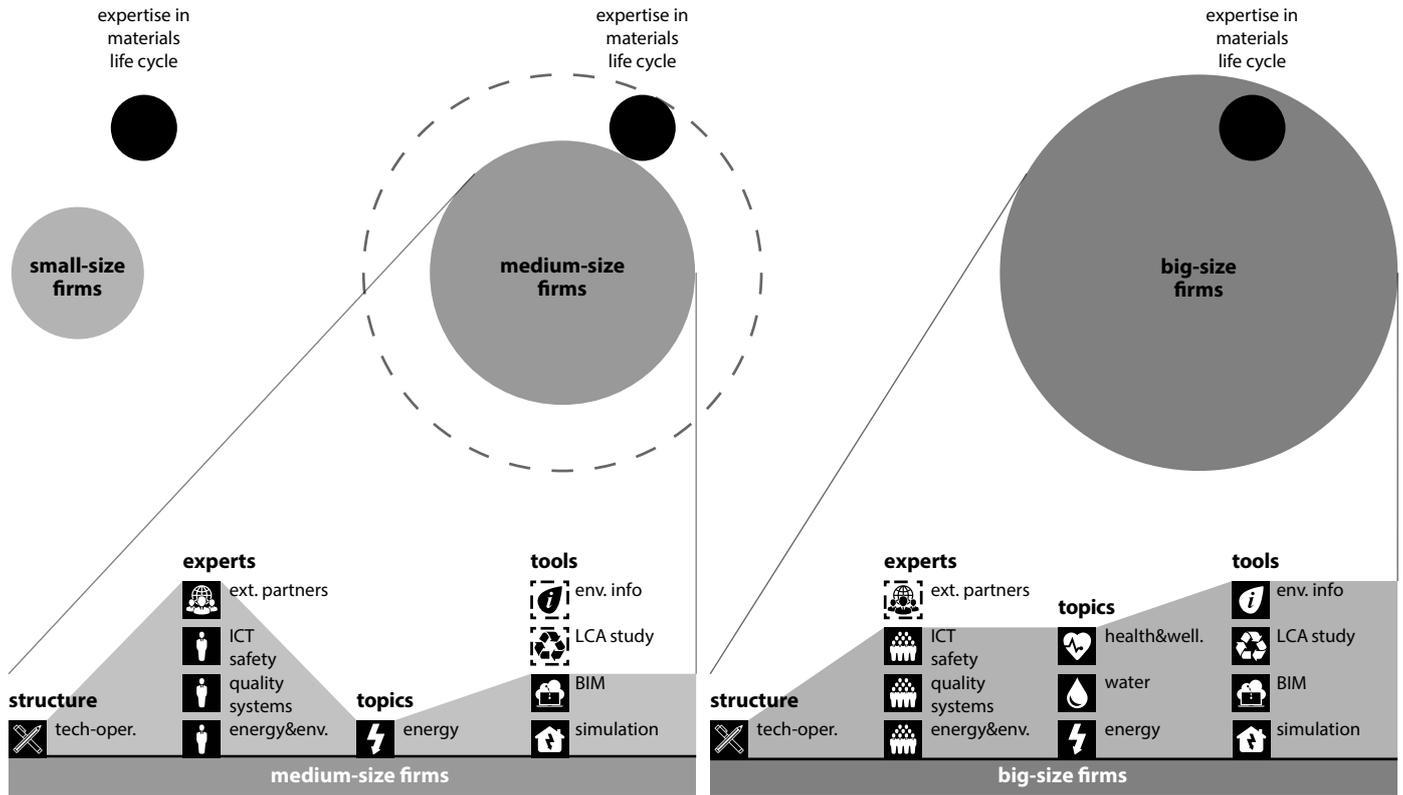
Similarly, the reference to construction technologies needs a drastic afterthought. The research must be oriented toward the development of solutions able to reduce the content of materials and the impacts produced during the life cycle. Even in the build-

ing, infatti, numerosi studi di grandi dimensioni si sono attrezzati creando al loro interno centri di ricerca e di informazione specializzati su tradizionali e nuovi materiali, prodotti e tecnologie. Altre strutture di progettazione, invece, possiedono al loro interno gruppi di esperti specializzati su materiali, fornendo competenze specifiche sia in relazione alle informazioni ambientali dei prodotti, sia alle possibili ripercussioni sulla salute degli utenti. In alcuni casi, la volontà di includere alcuni esperti in materia e di non istituire un centro strutturato di informazione sui materiali è dettata dal fatto che quest'ultimo risulta maggiormente impegnativo in termini di risorse.

Invece, quando per ragioni economiche e/o organizzative tali competenze non sono presenti internamente, le strutture di progettazione si affidano a partner esterni per soddisfare gli specifici requisiti progettuali. Ciò accade spesso per gli studi di media dimensione ma, in maniera puntuale, anche per gli studi di grandi dimensioni. Inoltre, è possibile che studi di grandi dimensioni, pur incorporando al loro interno tutte le competenze richieste, preferiscano anche essere supportati da consulenti esterni che conoscono meglio i requisiti e le necessità locali, ciò al fine di valorizzare maggiormente il progetto dal punto di vista dei materiali e della qualità dei prodotti utilizzati (Fig. 6).

La diffusione delle nuove figure professionali specializzate e competenti, necessita di una fondamentale attività di formazione sia per orientare il processo decisionale verso la sostenibilità sia per integrare in maniera sistematica in un unico *database* (ben rappresentato dai modelli BIM) le informazioni riferite all'intero ciclo di vita dei materiali.

In questo processo di aggiornamento sono ugualmente coinvolti tutti gli attori della filiera: committente, progettisti e tutti i



06 | Competenze ambientali e life cycle nelle strutture di progettazione
Environmental and life cycle competences within the design firms

soggetti coinvolti nelle fasi di produzione, costruzione, uso e fine vita.

Conclusioni

All'interno del processo di progettazione, la considerazione degli aspetti ambientali nel ciclo di vita delle diverse opzioni materiche costituisce una priorità ineludibile. L'obiettivo del raggiungimento di elevate prestazioni dei materiali rispetto agli in-

dicatori ambientali, pur nella complessità del quadro esigenziale al quale il progetto deve corrispondere, pone al progetto una duplice sfida.

La prima riguarda il rapporto tra progetto e materia. Le ricerche attivate in questi anni sul versante dei materiali *bio-based* sono emblematiche della possibilità di progettare le caratteristiche dei materiali non più soltanto dal punto di vista delle prestazioni tecniche, come è accaduto con l'avvento dei materiali compositi, ma anche dal punto di vista delle prestazioni ambientali. Inoltre,

ing sector it is better to use the *lean production* logics, now widely tested in many industrial sectors. In even more radical terms, the systematic reference to production methods based on prefabrication and "dry assembly" is required. It follows the *design for disassembling* logics, long theorized and experimented in *industrial design* (Manzini e Vezzoli, 2008).

The second challenge is more ambitious. It imposes the reorganization and the rethinking of the building supply chain boundaries and the new positioning of design process in this new scenario. On one side, the "vertical" organization among different operators and internal processes of construction sector must be improved, attributing a widespread relevance to the design dimension. On the other side, cooperation and cross *partnership* actions must be promoted, in order to in-

volve all the industrial sectors outside the building sector.

Thinking about the architectural project in terms of life cycle of materials means thinking to a deep influence and fusion between design, production and use processes.

si apre l'opportunità di ottimizzare i processi di produzione dei materiali al fine di ridurre le fasi più onerose dal punto di vista del consumo delle risorse e degli impatti prodotti. Analogamente anche il riferimento alle tecnologie costruttive necessita un drastico ripensamento. La ricerca si deve orientare alla messa a punto di soluzioni in grado di ridurre il contenuto di materia e gli impatti prodotti nel ciclo di vita. Si tratta di trasferire anche in edilizia le logiche della *lean production* ormai ampiamente coltivate in molti settori industriali. In termini ancora più radicali, si impone il riferimento sistematico a modalità produttive basate sulla prefabbricazione e sull'assemblaggio a secco, seguendo le logiche del *design for disassembling*, da tempo teorizzate e sperimentate nell'*industrial design* (Manzini e Vezzoli, 2008). La seconda sfida è ancora più ambiziosa. Essa impone la riorganizzazione e il ripensamento dei confini della filiera delle costruzioni e il riposizionamento della progettazione all'interno di questa nuova perimetrazione. Da un lato deve essere potenziata l'organizzazione "verticale" tra i diversi operatori e le diverse fasi dei processi interni al settore delle costruzioni attribuendo una diffusa centralità alla dimensione progettuale. Dall'altro, devono essere incentivate tutte quelle azioni di cooperazione e di *partnership* trasversale che riescano a coinvolgere in modo esteso anche i settori industriali esterni alle costruzioni. Pensare al progetto di architettura in termini di ciclo della materia significa innanzitutto pensare a una profonda contaminazione e fusione tra processo di progettazione, processo di produzione e processo d'uso.

REFERENCES

- Arroyo, P., Tommelein, I. and Ballard, G. (2012), "Deciding a sustainable alternative by 'choosing by advantages' in the AEC industry", *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, CA, USA.
- Baccini, P. and Brunner, P.H. (2012), *Metabolism of the anthroposphere: analysis, evaluation, design*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Boecker, J., Horst, S., Keiter, T., Lau, A., Sheffer, M. and Toevs, B. (2009), *The integrative design guide to green building*, Wiley, New Jersey, USA.
- Campioli, A. and Lavagna, M. (2013), "Environmental innovations in the construction sector and life cycle approach", *Techné Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 5, pp. 66-73.
- Dalla Valle, A., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence", *41st IAHS World Congress*, Albufeira, P.
- Dalla Valle, A., Lavagna, M. and Campioli, A. (2018), "Matching Life Cycle Thinking and design process in a BIM-oriented working environment", *12th Italian LCA Network Conference*, Messina.
- Eurostat (2016), *Key figures on Europe*, Belgium, pp. 161-164.
- Ganassali, S., Lavagna M. and Campioli, A. (2017), "Benchmark LCA e uso di EPD nei Green Building Rating System", *XI Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA 2017*, Siena.
- Ganassali, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "LCA benchmarks in buildings environmental certification systems", *41st IAHS World Congress*, Albufeira, P.
- Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2017), "Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte", *Ingegneria dell'Ambiente*, No. 4, Vol. 3, pp. 241-254.
- Kohler, N. and Lützkendorf, T. (2002), "Integrated life-cycle analysis", *Building research and information*, No. 30, Vol. 5, pp. 338-348.
- Lavagna, M. (2008), *Life Cycle Assessment in edilizia: progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milan.
- Migliore, M. and Talamo, C. (2017), *Le utilità dell'inutile. Economia circolare e strategie di riciclo dei rifiuti pre-consumo per il settore edilizio*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, Rimini.
- Manzini, E. and Vezzoli, C. (2008), *Design for Environmental Sustainability*, Springer, London, UK.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*, North Point Press, New York, USA.
- Ortiz, O., Castells, F. and Sonnemann, G. (2009), "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA", *Construction and Building Materials*, No. 23, pp. 28-39.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Gonzàles, R. and Maestre, I.R. (2009), "A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes", *Energy and Buildings*, No. 41, pp. 272-278.
- Poveda, C.A. and Young, R. (2014), "Potential benefits of developing and implementing environmental and sustainability rating systems: making the case for the need of diversification", *International Journal of Sustainable Built Environment*, No. 4, pp. 1-11.
- Riese, M. (2012), "Technology-augmented changes in the design and delivery of the built environment", *Communications in Computer and Information Science*, No. 242, pp. 49-69.

Elia Cangelli, Michele Conteduca,

Dipartimento PDTA, Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

elia.cangelli@uniroma1.it

michele.conteduca@uniroma1.it

Abstract. L'articolo indaga come le relazioni tra il progetto e la materia si stiano modificando in ragione dell'impatto della digitalizzazione e dei paradigmi economici e produttivi emergenti, sia in termini di processo che di prodotto. Il percorso evolutivo del rapporto tra industrializzazione e architettura, consente di tracciare un quadro che, principiando dalle prime esperienze di prefabbricazione standardizzata, giunge ad esiti sempre più orientati alla personalizzazione delle realizzazioni (Industrial Mass Customization). Il saggio propone una lettura critica delle innovazioni tecnologiche più recenti ed evolute, focalizzandosi sulle applicazioni della tecnica di stampa additiva in 3d all'architettura, e ai nuovi scenari di ricerca che si aprono per il progetto e l'industria delle costruzioni.

Parole chiave: Industrial mass customization; Open building; Prefabbricazione; 3d printing; Automazione/robotica.

Premessa

La fluidità e la rapidità di circolazione delle informazioni che caratterizzano il mondo in cui viviamo, hanno portato alla progressiva smaterializzazione dei processi cognitivi e a innovazioni tecnologiche repentine che investono tutti gli ambiti della vita.

Lo sviluppo tecnologico e le realtà sociali delineano un contesto culturale mutevole e in transizione verso un nuovo modello che tende al Postumano, in cui l'uomo verrà progressivamente affiancato, forse sostituito, dall'intelligenza artificiale nei processi decisionali e produttivi. Questo genera inevitabilmente un clima d'ansia, che per non cedere al nichilismo impone la sottrazione del dibattito ai tecnocrati, in favore di un pensiero critico scaturito dalla convergenza tra saperi (Braidotti, 2014).

In quest'ottica, la cultura tecnologica può giocare un ruolo significativo attraverso l'analisi e la previsione circa l'impatto che la tecnologia ha oggi e avrà in futuro sulla vita dell'uomo (individuo e società), in relazione all'ambiente fisico e biologico in cui egli è posto (Ciribini, 1984).

La terza rivoluzione industriale ha visto mutare profondamente il rapporto tra progetto di architettura e industrializzazione. Le

tecnologie informatiche e i sistemi di automazione e robotica, influenzando direttamente gli aspetti materiali della costruzione, oltre che i metodi, gli strumenti e i processi di produzione, hanno progressivamente esteso i limiti delle innovazioni tecniche all'ambito morfologico, produttivo e ambientale. All'autoreferenzialità e alla dicotomia che spesso hanno contraddistinto le relazioni tra Tecnologia e Architettura, tra materia e progetto, va recuperata una visione euristica, in cui il trinomio idea-progetto-cantiere, oltre a essere fortemente caratterizzato dalla ingegnerizzazione, veda il recupero dell'aspetto esplorativo e creativo dell'attività progettuale e il confronto in tempo reale delle differenti competenze in esso coinvolte. Le consolidate modalità di gestione del processo progettuale e realizzativo sono scardinate da nuovi paradigmi complessi, costituiti da applicazioni, modelli e piattaforme ormai decifrabili soltanto attraverso una lettura interdisciplinare e approcci conoscitivi evoluti, noti come Intelligenza collettiva (Levy, 1994). Tra questi, particolare rilevanza assumono l'architettura parametrica, la morfogenesi computazionale favorite da software e piattaforme informatiche ad accesso libero e condiviso (open source), che aprono a nuovi metodi per la progettazione e la realizzazione degli organismi edilizi.

In questo contesto, si può affermare che la digitalizzazione, sia in termini di processo che di prodotto, unitamente ai nuovi paradigmi economici e ai cambiamenti generati dalla necessità di orientare lo sviluppo verso un'economia circolare e green, vedono la crescente esigenza di garantire flessibilità e adattabilità, competenze interdisciplinari e il coinvolgimento degli utenti finali. L'impatto di queste tendenze ha portato a una domanda sempre più rivolta alla personalizzazione e a un'offerta sempre più diversificata e sperimentale, che guarda all'industrializzazio-

Architecture on demand.
New scenarios for the
design project and the
construction industry

Abstract. The paper examines how the relationship between the project and the matter is changing under the impact of digitalization and the productive and economical emerging paradigms, both in terms of process and product. The evolutionary path of the relationship between industrialization and architecture allow us to draw a picture which, starting from the first experience of standardizing prefabrication, lead to results increasingly oriented towards the personalization of realizations (Industrial Mass Customization). The essay proposes a critical reading of most recent and advanced technological innovations, focusing on the applications of 3d printing additive technology to the architecture and to the new scenarios of research opened for the project and the construction industry.

Keywords: Industrial mass customization; Open building; Prefabrication; 3d printing; Automation/robotics.

Introduction

The fluidity and the speed of information transmission that characterize the world in which we live, have brought to the progressive dematerialization of cognitive processes and to the sudden technological innovations that concerns every field of life.

The technological development and the social situation describe a cultural and variable context oriented to a model increasingly trend to Posthuman, in which the human being will be progressively flanked or perhaps replaced with the artificial intelligence in the productive and decision making process.

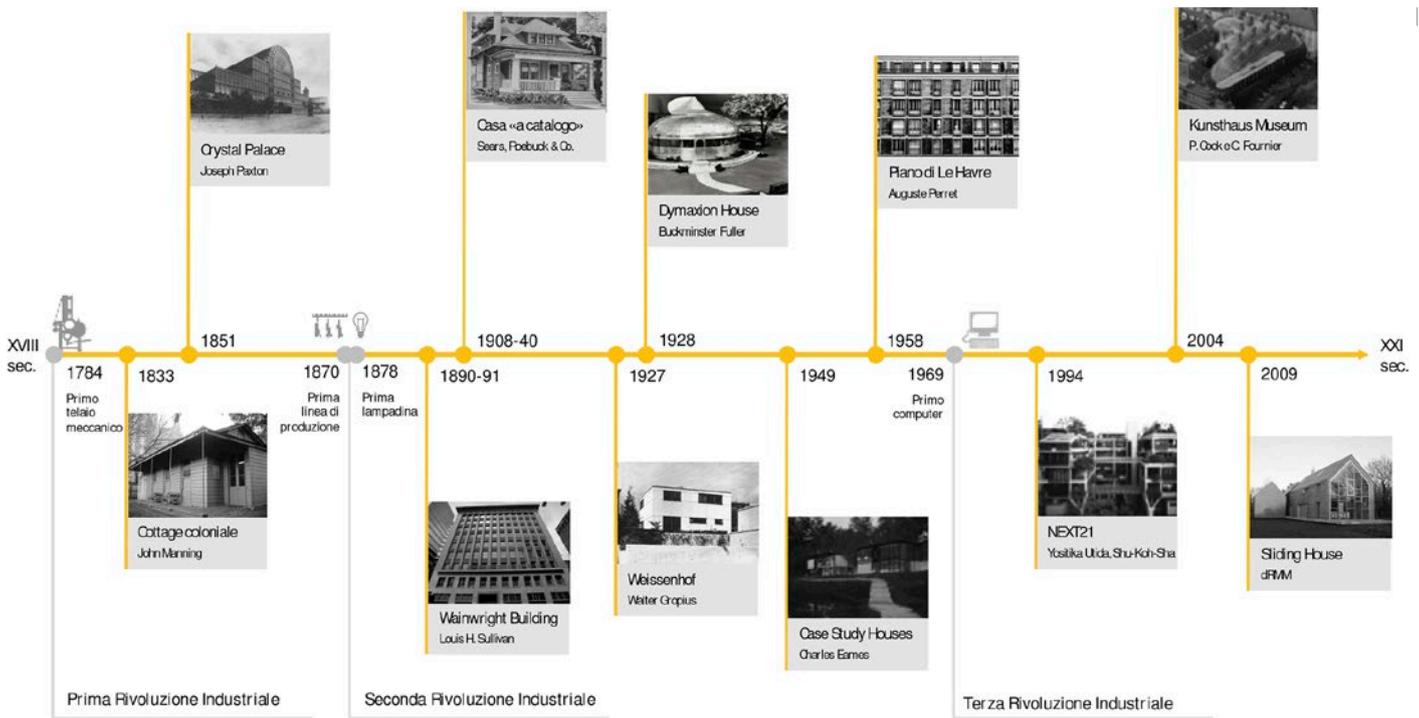
This situation produce, inevitably, an atmosphere of anxiety that requires, with the objective of don't drifting in some nihilist current, to subtract the debate from the technocrats in order to bring out a critical thought, arising

from the convergence of knowledge (Braidotti, 2014).

In this perspective, the technological culture can play a meaningful role through the analysis and the prediction about the impact that technology has today and it will have on the life of man (in both situations, as individual and as society) in relation to the physical and biological environment where he has been placed (Ciribini, 1984).

The third industrial revolution has seen changing, deeply, the connection between the project of architecture and the industrialization.

The information technologies and the automation and robotics systems, influencing directly the material aspects of the construction, in addition to the methods, the tools and the production processes, have progressively extended the limits of the technical innovations to the morphological, productive and



01 | Timeline dell'evoluzione della prefabbricazione in architettura
Evolution timeline of the prefabrication in architecture

ne e alle potenzialità dell'Industrial Mass Customization, aprendo a nuovi scenari come quello dell'Architettura on demand. Tuttavia il settore edile, specie in Italia, reagisce pigramente a questi nuovi imperativi e continua a proporre sul mercato edifici invariabili nella tipologia e nella forma, realizzati con tecnologie costruttive prevalentemente tradizionali, aggiornati blandamente nelle soluzioni impiantistiche. Unico elemento d'innovazione diffuso, è la prefabbricazione, che garantisce standard qualitativi superiori e certificabili, con costi e tempi inferiori. L'articolo ripercorre il percorso evolutivo dell'industrializzazione edilizia, soffermandosi sui principali punti di svolta che hanno definito la Mass Customization quale chiave di lettura del contesto contemporaneo, in cui ha assunto particolare rilievo il

environmental field. Compared to the self-referentiality and the dichotomy that often have distinguished the relationship between Technology and Architecture, the project and the matter, it should be recovered a heuristic vision, in which the trinomial Idea - Project - Construction, strongly characterized by "engineeringization", determine the reactivation of the exploratory and creative aspect about the design activity and the comparison, in real time, of the different skills involved in it. The consolidated methods of managing of the design and implementation project are demolished by new complex paradigms, formed by applications, models and platforms that can be decrypted only through an interdisciplinary analysis and advanced cognitive approaches, known as Collective Intelligence (Levy, 1994). Among them, it is possible to indicate

the importance assumed by the parametric architecture and the computational morphogenesis, facilitated from software and information platforms with free and shared access (open source), which allows to develop new design methods and the implementation of building organisms. In this context, the digitalization, both in terms of process and product. along with the new economical paradigms and the changes generated by the need to guide the development towards a circular and green economy, evaluates the growing necessity to guarantee flexibility and adaptability, interdisciplinary skills and the participation of all the end users. The impact of those tendencies determined a demand focused around more personalization and a always more diversified and innovative supply: this model is oriented towards the indus-

trialization and the potentiality of Industrial Mass Customization, opening up to new scenarios such as the Architecture on demand. However, the building sector, especially in Italy, reacts lazily to these new imperatives and continues to offer on the market buildings with an unchanged form and type, constructed mainly with traditional technologies and blandly updated in engineering plant solutions. The only element of widespread innovation is the prefabrication, which guarantees superior and certifiable quality standards, with lower costs and reduced times. The paper retraces the evolutionary path of industrialized construction, focusing on the main turning points that have defined Mass Customization as a key to understand the contemporary context, in which the system of enabling technologies, ascribable

Industrializzazione e architettura: la prefabbricazione dalla produzione di massa alla personalizzazione di massa

Con la prima fase della rivoluzione industriale, inizia a delinearsi un percorso di crescita economica costante, che culmina nella seconda fase con il trionfo della grande impresa e il paradigma fordista: sono gli anni della prefabbricazione in edilizia e della produzione di massa completamente standardizzata.

to the so-called Industry 4.0, have become particularly prominent; in particular the most recent additive production techniques known as 3d printing, and their application to the construction industry (construction 3d printing)¹.

Industrialization and architecture: the prefabrication from mass production to mass customization

With the first phase of the industrial Revolution, a path of constant economic growth began to take shape and reaches its climax in the second phase with the triumph of big firms and the Fordist paradigm: these are the years of the prefabrication in building construction and the completely standardized mass production.

The evolution of the relationship between the building prefabrication techniques (Fig. 1) and the architec-

L'evoluzione del rapporto tra le tecniche di prefabbricazione edilizia (Fig. 1) e la cultura architettonica muove dalla standardizzazione spinta che ha connotato i primi edifici realizzati interamente offsite sotto la spinta dell'espansione coloniale dell'età vittoriana, di cui i primi esempi sono gli edifici smontabili noti come «case di Manning» (1833). L'abbandono del binomio colonialismo-prefabbricazione in favore di quello prefabbricazione-industrializzazione, si realizza a metà del XIX secolo, grazie all'utilizzo diffuso del ferro e dell'acciaio negli edifici su larga scala: è il caso del Crystal Palace a Londra (1851), e dei primi grattacieli della Scuola di Chicago. Il passaggio tra il XIX e il XX secolo segna, negli USA, la nascita di un'innovazione alla prefabbricazione: l'approccio kit of parts delle case a catalogo proposte dalla Sears, Roebuck and Company. Nel secondo dopoguerra, negli anni del boom e della terza fase della rivoluzione industriale, il metodo e la struttura produttiva non cambiano: il "paradigma taylorista", ormai declinato nel "modello fordista", raggiunge il suo punto più elevato negli esempi di prefabbricazione leggera sperimentata nel Case Study House Program. Gli anni '60 e '70 del '900 furono, invece, caratterizzati da un lato dall'esplosione della prefabbricazione pesante in cemento armato per pannelli, e dall'altro dalle sperimentazioni basate sulla teoria dell'Open Building² sviluppata da Habraken nel 1961, secondo cui l'oggetto architettonico deve essere modificabile autonomamente da parte dei suoi fruitori, in funzione delle loro mutevoli esigenze. Si affianca, dunque, alla standardizzazione tipica della prefabbricazione leggera una vasta possibilità di personalizzazione, assicurata dall'utilizzo di elementi di riempimento facilmente sostituibili e, dunque, dinamici, all'interno di un'infrastruttura permanente statica che incorpora la struttura, l'involucro e l'impiantistica.

tural culture originates from the big standardization that characterized the first buildings constructed entirely offsite under the thrust of the colonial expansion of the Victorian age: in this period, it is possible to remind the dismantled buildings known as "Manning house" (1833). In the mid-nineteenth century the abandonment of the binomial colonialism-prefabrication in favor of the prefabrication-industrialization combination has been realized with the widespread use of the iron and steel in large-scale buildings: this is the case of the Crystal Palace in London (1851), and the first skyscrapers of the School of Chicago. The passage between the nineteenth and twentieth century coincides with the birth of a prefabrication innovation in the USA: the kit of parts approach houses proposed by Sears, Roebuck and Company.

After the second world war, during the years in which the economic boom was at its peak and with the emergence of third Industrial revolution phase, the method and the structure of production remained unchanged: "The Taylorism model", structured in the "fordism model" reaches its highest point in the examples of light prefabrication, experimented in the Case Study House Program. The 1960 and 1970 were years characterized, on the one hand, by the explosion of heavy prefabrication in reinforced concrete for panels and, on the other hand, by experiments based on the Open Building theory² developed by Habraken in 1961, according to which the architectural object must be independently modifiable by its users, according to their changing needs. Therefore, the typical standardization of light prefabrication was accompa-

Con la crisi petrolifera degli anni '70 inizia il declino della produzione di massa. Inizia l'era post-industriale e il riposizionamento della struttura produttiva, che trova il suo nuovo punto di riferimento nel modello giapponese di fabbrica snella (lean production)³, che trae ispirazione da una radicata tradizione produttiva di stampo artigianale, attenta alla qualità e al gusto del produttore (Toninelli, 2006). Il paradigma taylorista cede il passo al paradigma toyotista, nel quale il flusso produttivo non procede più dall'alto verso il basso (push production), ma dal basso verso l'alto (pull production). Questo non significa abdicare alla standardizzazione delle singole componenti dei manufatti, ma consente di aprire alla possibilità di introdurre margini di flessibilità e personalizzazione nel prodotto finito.

Nel campo edilizio questo si è tradotto in una produzione su misura ma su vasta scala, con lavorazioni snelle e sistemi di prefabbricazione leggera, mettendo in atto la mass customization: la personalizzazione della produzione, in cui, l'intero processo realizzativo si caratterizza per un mix che combina il costo ridotto consentito dall'impiego di tecnologie efficienti, tipiche della produzione di massa, con l'artigianalità normalmente connessa alla peculiarità di ogni singolo progetto (Paoletti, 2006).

Industrial Mass Customization: come l'automazione e la robotica hanno modificato la produzione e il cantiere

standardization, customized standardization, tailored customization e pure customization. Procedendo verso la pure customi-

Le strategie di mass customization sono state classificate da Lampel e Mintzberg (1996) all'interno di un continuo con cinque punti di snodo: pure standardization, segmented

nied by a wide range of customization, ensured by the use of filling elements that are easily replaceable and dynamics, within a permanent static infrastructure that incorporates the structure, the enclosure and plant design.

With the oil crisis of the 70s the decline of mass production begins. The post-industrial era begins with the repositioning of the production structure, which finds its new reference point in the Japanese lean factory model³: this model draws inspiration from a deeply rooted tradition of artisanal production, keenly attentive to satisfy the quality and the taste of producer. (Toninelli, 2006).

The Taylorist paradigm has been bypassed by the Toyotista paradigm, in which the production flow no longer proceeds from the top to the bottom (push production), but from the bot-

tom to the top (pull production). This approach does not require the standardization of the individual components of the products, but it allows to include the possibility of introducing flexibility and customization in the finished product.

In the building field, this method has been applied into a tailor-made production but on a large scale, with simple processing techniques and light prefabrication systems, implementing the mass customization: the customization of production, in which the entire manufacturing process is characterized by a combination which connects the reduced cost, allowed by the use of efficient technologies, typical of mass production, with the craftsmanship generally linked to the peculiarity of each individual project (Paoletti, 2006).

zation, le strategie realizzative sono progressivamente più costose, ma anche più ricettive sul lato della domanda, ovvero sempre più in grado di ampliare la gamma di opzioni che, fin dalla fase di progettazione, possono essere offerte alla committenza.

Sul piano del processo produttivo, l'intuizione di Pine (1993), secondo cui la sostenibilità economica della mass customization risiede nella modularità, è stata anche di recente confermata e sviluppata da Butt (2012), che, anche sulla base degli studi di Naim e Barlow (2003), individua nella scelta sulla collocazione del punto di differenziazione del prodotto nella filiera produttiva (decoupling point) la sfida principale per la mass customization. Allo stato attuale, la tendenza prevalente sembra essere quella di spostare quanto più possibile il decoupling point in prossimità del prodotto finito (e, quindi, verso il committente). In breve, nell'edilizia si riscontrerebbe un'estensione della prefabbricazione fino alla fase dell'assemblaggio (che inizierebbe solo a seguito della ricezione della commessa specifica), con la standardizzazione che cederebbe il passo alla personalizzazione soltanto nella fase finale della catena produttiva. Si tratta della strategia del postponement, una delle cui principali applicazioni è, come detto, l'Open Building (Habracken, 1976; Kendall, 2004).

Quanto all'automazione e alla robotica, sulla base di Bock et al. (2011), è possibile individuare tre modalità di impiego nel settore delle costruzioni, contraddistinte da un crescente grado di automazione del processo produttivo: produzione pura, offsite robotics e onsite robotics. Nella pratica, si constata un orientamento generalizzato per l'offsite robotics, ovvero la concentrazione dell'automazione nelle fasi di prefabbricazione e pre-assemblaggio. Di conseguenza, il settore delle costruzioni registra un livello di produttività inferiore rispetto a quello degli altri

Industrial Mass Customization: How the Automation and the Robotics have changed the production process and the construction site

The mass customization strategies have been classified by Lampel and Mintzberg (1996) within a continuous process that establish five focal points: pure standardization, segmented standardization, customized standardization, tailored customization and pure customization. Focusing on the pure customization, the implementation strategies are progressively more expensive but also more receptive for the demand side: these kind of strategies are going to be increasingly able to expand the range of options that, from the design phase, can be offered to the consumer.

In terms of the production process, Pine's assumption (1993) that the modularity is the key to achieve the

mass customization, has also recently been confirmed and developed by Butt (2012) who, also on the basis of Naim and Barlow researches (2003), identifies in the choice on the location of the product differentiation point, inside the production chain (decoupling point), the main challenge for mass customization.

The prevailing trend, at the present, seems to be the reposition of the decoupling point as close as possible to the end product (and, therefore, towards the client). Briefly, in the building sector there would be an extension of the prefabrication until the assembly process (which would begin only after receiving the specific work order): the standardization will be replaced from the customization only in the final phase of the production chain.

This is called the postponement strategy: one of the main applications of

settori economici, specialmente a causa di processi produttivi fortemente legati ad un'impostazione tradizionale, oltre che a causa di elevati costi fissi di natura organizzativa e regolamentare. Una ragguardevole eccezione è costituita dall'Asia, dove le principali imprese di costruzione hanno sviluppato strategie di investimento in controtendenza sia sul piano quantitativo (come il trasferimento di tecnologie e know how del settore automobilistico e cantieristico in ognuna delle fasi del processo produttivo), sia su quello qualitativo (come la significativa automazione nella fase di cantierizzazione).

L'innovazione tecnologica derivante dalle applicazioni di automazione e robotica, ha avvicinato il progetto di architettura sempre di più a scelte costruttive sempre meno relegate a opera di cantiere, ma studiate sin dalle prime fasi di progettazione. La prefabbricazione edilizia prevede tre categorie principali di sistemi di costruzione (Fig. 2): il Site-intensive kit of parts, il Factory-made 3d module e sistemi ibridi (Roger, 2007), in cui la fabbrica è ormai nel cantiere onsite-robotics⁴.

Construction 3d printing

La possibilità di definire il paradigma industriale per il settore dell'edilizia del mondo contemporaneo appare ancora incerta, da un lato a causa della rapidità con cui si susseguono le innovazioni tecnologiche, dall'altro per l'incredibile numero di tecniche trasferite da altri settori, che hanno sempre più a che fare con aspetti immateriali piuttosto che materiali. Alle tecnologie in grado di avviare linee innovative di sviluppo per la progettazione e la realizzazione architettonica appartengono l'internet delle cose, il cloud computing, i big data, la robotica avanzata e l'additive manufacturing/3d printing, o stampa 3d. Si tratta di alcune

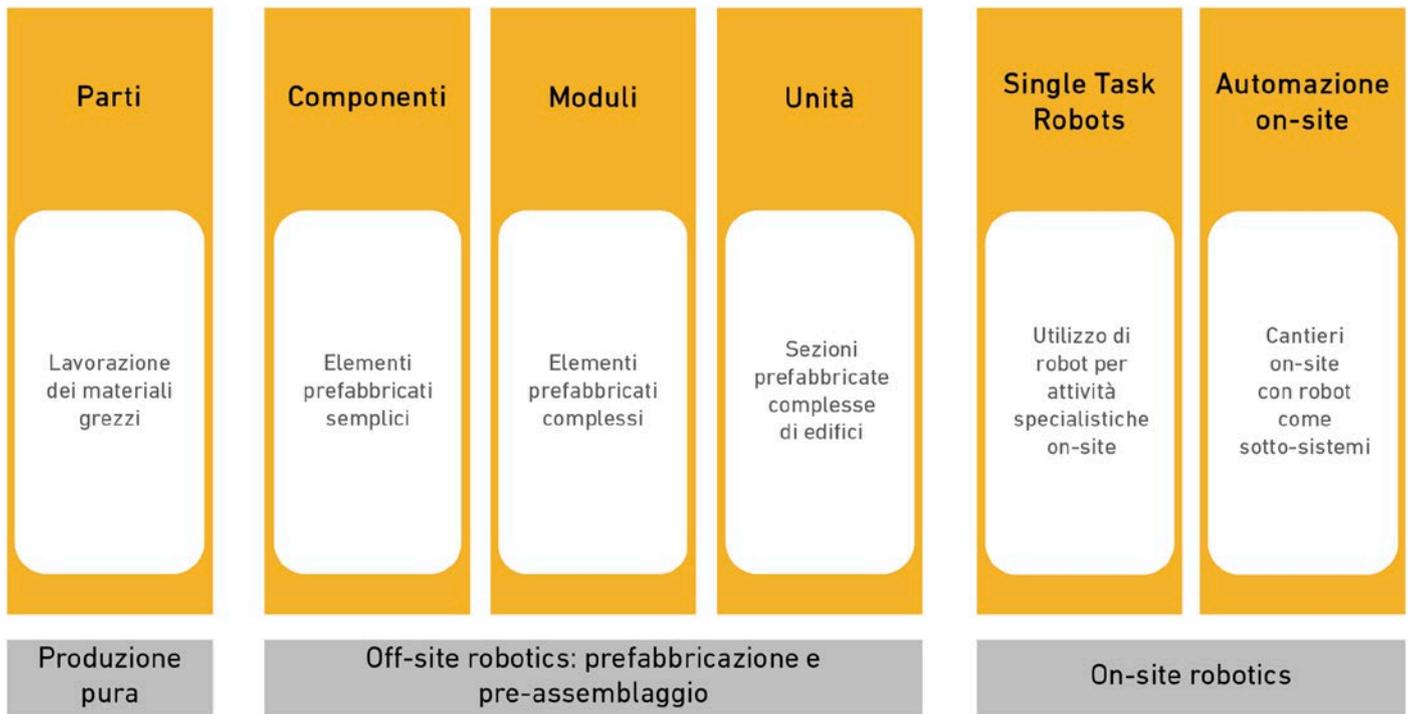
this strategy is, as mentioned above, the Open Building (Habracken, 1976; Kendall, 2004).

Regarding the Automation and the Robotics technology, on the basis of Bock and others (2011), it is possible select three methods for their use in the building sectors, characterized by a growing level of automation in the production process: pure production, offsite robotics and onsite robotics. Actually, there is a generalized orientation towards the offsite robotics, or rather the concentration of automation in the prefabrication and pre-assembly phases. Following this concentration, the construction sector report a lower productivity level compared to other economic sectors, especially due to production processes strongly connected to a traditional approach and due to high fixed costs of an organizational and regulatory nature.

A notable exception involves the Asiatic context, where the main construction companies have developed a countertrend investment strategy, both in quantitative (with the transfer of technologies and know-how of the automotive and shipbuilding sectors in each phase of the production process), and qualitative terms (with a growing level of automation in the construction phase).

The technological innovation, deriving from automation and robotics applications, has brought the architecture project towards construction choices deeply analyzed from the early design phases, reducing the choices related to the construction site works.

The prefabrication building provide three main categories of construction systems (Fig. 2): Site intensive kit of parts, Factory-made 3d module and hybrid systems (Roger, 2007), in which



02 | Dimensione dei processi di produzione per l'edilizia con integrazione di automazione e robotica
 Production process dimension for the building sector with the integration of automation and robotics

delle tecnologie in grado di avviare la quarta fase della rivoluzione industriale, ormai riconosciute come tecnologie abilitanti dall'Industria 4.0.

La produzione additiva nota come stampa 3d⁵, in particolare, impiegata inizialmente nel settore manifatturiero per la prototipazione industriale rapida, è stata oggetto negli ultimi venti anni di numerose sperimentazioni anche in ambito architettonico, che hanno progressivamente abbracciato vere e proprie fasi della produzione edilizia, fino a includere l'intera fabbricazione.

La diffusione della tecnologia della stampa 3d, pur rientrando nell'esperienza di un numero ancora limitato di operatori, sta conoscendo una notevole espansione trainata dal fenomeno dei

“Makers”, i cosiddetti “artigiani 2.0” o “artigiani digitali”, grazie ai quali si è avuta una forte attenzione mediatica su questi sistemi (Anderson, 2012), generata dal motto DIY (Do It Yourself) che identifica nuove modalità di approccio alla produzione industrializzata, basate sull'autosufficienza dell'individuo di fronte ad alcuni bisogni insoddisfatti dalla manifattura tradizionale. Attraverso le stampanti 3d, infatti, è possibile produrre oggetti tridimensionali senza limitazioni di forme con il massimo grado di personalizzazione, ottenendo, al contempo, un'ottimizzazione dei costi di produzione, connessa alla pressoché totale assenza di spreco di materiali.

Il 3d printing e la mass customization hanno in comune alcune

the factory is included in the construction site onsite-robotics¹.

Construction 3d printing

The possibility to define the industrial paradigm for the building sector, in the contemporary world, still seems uncertain: on the one hand because of the rapidity with which the technological innovations follow each other, on the other hand for the incredible number of techniques transferred from other sectors, related always more frequently with immaterial aspects rather than material aspects.

There are some technologies capable of launching innovative development lines for architectural design and creation. It is possible mentioned, among them, the Internet of things, cloud computing, big data, advanced robotics and additive manufacturing / 3d printing, or 3D printing.

This group of technology are enable to set up the fourth phase of the industrial revolution, inside the so-called Industry 4.0.

The additive manufacturing known as 3d printing⁵, in particular, used initially in the manufacturing sector for the industrial rapid prototyping, has been, in the last twenty years, the object of numerous experiments, also in the architectural field, which have gradually included several building production phases, involving, at the last, the whole making process.

The diffusion of 3d printing technology, even though it is part of the experience of a still limited number of operators, is going to meet a relevant expansion driven by the phenomenon of “Makers”, the so-called “2.0 artisans” or “digital artisans”: because of their work, there was a strong media exposure about those systems (Anderson, 2012), stimu-

lated by the DIY motto (Do It Yourself) which identifies new methods of approach to industrialized production, based on the self-sufficiency of the individual in front of certain needs unsatisfied by traditional manufacturing.

In fact, through 3d printers, it is possible to produce three-dimensional objects without limitations of shapes with the maximum level of customization, obtaining, at the same time, an optimization of production costs, connected to the almost total absence of material wasting.

3d printing and mass customization share some economic characteristics. In both cases, these are production processes that minimize business risk: the production, indeed, require a specific order (on demand), reducing the unsold quotas to the minimum.

The dividing aspect is about their organizational model. Mass customi-

zation assumes an organization of teamwork and a production process in which parts, materials and components arrive from different suppliers.

In order to increase the production and make it cost-effective, it is therefore necessary that the supply takes place at the right time and in the right quantities. On the contrary, 3d printing is an automated process that does not require a complex organizational structure and allows the use of different materials (Berman, 2012).

In the construction industry, the adoption of the rapid manufacturing system, based on the technology of 3d printing, at present, could be more complex compared to other sectors, due to the high costs of investment in innovation and development, the regulatory framework, and of the reduced number of printing machinery manufacturers.

caratteristiche economiche. In entrambi i casi si tratta di processi di produzione che minimizzano il rischio di impresa, dato che la produzione avviene su ordinazione (on demand), riducendo ai minimi termini le quote di invenduto. Ciò che le separa è il modello organizzativo. La mass customization presuppone un'organizzazione del lavoro in team e un processo produttivo in cui le parti componenti e i materiali provengono da diversi fornitori. Affinché la produzione possa essere remunerativa è necessario pertanto che l'approvvigionamento avvenga nei giusti tempi e nelle giuste quantità. La stampa 3d, al contrario, è per sua natura un processo automatizzato che non necessita di una struttura organizzativa complessa, e consente l'impiego di materiali diversi (Berman, 2012).

Nel settore dell'industria delle costruzioni l'adozione del sistema di rapid manufacturing basato sulla tecnologia della stampa 3d, allo stato attuale, appare più complessa rispetto ad altri settori, in ragione dei costi elevati di investimento in innovazione e sviluppo, dell'apparato normativo, e del ridotto numero di produttori di macchinari per la stampa. Ma si tratta di un percorso ormai tracciato, come testimonia la strategia di sviluppo nazionale del governo degli Emirati Arabi Uniti (3D Printing Strategy)⁶, di cui la costruzione costituisce uno dei tre ambiti fondamentali.

Le principali sperimentazioni negli ultimi venti anni della stampa 3d in architettura sono concentrate nel passaggio al digitale del processo di produzione edilizia di messa in opera degli edifici e alla componentistica edilizia, con particolare riferimento al risparmio di tempi e costi. Gardiner (2011) identifica i processi additivi di fabbricazione nel settore delle costruzioni (construction 3d printing) nelle seguenti tipologie: Construction Scale

It is, however, a path by now traced, as evidenced by the strategy of national development carried by the Government of the United Arab Emirates (3D Printing Strategy)⁶, whose realization is considered is considered one of the three fundamental areas.

The main experiments in the last twenty years of 3d printing in architecture are concentrated in the digital transition of the building production process for the implementation of buildings and the related components, with particular reference to the saving of time and costs. Gardiner (2011) identifies the additive manufacturing processes in the construction sector (construction 3d printing) through the following types: Construction Scale Rapid Manufacturing, Freeform Construction, and Construction Additive Fabrication.

The first generation of large-scale automated additives manufacturing sys-

tems recognize as main reference the layer manufacturing technique developed at the beginning of the nineties of the twentieth century by the Japanese Shimizu Corporation: they found a new method to explore alternative ways to build skyscrapers⁷.

This is followed by researches of Khoshnevis at the University of Southern California which have been essential for register the Contour Crafting system patent⁸ (Fig. 3), which is still today the reference model for the experimental systems of Construction 3d Printing⁹.

The second generation is represented by the techniques developed from 2010 to today. The most recent experiments about 3d printing processes are characterized, principally, for the use of concrete, as in the case of the models of the Chinese WinSun company, or the Italian project WASP (World's

Rapid Manufacturing, Freeform Construction, e Construction Additive Fabrication.

La prima generazione dei sistemi di fabbricazione additivi automatizzati su larga scala trovano il loro riferimento nella tecnica del layer manufacturing sviluppata all'inizio degli anni '90 del XX secolo dalla giapponese Shimizu Corporation per esplorare modalità alternative per la costruzione di grattacieli⁷. A questa seguono le ricerche di Khoshnevis presso l'University of Southern California, che hanno portato al brevetto del sistema Contour Crafting⁸ (Fig. 3), che costituisce ancora oggi il modello di riferimento per i sistemi sperimentali di Construction 3d Printing⁹.

La seconda generazione è rappresentata dalle tecniche sviluppate dal 2010 ad oggi. Le sperimentazioni più recenti riguardano processi di stampa 3D prevalentemente in calcestruzzo, come nel caso delle realizzazioni dell'azienda cinese WinSun, o il progetto italiano WASP (World's Advanced Saving Project) incentrato sullo sviluppo della stampa 3D open-source, in grado di stampare ceramica e porcellana.

Oltre al calcestruzzo e all'argilla, le ricerche si sono concentrate sui metalli e su altri materiali come i PLA (Poly-Lactic Acid). Alla prima categoria appartengono le sperimentazioni dell'olandese MX3D Metal per lo sviluppo di un sistema multiasse robotizzato di saldatura additiva dell'acciaio, per la fabbricazione e l'installazione di un ponte metallico ad Amsterdam. Sperimentazioni a carattere dimostrativo ed educativo sono anche la 3D Printed Urban Cabin, un modulo sperimentale abitabile, e la 3D Print Canal House ad Amsterdam (2013, in corso) (Fig. 4); entrambe progettate da DUS Architects e realizzate con l'impiego di materiali biodegradabili della categoria PLA.

Advanced Saving Project) focused on the development of open-source 3d printing, able to print ceramics and porcelain

In addition to concrete and clay, the research has focused on metals and other materials such as PLA (Poly-Lactic Acid). The first category includes the experiments of the Dutch MX3D Metal for the development of a multi-axis robotic system through a steel additive welding for the fabrication and installation of a metal bridge in Amsterdam. Demonstrative and educational experiments include also the 3D Printed Urban Cabin, a habitable experimental module, and the 3D Print Canal House in Amsterdam (2013, in progress) (Fig. 4); both designed by DUS Architects and create with the use of biodegradable materials of the PLA category.

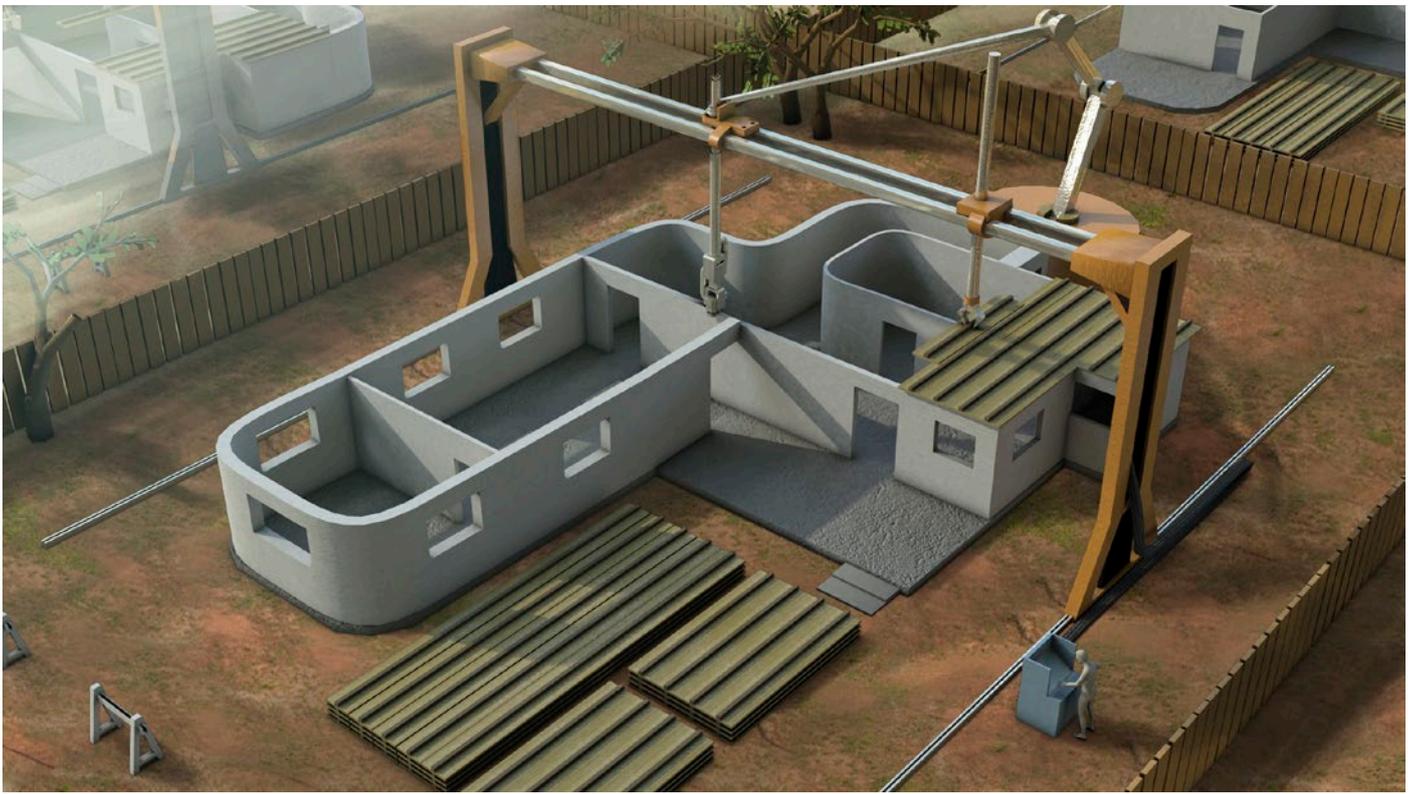
Conclusions: to the architecture on demand

The path traced in this paper describes a complex photography, in which Architecture struggles to keep up with technological innovations, because it needs for a certain settling time, often in contrast with the rapidity of social, economic and technological changes that characterize the today's society.

Avoiding the risk to follow temporary trends or false technological myths, the architecture has the duty to be dynamic, variable, open to multiple interpretations with the goal to reactivate a systemic dialogue between material and design aspects.

This dialogue can be useful to illustrate new scenarios complied with the architecture and the construction industry, which mainly involves the rethinking of the skills of the designer, to whom is required an increasingly

03 |



03 | Sistema Contour Crafting, <http://contourcrafting.com>
Contour Crafting System, <http://contourcrafting.com>

04 |



04 | 3D Print Canal House, DUS Architects, <http://3dprintcanalhouse.com>
3D Print Canal House, DUS Architects, <http://3dprintcanalhouse.com>

Conclusioni: verso l'architettura on demand

Il percorso tracciato fotografa un quadro complesso, nel quale l'Architettura fatica a stare al passo con le innovazioni tecnologiche, in ragione della necessità di un certo tempo di sedimentazione, spesso in contrasto con la rapidità dei mutamenti sociali, economici e tecnologici che caratterizzano la società odierna.

Per non correre il rischio di seguire mode momentanee o falsi miti tecnologici, all'architettura è richiesto di essere dinamica, mutevole e aperta a molteplici interpretazioni, affinché si riattivi un dialogo sistemico tra aspetti materiali e progetto.

Un dialogo che può aprire a nuovi scenari per l'architettura e l'industria delle costruzioni, che interessano principalmente il ripensamento delle competenze del progettista, al quale è richiesto un approccio sempre più complesso e aperto per governare i processi che dall'ideazione portano alla realizzazione del progetto, che vede il superamento dei confini disciplinari e comprende una profonda conoscenza da un lato degli strumenti informatici, dall'altro delle tecnologie e delle modalità di produzione industrializzata per l'edilizia.

Il progettista vede dunque amplificare il proprio ruolo di coordinamento dei diversi saperi coinvolti nel processo edilizio, e confermata la necessità di una formazione continuativa, non più generica, ma consapevole delle molteplici istanze sociali, ecologiche e tecnologiche, al fine di rispondere con tempi e costi certi ai repentini mutamenti dello sviluppo tecnologico e delle esigenze della committenza, sempre più coinvolta nel processo decisionale.

Gli strumenti digitali come il BIM, costituiscono il mezzo per controllare le diverse fasi progettuali e realizzative. Oltre che a

complex and open approach to organize each phase of the processes, from the early conception to the ultimate realization of the project, overcoming the disciplinary boundaries and including a deep knowledge, on one side of the informatics tools, on the other side of the technologies and methods of industrialized production for the building industry.

The architect has the possibility to extend his role of coordination between the different knowledge involved in the building process: it is confirmed the need to propose a continuous training, no longer generic but aware of the several social, ecological and technological request, in order to respond properly, with certain time and costs, to the sudden changes in technological development and the needs of the client, increasingly involved in the decision-making process.

Digital tools such as BIM constitute the means to control the different design and construction phases. In addition to allowing the parametric design of increasingly complex shapes, they allow to evaluate, technically, the various design solutions.

The high control of the informatics tools allows the designer not to have a condition of subalternity or to be surprised by the technological changes taking place in the productive sector and, at the same time, to be able to compete in the globalized world.

The 3d printing technology is a frontier in the construction industry with considerable potentiality in terms of efficiency, economic and environmental sustainability of processes, especially in the reduction of construction waste, and about the guarantee of higher safety in the workplace. However, the implementation of such systems

consentire la progettazione parametrica di forme sempre più complesse, essi consentono infatti di valutare tecnicamente le diverse soluzioni progettuali.

La padronanza degli strumenti informatici permette al progettista di non avere una condizione di subalternità nei confronti dei mutamenti tecnologici in atto nel settore produttivo e, allo stesso tempo, di poter competere nel mondo globalizzato.

La tecnologia della Stampa 3d costituisce una frontiera dell'industria delle costruzioni dalle notevoli potenzialità in termini di efficienza e sostenibilità economica e ambientale dei processi, specie nella riduzione dei rifiuti da costruzione e nella garanzia di maggiore sicurezza sui luoghi di lavoro. Tuttavia, l'implementazione di tali sistemi nel campo architettonico presenta ancora alcuni limiti di natura tecnologica, come la stringente relazione di proporzionalità tra la dimensione dei macchinari e gli oggetti da produrre. Questo ha finora ristretto il campo di applicazione alla produzione sperimentale di componenti edilizi offsite, rimandando a futuri sviluppi la possibilità reale di costruire un intero edificio in 3d in situ.

L'armonizzazione dell'industrial mass customization e del construction 3d printing con l'approccio open-source apre alla definizione di un nuovo paradigma interpretativo dell'innovazione tecnologica in atto nel rapporto tra progetto e tecnologia: l'architettura on demand, caratterizzata dall'accesso libero e condiviso a piattaforme cognitive, in cui sarà possibile raggiungere il più alto livello di personalizzazione delle realizzazioni.

in the architectural field still presents some technological limits, such as the stringent relationship of proportionality between the size of the machinery and the objects to produce.

This has so far restricted the field of application to the experimental production of offsite building components, referring to future developments the real possibility of fabricate an entire building in 3d in situ. The harmonization of industrial mass customization and construction 3d printing with the open-source approach offers the definition of a new interpretative paradigm of the technological innovation underway in the relationship between design and technology: the architecture on demand, characterized by free and shared access to cognitive platforms, in which it will be possible to achieve the highest level of personalization of realizations.

NOTES

¹ The paper derive from the results of the research, conducted by Michele Conteduca and supervised by Eliana Cangelli, collected in the Ph.D thesis: Industrial Mass Customization. Innovative scenarios for the construction of the architectural project (2016), Environmental Design Doctor of Philosophy (PhD), XXVII Cycle, Sapienza Università di Roma, Department of Planning, Design, and Technology of Architecture (PDTA).

² The most famous applications of Open Building are the Molenvliet complex (Rotterdam, Netherlands, 1969), and NEXT21 residence building of Yositika Utida and Shu-Koh-Sha Architecture (Osaka, Japan, 1994).

³ The ideas of lean production are based on three principles: just in time, according to which each component must reach the line at the precise mo-

NOTE

¹ Il paper trae le sue mosse dagli esiti della ricerca portata avanti da Michele Conteduca, e supervisionata da Eliana Cangelli, confluita nella tesi di dottorato Industrial Mass Customization. Scenari innovativi per la costruzione del progetto di architettura (2016), Dottorato di Ricerca in Progettazione Ambientale, XXVII ciclo, Sapienza Università di Roma, Dipartimento PDTA - Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura.

² Le applicazioni più note dell'open building sono il complesso Molenvliet (Rotterdam, Paesi Bassi, 1969), e l'edificio NEXT21 di Yositika Utida e Shu-Koh-Sha Architecture (Osaka, Giappone, 1994).

³ La lean production si basa su tre principi: il just in time, in base al quale ciascun componente deve arrivare alla linea nel preciso momento in cui ce n'è bisogno e nella quantità necessaria; l'autoattivazione dell'operaio in situazioni di anomalia della linea; il lavoro per squadre.

⁴ Un esempio di onsite robotics è rappresentato dal sistema costruttivo del "Big Canopy", della giapponese Obayashi.

⁵ Le principali tecniche di additive manufacturing sono la Stereolitografia, il Fused Deposition Modeling, il Selective Laser Sintering, il Laminated Object Manufacturing e la 3D Print.

⁶ La 3D Printing Strategy (2016) mira a rendere Dubai la città leader nel settore: entro il 2030 il 25% di tutti gli edifici di nuova costruzione dovrebbero essere realizzati mediante la stampa 3d.

⁷ Il sistema SMART della Shimizu si basa su una fabbrica automatizzata mobile, formata da robot, che sale gradualmente nel processo una volta completato un livello dell'edificio.

⁸ Il sistema consente di ottenere la grande stampa 3d di componenti edili e interi edifici attraverso miscele a base cementizia e ceramica, integrando in un unico, continuo processo automatizzato la costruzione di rinforzi strutturali e la predisposizione per gli impianti idraulico ed elettrico.

⁹ Tecniche che si basano sul Contour Crafting sono il Self-contained automated construction deposition system (2004); il sistema Freeform Con-

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

struction (2007), e l'italiano D-Shape (2008) per la realizzazione di prototipi a forme libere e complesse con un impasto biocompatibile di sabbia e fibre simile alle rocce sedimentarie.

REFERENCES

Anderson, C. (2012), *Makers: The new industrial revolution*, Crown Business, New York, USA.

Berman, B. (2012), "3-D printing: The new industrial revolution", *Business Horizons*, Vol. 55, n. 2, Kelley School of Business, Indiana University, Bloomington, IN, USA, pp. 155-162.

Bock, T. and Linner, T. (2011), *Advanced Construction and Building Technology*, Master Course held at Technische Universität München on A.Y. 2011-2012, Munich, DE.

Braidotti, R. (2010), *Il Postumano: La vita oltre il sé, oltre la specie, oltre la morte*, DeriveApprodi, Rome.

Butt, N.T. (2012), "Mass Customization in Home Industry", in *Proceedings of the CIB - IAARC W119 CIC 2012, Workshop: Advanced Construction and Building Technology for Society, Laboratory of Building Realization and Robotics*, Technische Universität, München, Munich, DE, pp. 27-32.

Camera dei Deputati, X Commissione Permanente (2016), *Indagine conoscitiva su "Industria 4.0"*.

Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Turin.

Gardiner, J.B. (2011), *Exploring the Emerging Design Territory of Construction 3D Printing*, Ph.D Thesis, RMIT, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, A.

Habraken, N.J. (1976), *Variations, the Systematic Design of Supports*, MIT Laboratory for Architecture and Planning, MIT press, Cambridge, MA, USA.

Kendall, S.H., (2004), "Open Building Strategy for Balancing Production Efficiency and Consumer Choice in Housing", *NSF/PATH Housing Research Agenda Workshop Proceedings and Recommendations*, Vol I and II, Michigan State University, East Lansing, MI, USA, pp. 60-71.

Lampel, J. and Mintzberg, H. (1996), *Customizing Customization*, MIT Sloan: Management Review, Cambridge, MA, USA.

Levy, P. (1994), *L'intelligenza collettiva: Per un'antropologia del cyberspazio*, Feltrinelli, Milano, IT.

Naim, M., Barlow, J. (2003), "An innovative supply chain strategy for customized housing", *Construction Management and Economics*, Vol. 21, pp. 593-602.

Paoletti, I. (2006), *Costruire Le Forme Complesse. Innovazione, industrializzazione e trasferimento per il progetto di architettura*, Libreria CLUP, Milan.

Pine, B.J. (1993), *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business Press, Cambridge, MA, USA.

Roger, B.R. (2007), "A Generic Classification of Industrialised Building Systems", in Kazi, A.S., Hannus, M., Boudjabeur, S., Malone A. (Ed.), *Open Building Manufacturing. Core Concepts and Industrial Requirements*, Manu-build in collaborazione con VTT - Technical Research Centre of Finland, pp. 35-48.

Toninelli, P.A. (2006), *Storia d'impresa*, Il Mulino, Bologna.

ment in which it is needed and in the necessary quantity; worker's self-activation for situations of line anomaly; work teams.

⁴ Onsite robotics examples can be found in Big Canopy, the construction system developed by the Obayashi Corporation (Japan).

⁵ The main additive manufacturing are: Stereolithography, Fused Deposition Modeling, Selective Laser Sintering, Laminated Object Manufacturing and 3D Print.

⁶ The 3D Printing Strategy (2016) will make Dubai the leader city in the sector. 25% of new Dubai's buildings should be 3D printed by 2030.

⁷ The SMART system of Shimizu is based on a movable robotic factory who automatically raise in the process each time a new building level was completed.

⁸ The system allow to obtain the large

3d printing of building components and of entire buildings through concrete-based and ceramic mixtures, integrating in a unique and continuous automated process the construction of structural reinforcements and the configuration for the hydraulic and electrical systems.

⁹ Techniques based on Contour Crafting are: Self-contained automated construction deposition system (2004), Freeform Construction system (2007), D-Shape (2008), Italian method, used for the construction of prototypes with free and complex shapes through a biocompatible blend of sand and fibers similar to sedimentary rocks.

Fabio Conato, Valentina Frighi,

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia

fabio.conato@unife.it

valentina.frighi@unife.it

Abstract. Le nuove tecnologie messe in campo dalla quarta rivoluzione industriale hanno costretto professionisti ed operatori di settore a rivedere paradigmi formali ormai consolidati. Quest'attitudine ha determinato la nascita di architetture complesse, nelle quali materiali e componenti eterogenei si interfacciano per fornire risposta ad una serie di istanze differenti, tra loro compenstrate, rendendo gli edifici organismi capaci di instaurare relazioni mutevoli con gli utenti e con l'ambiente circostante. Il presente contributo si propone pertanto di comprendere, attraverso l'analisi di alcune architetture contemporanee, come l'uso di tali tecnologie abbia innovato le pratiche del progetto, modificando il linguaggio architettonico e arricchendolo mediante l'introduzione di elementi innovativi.

Parole chiave: Involucro edilizio; *Smart materials*; Componenti adattivi; Innovazioni tecnologiche; *Smart buildings*.

Introduzione

Lo sviluppo di materiali dotati di prestazioni inedite costituisce

da sempre una sfida per l'industria delle costruzioni e, di riflesso, per coloro che ricorrono a tali strumenti nella professione.

I cambiamenti registratesi nell'ultimo decennio, determinati dall'avanzamento del progresso tecnologico, in aggiunta alle innovazioni di processo che hanno introdotto tecniche di lavorazione e prototipazione sempre più evolute, hanno prodotto un avanzamento significativo in tale direzione, rendendo disponibile una gamma di soluzioni tecnologiche trasversali capace di stravolgere i paradigmi progettuali ormai consolidati alla base del processo edilizio.

Al giorno d'oggi dunque, l'architetto, ed il tecnologo in particolare, non può più esimersi dal confrontarsi con le possibilità messe in campo dalla quarta rivoluzione industriale, seppur non tra ostacoli e difficoltà tecniche frutto anche di un quadro normativo in continua evoluzione.

L'ambito in cui le suddette tecnologie trovano terreno più fertile è senz'altro quello dell'involucro edilizio, filtro tra fattori

The role of the innovation in the definition of new formal paradigms in Architecture

Abstract. New technologies spread by the fourth industrial revolution led professionals and workers in building sector to reconsider formal paradigms by now well-established. This attitude determined the birth of complex architectures in which heterogeneous materials and components interact each other to provide an answer to different, interconnected issues, making buildings capable of establish changing relationships with users and the surrounding environment as well. Therefore, the present contribution aims to understand, through the analysis of some contemporary architectures, how the use of such technologies has innovated design practices, modifying the architectural language and enhancing it through the introduction of innovative elements.

Keywords: Building envelope; Smart materials; Adaptive components; Technological innovations; Smart buildings.

ambientali ed esigenze degli utenti cui è affidato il compito di regolare le interazioni tra interno ed esterno (Altomonte, 2006), ovvero rispondere ad una moltitudine di istanze complesse, talvolta contrapposte, con lo scopo di garantire la resa prestazionale del sistema.

La trasformazione nel tempo dei bisogni antropici, così come la variabilità delle condizioni al contorno, determinata da un ambiente costruito in mutamento a causa anche del frequente susseguirsi di fenomeni a carattere emergenziale, ha portato le prestazioni di base garantite dall'involucro ad evolversi in funzione di esigenze sempre più articolate, conducendo verso una progressiva perdita delle capacità adattive e di recupero degli edifici in relazione a tale mutevolezza (Tucci, 2014).

In prima istanza, si è tentato di fornire risposta a tali esigenze riscoprendo la cosiddetta "architettura vernacolare", efficace in un determinato luogo ed in un contesto storico ben preciso (Fig. 1); a ciò ha poi fatto seguito una decade caratterizzata dalla ricerca della massima efficienza energetica e sostenibilità del patrimonio edilizio, sospinta anche dalla crisi energetica del secolo scorso.

Tale tensione verso edifici a consumo quasi zero, si è oggi tradotta nella ricerca di edifici intelligenti, capaci di adattarsi non soltanto alle condizioni al contorno ma anche e soprattutto alle esigenze in continua evoluzione dei loro fruitori.

In questa transizione da un edificio "tradizionale" ad uno *Smart Building*, materiali e componenti innovativi, equipaggiati con caratteristiche adattive e responsive capaci di soddisfare istanze sempre diverse, non giocano soltanto un ruolo chiave nella realizzazione dei suddetti organismi bensì si pongono come elementi in grado di dare vita ad un nuovo linguaggio architettonico, grazie anche alla diffusione di software di modellazione

Introduction

The development of materials with uncommon performance has always been a challenge for construction industry and, consequently, for those who use these tools in profession.

Changes registered in the last decade and determined by the advancement of the technological progress, in addition to process' innovations that introduced ever more advanced processing and prototyping techniques, produced a significant step-forward in such direction, making available a wide range of cross-cutting technological solutions able to produce an overturn of design paradigms on which building process was based on.

Therefore, nowadays, the architect, and the technologist in particular, must necessarily confront oneself with the possibilities introduced by the fourth industrial revolution, although with

some barriers and technical difficulties determined, among other things, by a constantly-changing regulatory framework.

The area in which the aforementioned technologies find most fertile ground is certainly building envelope' domain, as filter between environmental factors and end-users' needs, entrusted with the task of regulating the interactions among inside and outside (Altomonte, 2006), thus responding to a multitude of complex requests, sometimes juxtaposed, with the aim of ensure the whole system's performance.

The transformation of human needs over time, as well as the variability of boundary conditions, intensified by a changeable building environment, even due to the frequent succession of catastrophic phenomena, led basic performance guaranteed by the envelope to evolve according to the increas-



digitale sempre più evoluti (CAD/CAM e BIM) che aprono la strada ad un universo di forme complesse, precedentemente impensabili.

Smart Materials e tecnologie per l'involucro edilizio adattivo

La composizione materica di componenti e sistemi edilizi si è dunque vista costretta a cedere il passo alle sue potenzialità prestazionali; se, un tempo, i materiali da costruzione venivano selezionati prevalentemente in base alle loro caratteristiche formali ed estetiche – accettandone limiti e criticità prestazionali – a partire dal XXI secolo, il rapporto fra scienza dei materiali, ingegneria e architettura è divenuto interdipendente, trovando la sua espressione più tangibile nella messa a punto di materiali innovativi dotati di prestazioni non comuni, i cosiddetti *Smart Materials*.

Tale concetto appare però fluido e dai contorni non del tutto definiti in quanto una precisa esplicitazione del suo significato risulta ancora difficoltosa (Addington e Schodek, 2005).

Il termine infatti, seppur comunemente utilizzato in diversi set-

ingly complex needs, producing to a progressive loss of adaptive and recovery capacities of buildings in relation to this changes (Tucci, 2014).

As a start, it was rediscovered the so-called “vernacular architecture” as attempt to provide an answer to the abovementioned needs, because of its effectiveness in a specific place and in a well-defined historical context (Fig. 1); this was followed by a decade characterized by the seek for the best energy efficiency and sustainability of the building stock, pushed by the energetic crisis of the last century.

This tension towards nearly-zero-energy buildings has now been translated into the search for intelligent buildings, able to adapt themselves to the surrounding and to the ever-changing needs of their users as well.

In this transition from a “traditional” to a “smart” building, innovative ma-

terials and components, equipped with adaptive and responsive features so able to respond to different needs, play a key role in the creation of the aforementioned organisms, as well as they stand as elements capable to give life to a new architectural language, even thanks to the diffusion of increasingly advanced digital modeling software (such as CAD/CAM and BIM) that paved the way for a universe of complex shapes, previously unthinkable.

Smart Materials and technologies for adaptive building envelope

Therefore, the material composition of building components and systems has been forced to give the way to its performance potentials; if, once, building materials were selected mainly on the basis of their formal and aesthetic features – accepting their performance limits and criticalities – starting from

tori, non presenta una definizione condivisa; il suo impiego comune tende perlopiù ad indentificare i suddetti materiali come altamente ingegnerizzati, capaci di rispondere in maniera intelligente al contesto nel quale si trovano a seguito di influenze esterne o stimoli di vario genere, modificando una o più delle loro proprietà in funzione di variazioni di temperatura, luminosità, differenze di potenziale o campi elettromagnetici (Drossel et al., 2015).

Parlando di *Smart Materials* dunque, si tende a riferirsi a materiali a risposta dinamica, tendenzialmente contrapposti a materiali di tipo “tradizionale”, dotati di prestazioni prevalentemente statiche (Conato and Frighi, 2018).

Tra le recenti innovazioni, le più promettenti nell’ambito delle tecnologie per l’architettura si sono registrate nel settore dei materiali ceramici, mediante sperimentazioni rivolte a migliorarne le caratteristiche di resistenza o ad introdurre proprietà inedite. All’interno di tale categoria, una trattazione separata meriterebbero i sistemi vetrati, per via delle numerose istanze ancora irrisolte legate alla loro applicazione negli organismi edilizi. Le perdite per trasmissione attraverso i componenti trasparenti infatti, risultano ancora oggi responsabili di una quota significativa dei consumi attribuibili al settore edilizio (Jelle et al., 2012).

Seppur diverse misure di risparmio energetico siano state recentemente messe in atto, la possibilità di mettere a punto componenti trasparenti dotati di capacità selettiva suscita ancora grande interesse in ambito comunitario, poiché le tecnologie attualmente in commercio risultano scarsamente applicabili o impiegate soltanto in edifici a particolare destinazione d’uso o di dimensioni o valenza tali da giustificare l’adozione e dunque il costo dei suddetti sistemi.

the 21st century, the relationship between materials’ science, engineering and architecture has become interdependent, finding its more tangible expression in the development of innovative materials with uncommon performance, the so-called Smart Materials.

However, this concept appears still fluid and not completely defined because a precise definition of its meaning still sounds difficult (Addington and Schodek, 2005).

The term indeed, although commonly used in different sectors, does not have a shared definition; its common use mainly tends to identify the aforementioned materials as highly engineered, capable of responding in an intelligent way to their application context as a result of external influences or various stimuli, modifying one or more of their properties according to tem-

perature, lighting, electric variations or electromagnetic fields (Drossel et al., 2015).

Thus, referring to Smart Materials means speaking about materials with a dynamic response, by their own nature juxtaposed to “traditional” materials, generally equipped with mainly static performances (Conato and Frighi, 2018).

Among recent innovations, the most promising in the domain of technologies for architecture have been registered in the field of ceramic materials, by means of experiments aimed at improving their resistance features or at introducing in them new unconventional properties.

Within this category, glazed systems would deserve a separate dissertation due to many shortcomings related to their applications in building systems. Transmission losses through trans-

Tra i prodotti *smart* diffusi nella prassi corrente troviamo anche materiali capaci di fronteggiare i fattori atmosferici e ambientali grazie alla modificazione delle loro proprietà alla scala nanometrica o alla funzionalizzazione superficiale mediante l'uso di nanotecnologie, capaci, a partire da tecnologie di base, di implementarne le prestazioni, aprendo così la strada a nuovi processi di innovazione nell'ambito della materia.

Tuttavia, va detto che nel concetto di "*smart*" possono rientrare sia materiali e tecnologie innovative sia componenti realizzati con materiali tradizionali ma in grado di fornire un comportamento intelligente in risposta ad una pluralità di esigenze; anche sistemi progettati e realizzati per acquisire nuove funzionalità grazie all'integrazione di singoli materiali o componenti eterogenei possono dunque essere considerati *smart* (Conato e Frighi, 2018).

A valle del concetto sopra descritto, appare pertanto possibile considerare *Smart Materials* non soltanto quei materiali dotati di prestazioni variabili, controllabili e selezionabili ma anche materiali di uso comune, semplicemente "innovati" nelle prestazioni o impiegati in maniera inconsueta rispetto alla comune prassi costruttiva.

Tale concetto – nello specifico ambito riferito alle tecnologie per l'Architettura – risulta estensibile, secondo la medesima logica, anche ad organismi edilizi nel loro complesso, rendendo così *Smart Buildings* anche organismi nei quali materiali e prodotti eterogenei, all'apparenza tradizionali, si relazionano fra loro in maniera "*smart*", variando le loro modalità di funzionamento in ragione di stimoli esterni o fornendo una risposta prestazionale dinamica e personalizzata, non necessariamente adattiva, ma capace di dare soddisfare istanze diverse compenstrate tra loro.

parent building components indeed, are still responsible for a significant amount of building energy consumption (Jelle et al., 2012).

Although several energy saving measures have been recently implemented, the chance of developing glazed components equipped with selective capacity is still of a great interest within EU, even because on-the-market-available technologies are not widely applicable or they are employed only in buildings of a particular use, size or value such as to justify the adoption and then the cost of the aforementioned systems.

Among smart products commonly spread in building practice, we could find even materials able to cope with atmospheric and environmental factors, thanks to the modification of their properties at the nanometre scale, or by means of their surface functionalization through the use of nanotechnolo-

gies, able, starting from basic technologies, to implement their performance, thus paving the way for new innovation processes in the field of matter.

However, it has to be said that in the concept of "*smart*" can be included both innovative materials and technologies as well as components made of traditional materials but able to provide an intelligent behavior in response to different needs; so, even systems designed and built to acquire new functionalities, thanks to the integration of single materials or heterogeneous components, can consequently be considered smart (Conato and Frighi, 2018).

Hence, following the abovementioned concept, it appears possible to consider as Smart Materials not only materials with variable, controllable and selectable performance, but also common materials, merely "innovated" in their performance or used in an original

Riferirsi al concetto di "*smartness*" attribuendolo unicamente ai materiali appare dunque assai riduttivo, in quanto suscettibile di applicazione a tutte le scale che caratterizzano il processo edilizio, in un'accezione più ampia del termine e secondo molteplici chiavi di lettura.

Nuovi paradigmi per l'architettura contemporanea: esperienze internazionali nell'ambito dell'involucro edilizio adattivo

L'attitudine a generare architetture dotate di capacità responsive per fronteggiare le moderne esigenze di cambiamento sta producendo una rivoluzione nei paradigmi formali oramai consolidati, determinando la nascita di sistemi complessi nei quali la componente tecnologica contribuisce significativamente alla definizione di un nuovo linguaggio architettonico, plasmatosi sulle nuove tecnologie impiegate.

Le istanze prestazionali e funzional-tecnologiche acquisiscono così nuova valenza estetico-formale, divenendo generatrici di un processo progettuale rivolto alla produzione di organismi capaci di travalicare culture e tradizioni architettoniche differenti, mescolandole in una nuova concezione architettonica fatta di materiali inediti e apparentemente capaci di rispondere in maniera appropriata agli attuali bisogni.

Nell'ambito del patrimonio architettonico contemporaneo, vastissimo per estensione e collocazione geografica oltre che di difficile catalogazione, a causa della soggettività dei criteri impiegabili, sono dunque stati identificati circa 50 "casi studio", ritenuti emblematici in quanto dotati di caratteristiche tecnologiche ed architettoniche capaci di renderli altamente performanti, consentendone l'interazione con il contesto nel quale sono inseriti.

way if compared with common construction practice.

So, this concept – in the specific field of technologies for architecture – seems extensible, following the same logic, even to building systems in their whole, thus making Smart Buildings all the organisms in which heterogeneous materials and products, apparently traditional, relate each other in a "*smart*" manner, varying their modes of operation according to external stimuli or providing a dynamic and tailored performance response, not necessarily adaptive, but able to satisfy different issues.

Thus, referring to the concept of "*smartness*", assigning it solely to materials, sounds very reductive, as it can be applied to all the scales that mark out building process, in a broader sense of this term and according to multiple interpretations.

New paradigms for contemporary architecture: international experiences in the context of adaptive building envelope

The aptitude to generate responsive architectures to face contemporary changing demands is triggering a revolution in formal paradigms by now consolidated, giving birth to complex systems in which the technological component plays a significant role in the definition of a new architectural language, shaped on the new technologies employed.

So, performance, functional and technological issues acquire a new aesthetic-formal value, becoming creators of a design process aimed at producing systems able to go beyond different architectural cultures and traditions, thus apparently able to properly respond to current needs.

Within contemporary architectures,

A valle di tale analisi, è stato preso in considerazione un campione ridotto di essi con lo scopo di fornire una lettura critica dell'uso che in tali edifici viene fatto di materiali e componenti *smart*, senza volontà di sintesi bensì cercando di comprendere come gli esiti di tale processo progettuale abbiano innovato le pratiche del progetto, modificandone il linguaggio architettonico e arricchendolo mediante l'introduzione di elementi innovativi.

Aedas (2012), Al-Bahar Towers, Abu Dhabi (UAE) (Fig. 2)

Premiate con il Tall Building Innovation Award, le torri, sede del quartier generale dell'Abu Dhabi Investment Council, fanno dello speciale sistema di involucro il loro tratto distintivo. Completamente vetrate, la loro capacità di adattamento in un contesto estremo come quello del deserto degli Emirati è garantita dallo speciale sistema di schermatura, interamente automatizzato, in grado di attivarsi al variare delle condizioni esterne, controllando in maniera selettiva la radiazione solare senza compromettere la visuale verso l'esterno.

Tale sistema, realizzato mediante elementi esagonali in PTFE che riprendono la forma a "rosetta" tipica della *mashrabiya* araba¹, reagisce in funzione della temperatura esterna, contraendosi all'abbassarsi di quest'ultima. Il suo dimensionamento e, in particolare, la definizione della geometria dei singoli inserti, è stato possibile grazie ad un descrittore parametrico che ne ha simulato il comportamento durante un ciclo solare quotidiano.

In tale edificio, la presenza di un elemento radicato nella prassi costruttiva corrente come uno schermo solare, reinterpretato secondo le tradizioni locali, ha permesso di ottenere una riduzione del surriscaldamento attraverso le facciate fino al 50%, grazie ad un funzionamento di tipo dinamico.

huge for extension and geographical location as well as difficult to be classified, due to the subjectivity of criteria suitable to be employed, it has been identified around 50 "case-studies", considered significant by virtue of their technological and architectural features that make them well-performing, allowing their interactions with their application context.

Downstream to this analysis, a reduced sample of them was taken in consideration, with the aim of providing a critical reading of smart materials and components' use in such buildings, not with synthesis purposes but rather as attempt to understand how the results of such design process have innovated project's practices, changing the architectural language and enhancing it through the introduction of new innovative elements.

Aedas (2012), Al-Bahar Towers, Abu Dhabi (UAE) (Fig. 2)

Honored with the Tall Building Innovation Award, the towers, headquarters of the Abu Dhabi Investment Council, make of their special building envelope system their distinguishing feature. Totally glazed, their ability to adapt in an extreme climatic context such as the Emirates' desert is guaranteed by the peculiar shading systems, fully automated and able to be activated when the external conditions change, controlling in a selective way the solar radiation without compromising the outside view.

This system, made by hexagonal PTFE elements inspired by the typical shape of the Arab *mashrabiya*¹, reacts according to the external temperature, contracting itself when it goes down. Its dimensioning, and in particular, the definition of the geometry of the



Splitterwerk Architects and Arup (2013), Smart Material House BIQ, Hamburg (DDD) (Fig. 3)

Progetto pilota dotato di una facciata bio-reattiva, la Smart Material House BIQ – presentata all' International Building Exhibition di Amburgo nel 2013 – è il primo edificio al mondo totalmente passivo alimentato da alghe. Il sistema, installato sui lati sud-est e sud-ovest del fabbricato, è composto da 129 moduli costituiti da due vetrocamere, con argon in intercapedine, montate su telaio metallico e separate tra loro da una cavità di circa 24 lt, atta ad ospitare il terreno di coltura necessario per la proliferazione delle micro-alghe. Stimolata dalla radiazione solare incidente e grazie all'aggiunta di CO₂ come sostanza nutritiva, la crescita di queste ultime consente la produzione di calore (impiegato per il riscaldamento dei vani, la produzione di ACS o conservato per usi successivi) e di biomassa (circa 30 kWh/m² anno), raccolta mediante un separatore e posta in un contenitore a temperatura controllata per poi venire impiegata successivamente per la produzione di biogas.

Il funzionamento dell'intero sistema è garantito da un dispositivo centralizzato di gestione.

Il punto di forza di tale progetto sta nell'impiego di un materia-

single inserts, was realized thanks to a parametric descriptor that simulated its behavior during a daily solar cycle. In this building, the presence of a well-established construction elements such as a shading system, reinterpreted according to local traditions, has allowed to achieve a reduction of overheating through the façades up to 50%, thanks to a dynamic way of operation.

Splitterwerk Architects and Arup (2013), Smart Material House BIQ, Hamburg (DDD) (Fig. 3)

Pilot project with a bio-reactive façade, the Smart Material House BIQ – presented at the International Building Exhibition in Hamburg in 2013 – is the first totally passive building in the world powered by algae. The system, installed on the south-east and south-west building façades, is made up of 129 modules consisting of a double-

glazed window (with argon in the air-gap), mounted on a metal frame and separated by a cavity of about 24 lt, suitable for the culture medium needed for the proliferation of micro-algae. The algae's growth, stimulated by the incident solar radiation and by the addition of CO₂ as nutrient, allows the production of heat (used for heating the rooms and for the production of domestic hot water or stored for further uses) and biomass (about 30 kWh / m² year), collected by means of a separator and placed in a container at a controlled temperature to be further used for biogas' production.

The whole system operation is guaranteed by a centralized management device.

The strength of this project is the use of a material largely available in nature as renewable energy source, integrating additional features to the produc-

03 - 04 | Smart Material House BIQ, Amburgo, foto di NordNordWest, Licenza: Creative Commons by-sa-3.0 de da Wikimedia Commons (disponibile a: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBA_Hamburg_BIQ_\(2\).nww.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBA_Hamburg_BIQ_(2).nww.jpg))
 Smart Material House BIQ, Hamburg, NordNordWest ph., Licence: Creative Commons by-sa-3.0 de from Wikimedia Commons (available at: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBA_Hamburg_BIQ_\(2\).nww.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBA_Hamburg_BIQ_(2).nww.jpg))

le presenti in natura in grandi quantità come fonte energetica rinnovabile, integrando nel sistema di produzione funzionalità aggiuntive come ombreggiatura dinamica – determinata dalla crescita variabile delle alghe in funzione della radiazione solare incidente – e isolamento termico ed acustico, dando vita ad un organismo fortemente connotato dalla tecnologia impiegata, anche a livello estetico, potenzialmente dotato di ripercussioni significative sull'ambiente circostante, in qualità di mezzo per la riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso le facciate degli edifici.

Rob-Ley, Urbana Studio (2014), May-September, Eskenazi Hospital façade, Indianapolis (USA) (Fig. 4)

Identificato con la facciata dell'ospedale di Indianapolis, tale involucro dinamico costituisce in realtà il rivestimento del parcheggio multipiano ad esso prospiciente. Realizzato impiegando circa 7000 pannelli in alluminio e acciaio, la sua caratteristica principale sta nella tridimensionalità, ottenuta attraverso la mobilità degli elementi che lo compongono e accentuata dal cromatismo differente sulle due facce degli stessi.

Tali variazioni cromatiche sono state progettate in funzione della direzione dei venti dominanti nel sito oltre che dei punti di vista degli utenti, grazie ad un sistema informatizzato capace di simulare la disposizione reciproca dei singoli pannelli, ottimizzando così l'immagine finale ottenuta.

È evidente dunque, come tale architettura sia riuscita a sfruttare materiali tradizionali per equipaggiare di un carattere di va-

riabilità l'involucro edilizio, coniugando l'aspetto estetico della materia con quello prestazionale (la mobilità delle lamelle implementa le sue funzionalità di schermatura e ventilazione), conferendogli al tempo stesso grande valenza artistica in qualità di esperienza visiva mutevole e graduale.

Kieran Timberlake Associates (2017), US Embassy, London (GBR) (Fig. 5)

L'ambasciata degli Stati Uniti d'America su suolo britannico mira a coniugare elevati standard di sicurezza con un'immagine visiva di apertura e trasparenza, configurandosi come un cubo realizzato in vetro stratificato e avvolto, sui lati maggiormente esposti, da vele in ETFE. La forma inusuale di tali elementi e, conseguentemente, l'estetica che essi generano, è funzione di un'attenta ricerca rivolta alla minimizzazione del guadagno solare e dell'abbagliamento pur consentendo l'ingresso di una quantità di luce naturale tale da ridurre l'apporto artificiale. Le pellicole plastiche traslucide infatti, riflettendo la radiazione, modificano il loro cromatismo in funzione della posizione del sole; anche gli





05 | Facciata dell'ospedale Eskenazi, Indianapolis, foto di Rockinrollblues, Licenza: CC BY-SA 4.0 da Wikimedia Commons (disponibile a: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YH48AINjxjw.jpg>)

Eskenazi Hospital façade, Indianapolis, Rockinrollblues ph., Licence CC BY-SA 4.0 from Wikimedia Commons (available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YH48AINjxjw.jpg>)

spazi interni, progettati secondo criteri di flessibilità, sono stati disposti per massimizzare il contributo dato dalla luce naturale. Il risultato finale è un edificio hi-tech nel quale la tecnologia impiegata riveste un ruolo significativo nella definizione del suo aspetto, impiegando materiali conosciuti ma con funzionalità non convenzionali, rivolte ad un'ottimizzazione del funzionamento dell'organismo nella sua totalità.

Jacques Ferrier Architectural (2017), Metropole Rouen Normandy, Rouen (FFF) (Fig. 6)

Dotato di un involucro ispirato alle pitture di Monet presenti nella cattedrale di Rouen, l'edificio di Ferrier sfrutta la componente tecnologica per inserirsi nel contesto circostante, grazie ad elementi puntuali in vetro sulla cui faccia esterna è applicato uno strato di ossidi metallici tale da conferirgli un cromatismo cangiante, accentuato anche dalla presenza di acqua nell'immediato intorno.

Attraverso tale opera, Ferrier è riuscito a giungere ad una sintesi tra l'aspetto formale e quello prestazionale, generando un edificio dall'aspetto mutevole grazie ad un involucro di tipo di-

tion system, such as dynamic shading – determined by the variable growth of algae as a function of incident solar radiation – and thermal and acoustic insulation, giving life to an organism strongly characterized by the technology employed, also from an aesthetic point of view, and potentially endowed with significant consequences also on the surrounding environment, as a means to reduce CO₂ emissions through buildings' façades.

Rob-Ley, Urbana Studio (2014), May-September, Eskenazi Hospital façade, Indianapolis (USA) (Fig. 4)

Commonly identified with the façade of the Indianapolis hospital, this dynamic envelope is actually the cladding of the multi-story car park that faces it. Made using about 7000 panels in aluminum and steel, its main feature is the three-dimensionality, obtained

through the mobility of the elements that compose it and emphasized by the different colors on their two sides.

These chromatic variations have been designed according to the direction of the prevailing winds on the site as well as to users' points of view, thanks to a computer-aided system that simulated the mutual arrangement of the individual panels, thus optimizing the final image obtained.

Therefore, it is evident how this architecture managed to exploit common materials to equip the building envelope with a variability feature, combining matter's aesthetic attitude with the performance aspect (the plate movability implements building envelope's shielding and ventilation functions) while conferring it a great artistic value as changeable and gradual visual experience.

namico, capace di offrire non soltanto vantaggi in termini prestazionali (schermando parte della radiazione solare in ingresso dei vani) bensì configurandosi come punto di incontro con le tradizioni culturali del luogo, dunque favorendo l'integrazione dell'opera nel contesto circostante.

Conclusioni

La produzione di architetture dotate di capacità responsive ed adattive un tempo impensabili per fronteggiare le moderne esigenze di cambiamento sta rapidamente conducendo verso una rivoluzione della genesi dell'opera architettonica nel suo complesso, conferendo alla tecnologia impiegata un ruolo attivo in tale processo: non più mera 'ingegnerizzazione' del progetto bensì elemento di sintesi – accentratore di molteplici istanze – sul quale far leva per favorire l'integrazione ed il dialogo tra edifici, contesto e loro fruitori.

L'applicazione, in ambito architettonico, delle innovazioni messe in campo dalla quarta rivoluzione industriale, in risposta alle variate esigenze dell'abitare contemporaneo, ha infatti prodotto una modificazione delle pratiche del progetto, arricchendo il linguaggio architettonico mediante l'adozione di componenti eterogenei, talvolta noti ma dotati di nuove valenze tecnologiche, talvolta frutto di processi di trasferimento tecnologico da altri settori o dei più recenti ritrovati di scienza e tecnica.

L'evoluzione del quadro esigenziale che ha portato alla trasformazione nell'impiego di materiali e prodotti secondo un approccio funzionale alla materia (Sinopoli e Tatano, 2012) ha dunque determinato la nascita di architetture dalle forme complesse, che superano la semplificazione delle soluzioni architettoniche tradizionali spesso determinata dall'assemblaggio di elementi regio-

Kieran Timberlake Associates (2017), US Embassy, London (GBR) (Fig. 5)

The United States embassy in Britain aims at combine high safety standards with an appearance of openness and transparency, as a laminated glass cube wrapped, on the most exposed sides, by ETFE sails. The unusual shape of these elements and, consequently, the aesthetics they generate, is function of a careful research aimed at minimizing undesired solar gain and glare while allowing the entry of an amount of natural light able to reduce the artificial contribution. The translucent plastic films in fact, reflecting the radiation, modify their chromatism according to sun position; also the interior spaces, designed according to flexibility criteria, have been arranged to maximize the contribution given by natural light. The final result is a hi-tech building in which the technology used plays a sig-

nificant role in defining how it looks, using well-known materials with unconventional functionalities to optimize the functioning of the system as a whole.

Jacques Ferrier Architectural (2017), Metropole Rouen Normandy, Rouen (FFF) (Fig. 6)

Equipped with a building envelope inspired by Monet's paintings of the Cathedral of Rouen, this building exploits the technological component to harmonizing itself with the surrounding, thanks to individual glass elements on whose external face its applied a layer of metal oxides that give them a changing chromatism, enlightened by the presence of water all around.

Through this work, Ferrier achieved a synthesis between the formal aspect and the performance aspect, generating a building with a changing appear-



06 | Ambasciata degli Stati Uniti d'America, Londra, foto di Loco Steve, Licenza: CC BY 2.0 da Flickr (disponibile a: <https://www.flickr.com/photos/locosteve/39519856244>)
US Embassy, London, Loco Steve ph., Licence CC BY 2.0 from Flickr (available at: <https://www.flickr.com/photos/locosteve/39519856244>)

07 | Métropole Rouen, Normandy, foto di Luc Boegly, Divisare.com
Métropole Rouen, Normandy, Luc Boegly ph. from Divisare.com

di conferire all'edificio la tanto agognata capacità di resilienza, configurandosi al contempo come veri e propri supporti iconografici in grado di evolversi in relazione all'uso che in essi viene fatto di materiali e componenti innovativi (Romano, 2013).

Anche l'utilizzo dei materiali dunque, si scinde dalla loro applicazione secondo forme e significati convenzionali, dettati da tradizioni culturali, disponibilità di risorse o caratteristiche formali ed estetiche ben precise, per divenire mezzo 'linguistico' per la comunicazione del progetto con precise intenzionalità funzionali, espressione di un nuovo linguaggio architettonico 'glocale', capace di adattarsi alle istanze in continuo mutamento di una contemporaneità 'ibrida' ma ritrovando al tempo stesso un rapporto con la tradizione, seppur innovato nella forma e nella vocazione.

NOTE

¹ Struttura reticolare in legno tipica dell'architettura islamica impiegata per ridurre l'abbagliamento degli spazi interni e ottenere maggiore privacy.

REFERENCES

- Abeer, S.Y.M. (2017), "Smart Materials Innovative Technologies in Architecture; Towards Innovative Design Paradigm", *International Conference - Alternative and Renewable Energy Quest*, AREQ, ES.
- Addington, M. and Schodek, D. (2005), *Smart Materials and New Technologies. For architecture and design professions*, Architectural Press, Elsevier, Oxford, UK.
- Altomonte, S. (2006), *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea, Florence.

lari, in favore di forme più evolute, assistite dalle ICT per il processo edilizio, rendendo così i materiali da costruzione elementi funzionali capaci di fornire un comportamento inedito.

Gli involucri adattivi, i cui componenti tecnologici acquisiscono nuovo valore estetico-formale, divengono dunque forza motrice per lo sviluppo di nuove idee e forme architettoniche, costituendo «la prossima grande pietra miliare» della tecnologia dell'architettura (Gallo e Romano, 2017), in qualità di elementi capaci

ance thanks to its dynamic envelope, able to offer not only advantages in terms of performance (by shading part of the entering solar radiation) but rather reconciling it with cultural traditions of the place, thus fostering its integration in the surrounding.

Conclusions

The establishment of architectures with responsive and adaptive capabilities, previously unthinkable, to face the modern needs of change, has rapidly triggered a revolution in the creation of the architectural work as a whole, giving to technology for architecture an active role: no longer as 'engineering' of a project but rather as element of synthesis – centralizer of multiple instances – on which leverage to foster interactions among buildings, surrounding environment and user-needs.

The application, in the architectural field, of the innovations spread by the fourth industrial revolution, in response to changing needs of contemporary living, has, indeed, produced a modification of project practices, enriching architectural language through the adoption of heterogeneous components, sometimes known but endowed with new technological values, while sometimes resulting from technological transfer processes from other sectors or from the most recent scientific and technical discoveries.

The evolution of the demanding framework that modified the use of materials and products according to a functional approach towards matter (Sinopoli and Tatano, 2012), generated architectures with complex shapes, able to overcome the simplification of traditional architectural solutions, often determined by the assembly of reg-



Casini, M. (2016), "Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance", *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, No. 69, Elsevier, Oxford, UK.

Cilento, K. (2012), "Al Bahar Towers Responsive Facade", available at <https://www.archdaily.com/270592/albahar-towers-responsive-facade-aedas> (accessed 27 February 2018).

Conato, F. e Frighi, V. (2016), *Metodi della progettazione ambientale. Approccio integrato multiscala per la verifica prestazionale del progetto di architettura*, Franco Angeli Edizioni, Milan.

Conato, F. e Frighi, V. (2018), "Smart Materials. Innovazione tecnologica per un nuovo linguaggio architettonico", *L'Ufficio Tecnico*, No.1, pp. 7-15.

Drossel, W.G., Kunze, H., Bucht, A., Weisheit, L., Pagel, K. (2015), "Smart3 – Smart Materials for Smart Applications", *25th Design Conference for Innovative Product Creation, CIRP*, Haifa, Israel.

Gallo, P. e Romano, R. (2017), "Adaptive facades, developed with innovative nanomaterials, for a sustainable architecture in the Mediterranean area", *International High-Performance Built Environment Conference*, Sidney, AUS.

Grisi, T. (2017), "Facciata dell'Ospedale Eskenazi a Indianapolis – Rob Ley", available at: <https://www.arketipomagazine.it/facciata-dellospedale-eskenazi-a-indianapolis-rob-ley/> (accessed 27 February 2018).

IBA Hamburg GmbH (2013), "Smart Material House BIQ Whitepaper", available at: http://www.iba-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/130716_White_Paper_BIQ_en.pdf (accessed 27 February 2018).

Jelle, B. P., Hynd, A., Gustavsen, A., Arasteh, D., Goudey, H. and Hart, R. (2012), "Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 96, pp. 1-28.

Lucarelli, M.T., Mandaglio, M., Pennestri, D. (2012), "The building envelope between process and product innovation", *International Conference: Sustai-*

nable Environment in the Mediterranean Region: from Housing to Urban and Land Scale Construction, Naples.

Pearman, H. (2017), "U.S. Embassy in London by KieranTimberlake", available at: <https://www.architecturalrecord.com/articles/13162-us-embassy-in-london-by-kierantimberlake> (accessed 27 February 2018).

Rinaldi, M. (2017), "Headquarters of Métropole Rouen Normandie by Jacques Ferrier Architecture", available at: <http://aasarchitecture.com/2017/10/headquarters-metropole-rouen-normandie-jacques-ferrier-architecture.html> (accessed 27 February 2018).

Ritter, A. (2007), *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*, Birkhäuser, Basel, CH.

Romano, R. (2013), "Sistemi di chiusura a comportamento dinamico", in Scudo, G. (Ed.), *Tecnologie solari integrate nell'architettura. Processi, Strumenti, Sistemi, Componenti*, Wolters Kluwer, Milanofiori Assago, IT, pp. 181-193.

Rossetti, M. e Tatano, V. (2013), "Smart Materials", *Ponte*, No. 1, pp. 48-56.

Sinopoli, N. e Tatano, V. (2002), *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*, Franco Angeli Edizioni, Milan.

Tucci, F. (2014), *Involucro, Clima, Energia, Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici*, Altralinea Edizioni, Florence.

Zacchei, V. (2011), "Nanotecnologie e materiali per l'edilizia", available at: http://materialdesign.it/it/post-it/nanotecnologie-e-materiali-per-l-edilizia_13_158.htm (accessed 23 February 2018).

ular elements, in favor of more evolved shapes, assisted by ICTs for building process, thus making building materials functional elements that could perform an adaptive behavior.

So, adaptive envelopes, whose technological components acquire new aesthetic-formal value, become the driving force for the development of new architectural ideas and forms, being «the next big milestone» of the technology for architecture (Gallo and Romano, 2017) thanks to their ability in giving to buildings the desired resilience capacity, becoming, at the same time, iconographic supports able to evolve in relation to the use they made of innovative materials and components (Romano, 2013).

Therefore, even the use of materials has been separated from their application, according to conventional forms and meanings dictated by cultural

traditions, availability of resources or precise formal and aesthetic features, to become 'linguistic' means for communicating the project, with precise functional intentions, expression of a new 'glocal' language, able to adapt itself to the ever changing needs of a 'hybrid' contemporary society while finding at the same time a relationship with local traditions, even if innovated in form and vocation.

NOTES

¹ Wooden reticular structure traditional within Islamic architecture, employed to minimize glare in confined spaces and to obtain greater privacy.

Paolo De Marco^a, Antonino Margagliotta^b,

^aUniversitat Politècnica de Valencia, Spagna

^bDipartimento di Ingegneria, Università di Palermo, Italia

paolo.demarco@unipa.it

antonino.margagliotta@unipa.it

Abstract. Se il colore è un materiale che concorre a costruire l'architettura, il bianco determina una dimensione particolare del progetto cui corrisponde una precisa idea di architettura, con principi specifici sulla concezione spaziale e sulle forme, sui modi di lavorare con la luce; nell'architettura contemporanea il colore bianco è riferibile ancora a ideologie e a specifiche ricerche di tipo spaziale e linguistico. È interessante allora comprenderne i valori e le ragioni, conoscere i prodotti messi a disposizione di questa idea, per la quale le tecnologie tradizionali sono implementate e si sperimentano nuove applicazioni con innovativa efficacia espressiva.

Parole chiave: Bianco; Materia; Materiale; Architettura; Progetto.

Premessa

Coerentemente alle scelte progettuali, oggi più che mai i materiali sono essi stessi progetto; oltre a *costruire l'architettura* qualificano lo spazio con le loro proprietà percettive (temperatura, porosità, opacità, trasparenza), per cui anche il colore è da considerarsi materiale dell'architettura. Inoltre, le maggiori richieste prestazionali rivolte alle costruzioni contemporanee rappresentano un costante impulso all'implementazione delle qualità dei materiali e al miglioramento delle tecniche tradizionali; determinano anche l'adozione di materiali che hanno avuto una sperimentazione in altri campi scientifici; portano poi, in alcuni casi, alla definizione di materiali esclusivi di una determinata opera, da estendere successivamente ad una produzione più ampia. Oggi, allora, diventa ancor più esplicito il significato di *progetto del materiale*, verso il quale convergono poi le ragioni dell'uomo e dello spazio, le suggestioni e le limitazioni derivanti dal contesto fisico, economico e sociale.

Se la componente cromatica determina una dimensione particolare del progetto, questo è vero per il bianco più di altri colori: il bianco ha la capacità di minimizzare l'irraggiamento solare

The design of white and the architecture matter

Abstract. If color is a material that contributes to *constructing architecture*, white color determines a particular dimension of the project that corresponds to a precise idea of architecture, with specific principles on spatial and form conception, on ways of working with light; in contemporary architecture, white color still refers to ideologies and specific spatial and linguistic research. So it is interesting to understand its values and reasons, to know the products available for this idea, for which traditional technologies are implemented and new applications are developed with innovative expressive effectiveness.

Keywords: White; Matter; Material; Architecture; Project.

(con evidenti vantaggi soprattutto nei climi caldi), di migliorare la percezione delle forme, di *dilatare* gli ambienti, di esaltare il ruolo della luce e dell'ombra; a tali caratteristiche oggettive si aggiungono i valori simbolici che hanno determinato una sorta di *mito del bianco*, dalle antiche e incerte radici.

L'architettura bianca si fa oggi carico di un consolidato bagaglio tecnico-culturale, avvalendosi però di nuove soluzioni formali e tecniche; per cui la *tradizione del bianco* è innovata nelle sperimentazioni spaziali e linguistiche, coniugandosi alle esigenze contemporanee dell'abitare.

Alcune architetture, scelte per rappresentare le attuali *poetiche del bianco* e i loro caratteri, consentono di precisare la gamma di prodotti a disposizione dell'*idea del bianco*, mettendo in relazione il loro impiego e le possibilità che offre con le differenti finalità progettuali che ogni architettura si propone.

Tradizione e mito del bianco

L'uso del bianco ha origini lontane e impossibili da rintracciare, con connotazioni simboliche legate soprattutto all'idea di purezza, che gli conferiscono un valore quasi universale. Nella memoria collettiva il bianco ha contribuito a definire un'idea di architettura e a determinare principi di identità ed appartenenza, come in area mediterranea con il *candore minerale* di volumi elementari costruiti in muratura e protetti dalla calce che riflette i raggi solari e raffresca gli ambienti interni. L'idea comunemente diffusa di una architettura mediterranea totalmente bianca è giustificata dalla progressiva perdita dell'antica policromia di molte cittadine mediterranee; a partire dal XVIII secolo, infatti, la calce si impone per le sue pro-

Preamble

Likewise design choices, today more than ever, materials are themselves project; as well as *constructing architecture*, they qualify space with their perceptive qualities (temperature, porosity, opacity, transparency), so that also color is to be considered as an architectural material. The major performance requirements for contemporary construction represent a constant impulse for the implementation of the quality of materials and the improvement of traditional techniques; they also determine the adoption of materials that have been experimented in other scientific fields; they lead, in some cases, to the definition of special materials for specific work, to be subsequently extended for a wider production. So today the meaning of *design of the material* becomes even more explicit, towards which the reasons of man

and space converge, with the suggestions and limitations deriving from the physical, economic and social context. If the chromatic component determines a particular dimension of the project, this is true for the white more than other colors: white has the ability to minimize solar irradiation (with obvious advantages especially in hot climates), to improve the perception of shapes, to *expand* the environments, to enhance the role of light and shadow; in addition to these objective characteristics, there are some symbolic values that have determined a sort of *myth of white*, which has ancient and uncertain roots. The white architecture today holds a consolidated technical and cultural baggage, making use of new formal and technical solutions; so the *tradition of white* is innovated in spatial and linguistic experimentation, combining the contemporary needs of living.

prietà igieniche e antibatteriche, contribuendo a costruire l'immagine di un'architettura spontanea pura ed essenziale¹.

Il bianco è anche fortemente legato alla cultura *classica*: per molti secoli (e fino agli inizi dell'Ottocento) si diffuse l'idea che la scultura e l'architettura greca fossero *bianche*, idealizzate nel puro marmo pario. Nel Settecento, i racconti dei *Grand Tour* e la passione antiquaria enfatizzano un ideale *mitico* dell'arte greca che J.J. Winckelmann codifica nella *nobile semplicità* e nella *quieta grandezza* in cui il bianco esalta la bellezza delle forme². Malgrado le ricostruzioni storiche si rivelassero poi prive di fondamento, le teorie estetiche di Winckelmann trovarono seguito presso i neoclassici, influenzando l'architettura fino al XX secolo.

Nella rivoluzione del Movimento Moderno, il bianco è il fondo di una pagina su cui scrivere una nuova storia³: azzera una condizione che, con l'annullamento dei colori, esprime la pulizia delle forme (a cui rimandano l'assenza di ornamento e le esigenze d'igiene), la purezza, i principi di astrazione e di denaturalizzazione⁴. L'architettura indossa la veste bianca e, con un chiaro riferimento alle regole di un classicismo, utilizza le geometrie elementari e aspira all'essenzialità.

Nel 1925 Le Corbusier enuncia la *legge della biacca*, per far pulizia non solo nel linguaggio dell'architettura ma anche nella casa e nella vita dell'uomo moderno: «Pensate agli effetti della *legge della biacca* [...] Da nessuna parte restano angoli sporchi o oscuri: *tutto si mostra così com'è in realtà*»⁵. Il non-colore diviene poi metafora del pensiero razionale, caricandosi dei valori di rinnovamento e di libertà della società del XX secolo.

Ancora adesso l'architettura bianca è molto diffusa: si pensi, per restare nel solco della tradizione del Moderno, alle opere di Álvaro Siza Vieira, di Alberto Campo Baeza («il colore bianco è sim-

bolo del perenne, l'universale nello spazio e l'eterno nel tempo»)⁶ o di John Pawson; oppure, superati i limiti di identità e di luogo, agli edifici di Richard Meier (per il quale il bianco «is the color which in natural light, reflects and intensifies the perception of all of the shades of the rainbow»)⁷ o di Kazuho Sejima («in our buildings we try to make no hierarchy, to bring light everywhere, to make free circulation. I think white is the result of this»)⁸ che sperimentano nuove configurazioni per nuovi materiali.

Materiali del bianco

Moltissimi sono i materiali del bianco, soprattutto nel campo dei rivestimenti o dell'involucro della costruzione. Tra quelli strutturali il ruolo principale spetta sempre al calcestruzzo, dalle caratteristiche meccaniche conosciute e in evoluzione, oggi in grado di assolvere compiti strutturali con qualità estetiche rilevanti. L'architettura in calcestruzzo a vista, alla stregua delle antiche costruzioni in pietra, può così aspirare al principio lecorbusieriano dell'*unicità strutturale*. A sua volta, la tradizione del calcestruzzo bianco si è implementata di nuove tecnologie che offrono prodotti speciali, altamente performanti per specifici usi, e consentono una straordinaria continuità cromatica e materica in cui la struttura si mostra nella sua natura e nel proprio candore, senza la mediazione dei rivestimenti. Questi principi caratterizzano le architetture romane di Richard Meier, l'edificio-teca dell'*Ara Pacis* (2006) e la chiesa *Dives in misericordia* (2003), oltre al recente Centro di ricerca *i.lab* per Italcementi a Bergamo (2012), nuova sede dell'industria leader nella produzione di calcestruzzi, il cui progetto diventa occasione di sperimentazione. Per le strutture è stato impiegato speciale calcestruzzo bianco ad alta resistenza che ha reso possibile (fra altri elementi d'interes-

Some architectures, chosen to represent the current *poetics of white* and through the qualities they emanate, allow us to clarify the range of products supporting the *idea of white*, linking their use and the possibilities it offers with the different design purposes that every architecture aims itself.

Tradition and myth of white

The use of white color has distant origins that are impossible to trace, with symbolic connotations mainly linked to the idea of purity, which give an almost universal value to it. In the collective memory, white helped to define an idea of architecture and to determine principles of identity and belonging, as in the Mediterranean area with the *mineral whiteness* of the elementary volumes made of stone and protected by lime that reflects the Sun's rays cooling the interior.

The common idea of a totally white Mediterranean architecture is justified by the progressive loss of the ancient polychromy of many Mediterranean towns; since the eighteenth century, in fact, the lime is imposed for its hygienic and antibacterial properties, helping to build the image of a pure and essential spontaneous architecture¹.

White color is also strongly linked to *classical* culture: for many centuries (and until the beginning of the nineteenth century) the idea that Greek sculpture and architecture were white, idealized in pure parian marble, became common. In the eighteenth century, the stories of the *Grand Tour* and the passion for antiques emphasize a *mythical* ideal of Greek art that J.J. Winckelmann encodes in *noble simplicity and quiet grandeur* in which white exalts the beauty of forms². Although these historical reconstruc-

tions turned out to be unfounded, Winckelmann's aesthetic theories were followed by neoclassicals, influencing architecture until the twentieth century.

In the revolution of the Modern Movement, white is the background of a page on which to write a new story³: it eliminates a condition that, with the cancellation of colors, expresses the cleanness of the forms (to which the absence of ornament and the requirements of hygiene refers), purity, the principles of abstraction and denaturalization⁴. Architecture wears the white dress and, with a clear reference to the rules of a classicism, uses elementary geometries and aspires to the essential.

In 1925 Le Corbusier enunciated the *law of Ripolin*, to clean not only the language of architecture but also the home and the life of modern man:

«Think of the effects of the *Law of Ripolin* lead [...] There are no more dirty, dark corners. Everything is shown as it is»⁵. Non-color then becomes a metaphor of rational thought, taking on the values of renovation and freedom of twentieth-century society.

Still today, white architecture is widespread: to remain in the tradition of the Modern, think about the works of Álvaro Siza Vieira, Alberto Campo Baeza («white is a symbol of permanence, of the universal in space and the eternal in the time»)⁶ or John Pawson; or, beyond the limits of identity and place, to the works of Richard Meier (who claims that white «is the color which in natural light, reflects and intensifies the perception of all of the shades of the rainbow»)⁷ or of Kazuho Sejima («in our buildings we try to make no hierarchy, to bring light everywhere, to make free circulation. I

se) il grande oggetto che copre lo spazio esterno d'ingresso. Per altre soluzioni si sono utilizzate le tecnologie sviluppate da Italcementi in altre occasioni: per alcune pareti interne il calcestruzzo bianco trasparente dell'Expo Shanghai (2010), per le superfici esterne il calcestruzzo fotocatalitico del *Palazzo Italia* di Expo Milano (2015) e della *Dives in misericordia*. Il risultato è uno spazio totalmente bianco, che include le pavimentazioni esterne e le rampe (realizzate con un calcestruzzo bianco drenante). Infatti, grazie allo speciale mix-design del calcestruzzo e alla sua porosità aperta, questo materiale fa defluire l'acqua rapidamente verso il terreno sottostante⁹. L'intenzione (e la possibilità) di perseguire nel progetto l'idea monocromaticità e monomaterialità è portata alle estreme conseguenze al punto che gli elementi di arredo sono *costruiti* e con una speciale malta bianca rinforzata con fibre di vetro, particolarmente adatta alla creazione di forme sottili e di parti non strutturali.

I materiali di protezione e di finitura bianchi sono innanzitutto gli intonaci e poi le pitture, i pannelli (di natura e forme diverse, in calcestruzzo, metallici, polimerici), i rivestimenti lapidei naturali e artificiali (con l'opportunità di realizzare le facciate ventilate continue), i frangisole che, combinati con materiali traslucidi, regolano l'illuminazione e consentono al progetto di studiare e modulare gli effetti della luce e dell'ombra in maniera non convenzionale. Questi rivestimenti bianchi si configurano come una *pelle* autonoma dalla struttura portante, più o meno sottile, opaca o trasparente, assecondando le innovazioni funzionali e formali sul corpo dell'architettura.

Per via dei costi contenuti e della facilità di applicazione, soprattutto per interventi di piccola scala, la tecnologia più diffusa resta quella degli intonaci, discendenti della calce della tradizione

mediterranea. Ma all'architettura performante dei nostri giorni gli intonaci arrivano con elevate proprietà isolanti e altamente traspiranti, che tra l'altro sostengono il mantenimento delle superfici bianche: l'intonaco fotocatalitico è poi particolarmente bianco e brillante per la presenza del biossido di titanio, e diventa *attivo* perché decompone i microorganismi presenti nell'aria: come nella fotosintesi clorofilliana, l'aria e la luce ossidano le sostanze inquinanti e formano residui innocui che vengono dilavati dalla pioggia e, dunque, con proprietà anti-inquinanti (contribuiscono all'abbattimento delle polveri sottili), antibatteriche e autopulenti.

Ai materiali di rivestimento appartengono i materiali lapidei, con una propria rilevanza che deriva dalla tradizione ma con prestazioni più ampie che aprono a nuove soluzioni progettuali: il Teatro dell'Opera di Snøhetta, nell'ex zona portuale di Oslo (2008), punto di contatto tra la città ed il mare, si configura come un'articolazione di piani bianchi rivestiti di marmo di Carrara, che avvolgono l'intero complesso e sfiorano perfino l'acqua (Fig. 1). Questo tappeto bianco di 18.000 metri quadrati è suddiviso in pattern non ripetitivi che modificano la tessitura del rivestimento con intagli e piani rialzati che determinano, in larga misura, la configurazione spaziale dell'edificio. Il rivestimento lapideo caratterizza anche la sede della *Comarca de Bajo Martín* a Híjar (2011), dello studio Magén Arquitectos, che impiega la pietra calcarea e soprattutto l'alabastro bianco estratto nella zona (la cui produzione ne costituisce la principale fonte economica) che assume un ruolo simbolico e rappresentativo. L'edificio è un volume puro e solido, poi scavato in forme articolate, in cui l'alabastro, traslucido e venato, materializza la facciata su strada e sottolinea l'aspetto monumentale, consente di giorno l'illuminazione

think white is the result of this»⁸ that experiment with new configurations for new materials.

Materials of white

There are many white materials, especially in the field of cladding materials or of the building envelope. Among the structural ones, the main role is played by concrete, with well-known mechanical characteristics in constant development, which today can perform structural tasks with relevant aesthetic qualities. The raw concrete architecture, like old stone constructions, can thus aspire to the lecorbusierian principle of *structural uniqueness*. On the other hand, the tradition of white concrete has been implemented by new technologies that offer special products, highly performing for specific uses, and allow an extraordinary chromatic continuity in which the

structure is shown in its nature and in its candor, without the mediation of coatings.

These principles characterize the *Roman* architecture by Richard Meier, the building-case of the *Ara Pacis* (2006) and the church *Dives in Misericordia* (2003), in addition to the recent *i.lab* Research Center for Italcementi in Bergamo (2012). The project of the new headquarters of the leading company in the production of concrete was an opportunity for experimentation. For the structures, a special high-strength white concrete was used, which made possible (among other elements of interest) the large projection that covers the external entrance space. For other solutions, the technologies developed by Italcementi on other occasions have been used: the transparent white concrete of Expo Shanghai (2010) was used for some interior walls, while the

photocatalytic concrete of the *Palazzo Italia* for Expo Milano (2015) and of the *Dives in misericordia* composes the external surfaces. The result is a totally white space, which includes outdoor floors and ramps (made with a draining white concrete). In fact, thanks to the special mix-design of draining concrete and its open porosity, this material makes the water flow rapidly towards the ground below⁹. The intention (and the possibility) of pursuing the monochromatic and monomaterial idea in the project is taken to the extreme consequences to the point that the furnishing elements are *constructed* with a special white mortar reinforced with glass fibers, particularly suitable for creation of thin forms and non-structural parts.

The white finishing materials are first of all plasters and then paints, panels (of different nature and shapes, in con-

crete, metal, polymers), natural and artificial stone cladding (with the opportunity to realize continue ventilated facades), the sunbreakers that, combined with translucent materials, regulate the lighting and allow the project to study and modulate the effects of light and shadow in an unconventional manner. These white coatings are configured as an independent skin with a supporting structure, relatively thin, opaque or transparent, allowing functional and formal innovations on the body of the architecture.

Due to the limited costs and simple application techniques, especially for small-scale interventions, the most widespread technology remains that of plasters, descendants of the lime of the Mediterranean tradition. But for the performance architecture of our days, the plasters have high insulating and highly breathable properties,



01 | Teatro dell'Opera di Snøhetta ad Oslo, foto Valeria Messina
Oslo Opera House by Snøhetta, photo Valeria Messina

zione degli interni, si converte in *lanterna* la notte.

Tra le applicazioni contemporanee dei rivestimenti in calcestruzzo bianco è diffusa la tecnologia dei pannelli rinforzati con fibre di vetro (*Glassfiber Reinforced Concrete* – GRC), presente in campo architettonico da decenni ma a cui la recente ricerca ha dato una maggiore resistenza meccanica, pur nella leggerezza e nella possibilità di essere prefabbricato in differenti forme e dimensioni¹⁰. Queste caratteristiche tecniche, unitamente alle qualità estetiche, hanno reso i pannelli in GRC ampiamente impiegati nell'architettura bianca, specialmente nei progetti di grande dimensione e di geometria complessa, come nell'Heydar Aliyev Center di Baku di Zaha Hadid (2012) in cui i software parametrici razionalizzano le superfici complesse in pannelli a curvatura variabile e permettono al rivestimento di *modellare* una grande superficie

which among other things support the maintenance of white surfaces: the photocatalytic plaster is particularly white and brilliant due to the presence of titanium dioxide, and it becomes *active* because it decomposes the micro-organisms present in the air: as in the chlorophyll photosynthesis, the air and the light oxidize the polluting substances and form harmless residues that are washed away by the rain and, therefore, with anti-polluting (they contribute to the abatement of fine particles), antibacterial and self-cleaning properties.

Stone materials also belong to the covering materials, derived from tradition but with wider performances that open to new design solutions: the Opera House by Snøhetta, in the former port area of Oslo (2008), contact point between the city and the sea, is configured as an articulation of white

floors covered with Carrara marble, which envelop the entire complex and even touch the water (Fig. 1). This 18,000-square-meter white carpet is subdivided into non-repetitive patterns that modify the texture of the cladding with carvings and raised floors that largely determine the spatial configuration of the building. The stone cladding also characterizes the headquarters of the *Comarca de Bajo Martín* in Híjar (2011), by Magén Arquitectos, which uses limestone and especially the white alabaster mined in the area (the production of which is the main economic source) and assumes a representative role. The building is a pure and solid volume, dug into articulated forms, in which the alabaster, translucent and veined, materializes the façade on the street and emphasizes the monumental appearance, allows daylighting the interior,

bianca continua che comprende gli spazi aperti e la piazza, sino alle pareti-copertura dell'edificio (Fig. 2).

Per il Centro d'arte contemporanea di Cordoba (2013), gli architetti Nieto e Sobejano hanno invece utilizzato un altro tipo di pannelli in GRC, alcuni completamente opachi e altri perforati secondo un pattern esagonale che regola l'intero progetto; anche in questo caso, la duttilità dei pannelli consente di rinnovare alcuni temi della tradizione architettonica mediterranea con l'impiego di un unico materiale, l'uso di geometrie elementari in cui il volume bianco ricorda le costruzioni dell'Andalusia mentre le superfici perforate, che consentono l'illuminazione degli interni, come una grande *mashrabiyya*, rammemorano la storia della città (Fig. 3). Anche gli Aires Mateus Associados, che intonacano sempre di bianco le loro piccole case, hanno impiegato la tecnologia GRC

turns into *lantern* at night.

Among the contemporary applications of white concrete cladding is the technology of *Glassfiber Reinforced Concrete* (GRC) panels, used in the architectural field for decades but to which the recent research has given a better mechanical resistance, greater lightness and the possibility of being prefabricated in different shapes and sizes¹⁰. These technical characteristics, together with the aesthetic qualities, have made the GRC panels widely used in white architecture, especially in large-scale projects and complex geometry, such as in the Heydar Aliyev Center in Baku by Zaha Hadid (2012) where parametric software rationalize elaborate surfaces in panels with variable curvature and allow the cladding to model a large continuous white surface that includes the open spaces and the square, up to the walls-covering of

the building (Fig. 2).

For the Contemporary Art Center of Cordoba (2013), architects Nieto and Sobejano have instead used another type of GRC panels, some completely opaque and others perforated according to a hexagonal pattern that regulates the entire project; also in this case, the flexibility of the panels allows to renew some themes of the Mediterranean architectural tradition with the use of a single material, the use of elementary geometries in which the white volume recalls the buildings of Andalusia while the perforated surfaces, which allow the interior lighting, like a large *mashrabiyya*, reminiscent of the city's history (Fig. 3).

Even the office Aires Mateus Associados, who often use white plaster for their small houses, have used the GRC technology in the project of the new headquarters of the *EDP* elec-



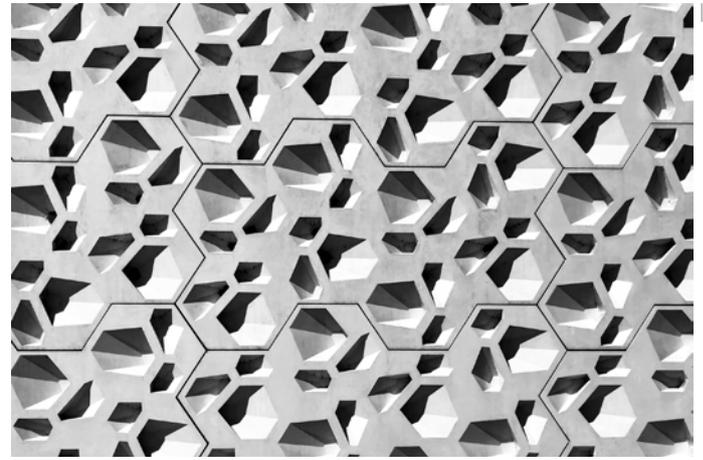
02 | Heydar Aliyev Center di Zaha Hadid a Baku, foto Giulia Di Benedetto
Heydar Aliyev Center by Zaha Hadid in Baku, photo Giulia Di Benedetto

nel progetto della nuova sede della società elettrica EDP a Lisbona sulle sponde del Tago (2015): il grande edificio si compone di due torri in vetro con struttura in acciaio rivestita da speciali elementi in GRC che stabiliscono il ritmo dell'intera composizione e risolvono, con un unico gesto espressivo, l'intero progetto (Fig. 4). Orientati a sud-ovest, questi *nastri* bianchi percorrono le facciate e fanno da copertura anche alla piazza compresa fra le torri: fungono da frangisole e proteggono gli ambienti dall'eccessivo irraggiamento, variando la loro dimensione in funzione degli spazi interni, mentre l'orientamento diagonale genera un effetto di trasparenza che cambia in rapporto alla posizione dell'osservatore. Il bianco, spesso concepito come materiale opaco e *statico*, si è trasformato in materiale trasparente, sensibile alla necessità funzionali e formali della costruzione (Fig. 5).

Un nuovo apporto all'utilizzo del bianco in architettura (soprattutto per gli interventi di ristrutturazione e recupero edilizio) proviene invece dalle pitture idrorepellenti e autopulenti, che possiedono anche caratteristiche isolanti. Elisa Valero Ramos,

tric company in Lisbon on the banks of the Tagus (2015): the large building consists of two glass towers with a steel structure covered with special GRC elements that set the rhythm of the whole composition and solve, with a single expressive gesture, the entire project (Fig. 4). Oriented to the southwest, these white *ribbons* run along the facades and also cover the square between the towers: they act as sun-breakers and protect the rooms from excessive radiation, varying their size according to the interior spaces, while the diagonal orientation generates a transparency effect that changes in relation to the position of the observer. White matter, often conceived as an opaque and *static* material, has been transformed into transparent material, sensitive to the functional and formal necessities of the construction (Fig. 5). A new contribution to the use of white

in architecture (especially for building renovation) comes from water-repellent and self-cleaning paints, which also have insulating characteristics. Elisa Valero Ramos, in the project of her studio (2009) in the center of Granada (another *white city* by tradition) in which the 3.60 meter deep plot forced the exploitation of space, applied a liquid ceramic insulation (varnished as simple painting) that reduces the wall thickness to a minimum and achieves an adequate insulation¹¹. From a design point of view, the use of white inserts the building into the chromatic and material continuity of its surroundings and, from another point of view, isolates it adequately. Speaking of Mediterranean architecture, we also remember the unusual geometry of the Balint House by Fran Silvestre Arquitectos in Valencia (2014) that creates the white coating



03 | Dettaglio della facciata del Centro d'Arte Contemporanea di Cordoba di Nieto y Sobejano, foto Raquel Málaga
Detail of facade of Contemporary Art Center of Cordoba by Nieto y Sobejano, photo Raquel Málaga

nel progetto del suo studio (2009) nel centro di Granada (altra *città bianca* per tradizione) in cui le ridotte dimensioni del lotto profondo appena 3,60 metri obbligavano al massimo sfruttamento dello spazio, ha applicato nella facciata su strada un isolante ceramico liquido (steso con le modalità di una semplice pittura) che riduce al minimo lo spessore murario e consegue un'adeguata coibentazione¹¹. Da un punto di vista progettuale l'uso del bianco inserisce l'edificio nella continuità cromatica e materiale del suo intorno e, sotto altri aspetti, lo isola adeguatamente. Per restare ancora nell'ambito dell'architettura mediterranea, ricordiamo anche l'inusuale geometria della Casa Balint dello studio Fran Silvestre Arquitectos di Valencia (2014) che affida il rivestimento bianco al *solid surface*, tecnologia diffusamente utilizzata per la realizzazione di piani cottura e sanitari in virtù delle proprietà igieniche e di tenuta per l'assenza di giunti¹². Il brillante volume ellittico della casa presenta una facciata ventilata monolitica, che riveste con continuità anche la copertura curva; il volume si plasma come una forma scultorea e l'edificio

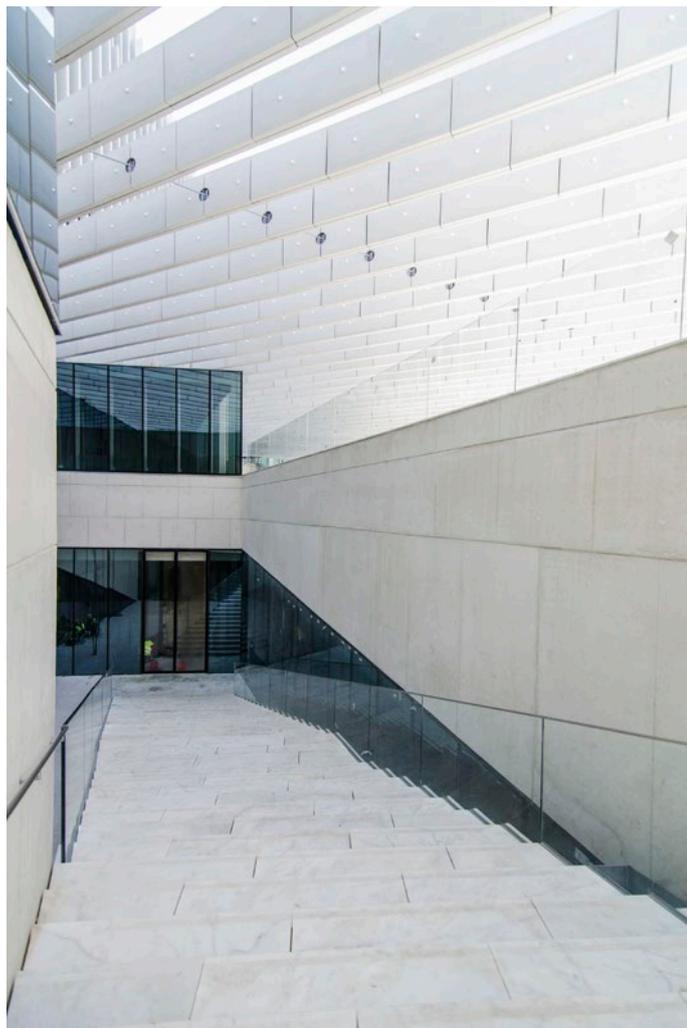
with *solid surface*, a technology widely used for the realization of cooktops and sinks thanks to the hygienic and sealing properties due to the absence of joints¹². The bright elliptical volume of the house has a monolithic ventilated façade, also covering the curved roof in continuity; the volume is shaped like a sculptural form and the building appears as a *single piece* (concept that was once only guaranteed by concretes) (Fig. 6). One of the most famous white architectures of recent years is the Philharmonic Hall in Szczecin by Barozzi-Veiga studio (2014): chromatically contrasting with the context, the building is a compact aggregate of high volumes whose roof recalls the geometry of the nearby ancient buildings. The façades, with their slender white metal profiles, support a white glass curtain wall that gives the building a particular imma-

teriality and allows natural light to illuminate the rooms arranged along the perimeter. The combination of the two white materials (aluminum and glass) builds a changing volume, heavy and solid in the sunny days, transparent in the gloomy days, luminescent at night (Fig. 7). The entrance hall is a grand, totally white space – from the flooring to the furniture – illuminated with zenithal light (Fig. 8), which then leads to the music halls. The largest one, with 1000 seats, has walls fragmented according to the Fibonacci sequence which glow with gold leaf on the wooden walls. This last project introduces a new use of white color for new-generation architectural concepts: buildings that take on the same substance as clouds (changeable, without mass and weightless) and express some modern features: immaterial and light, evanescent

appare come un *unico pezzo* (concetto garantito una volta solo dai calcestruzzi) (Fig. 6).

Una delle architetture bianche più famose di questi ultimi anni è la Filarmonica di Stettino dello studio Barozzi-Veiga (2014): cromaticamente contrastante con il contesto, si presenta come un compatto aggregato di alti volumi che in copertura riprendono le geometrie dei tetti dei vicini edifici antichi. Le facciate, dagli esili profili metallici bianchi, sostengono un *curtain-wall* di vetro bianco che conferisce all'edificio una particolare immaterialità e permette alla luce naturale di illuminare gli ambienti disposti lungo il perimetro. La combinazione dei due materiali bianchi (l'alluminio e il vetro) costruisce un volume cangiante, dall'aspetto pesante e solido nei giorni soleggiati, trasparente nelle giornate uggiose, luminescente nelle ore notturne (Fig. 7). La hall d'ingresso è un grandioso spazio totalmente bianco – dal-

04 |



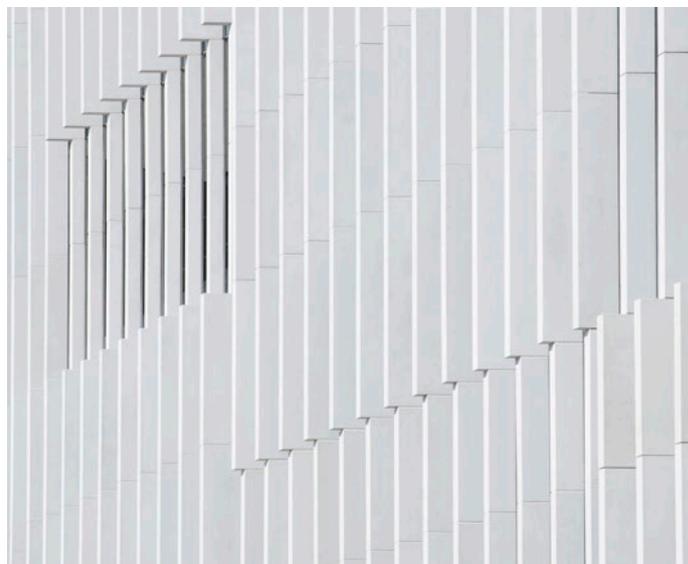
la pavimentazione all'arredo – illuminato con luce zenitale (Fig. 8), che conduce poi alle sale di cui la più grande, con 1000 posti a sedere, ha le pareti frammentate secondo la sequenza di Fibonacci che risplendono, inaspettatamente, del rivestimento con foglia d'oro sulle pareti lignee.

Quest'ultima opera introduce all'uso del colore bianco per concezioni architettoniche di *nuova generazione*: costruzioni che assumono la stessa sostanza delle nuvole (mutevoli, senza massa e prive di peso) ed esprimono alcuni caratteri della modernità, immateriali e leggeri, evanescenti e liquidi, pronti a dissolversi nella luce e nell'aria. Teli e tessuti, membrane e policarbonati traslucidi (che giungono all'architettura attraverso il *trasferimento tecnologico*, come nel caso del politetrafluoroetilene, commercialmente noto come *Teflon*) definiscono nuove poetiche che non radicano più l'edificio alla terra (e alla storia) ma proiettano verso nuovi concetti di durata e a forme in dissoluzione.

Conclusioni

In *Umano troppo umano*

Nietzsche scrive che «la pietra è più pietra di una volta», suggerendoci che il materiale si è slegato dal significato ed ha annullato lo stretto rapporto che aveva con la tecnica: nel nostro tempo il materiale-pietra ha assunto un valore aggiunto che la forma esalta. Anche per il *bianco* i significati tradizionali tendono a dissolversi ed esso non solo si rende indipendente dalle ragioni tecnico-funzionali ma si offre anche come materiale puro che attende di ricevere significato e forme nuove: *il bianco è più bianco di una volta*, potremmo dire parafrasando Nietzsche, perché viene caricato di senso volontariamente e in modo più esplicito.



| 05



06 | Casa Balint di Fran Silvestre Arquitectos a Valencia, foto Diego Opazo
Balint house by Fran Silvestre Arquitectos in Valencia, photo Diego Opazo

07 | Filarmonica di Barozzi Veiga a Stettino, foto Simon Menges
Szczecin Philharmonic Hall by Barozzi Veiga, photo Simon Menges

Oggi l'architettura del bianco non è più riferibile a condizioni locali ma si è estesa alla nuova condizione *globale* in cui si annullano le appartenenze geografiche e le tradizioni culturali; peraltro si moltiplicano i materiali che ne vestono l'ideale, in virtù delle moderne tecniche di produzione e delle tecnologie, alcune delle quali implementano le tecnologie tradizionali ed altre

applicano le nuove sperimentazioni: come si è detto, i materiali lapidei naturali adesso si offrono con nuovi formati e spessori molto ridotti; gli intonaci fotocatalitici con proprietà autopulenti riducono l'inquinamento atmosferico; le vernici, con l'ausilio delle nanotecnologie, forniscono prestazioni isolanti; i pannelli ceramici realizzano facciate ventilate continue senza necessità di manutenzione; gli elementi in cemento fibro-rinforzato si modellano in dimensioni e forme complesse; l'alluminio, l'acciaio e altri metalli sono utilizzati come frangisole; le tecnologie dei calcestruzzi consentono di realizzare strutture portanti dall'elevata qualità estetica, ripristinando l'originale proprietà della modellabilità del materiale. E ancora, alle elevate qualità performanti dei materiali si associano le potenzialità della progettazione





parametrica che consente la produzione di elementi particolari per specifiche funzioni e forme, che asseconda le sperimentazioni formali e rispetta le richieste prestazionali della moderna costruzione. L'innovazione tecnologica cerca di ottenere un *bianco sempre più bianco*, con superfici il più possibile continue, con un bianco duraturo che minimizza costi di manutenzione.

Le recenti architetture bianche dimostrano come forma e materia continuino a supportarsi a vicenda e che i valori ideali cercano riscontro nella necessaria e attuale corporeità della costruzione. Il rischio oggi è il decorativismo del bianco: pensare che possa essere usato per effetti meramente estetici, travisando (o

and liquid, ready to dissolve in light and air. Sheets and fabrics, translucent membranes and polycarbonates (which come to architecture through a *technology transfer*, as in the case of polytetrafluoroethylene, better known by the brand name *Teflon*) define new poetics that no longer root the building to the earth (and to history) but project towards new concepts of duration and dissolution forms.

Conclusions

In *Human*, All Too Human Nietzsche writes that «the stone is more stone than before», suggesting that the material has become untied from meaning, canceling the close relationship it had with the technique: in our time the stone-material has assumed an added value that the form exalts. For white color, traditional meanings also tend to dissolve and it not only becomes

independent of technical-functional reasons but also offers itself as pure material that awaits to receive meaning and new forms: *white is more white than before*, we could say paraphrasing Nietzsche, because it is loaded with meaning voluntarily and more explicitly.

Today the white architecture is no longer referable to local conditions but has been extended to the new *global* condition in which geographic affiliations and cultural traditions are canceled out; moreover, the materials that symbolize the ideal are multiplied, thanks to modern production techniques and technologies, some of which implement traditional technologies and others apply the new experiments: as already mentioned, natural stone materials now offer new sizes and very reduced thicknesses; photocatalytic plasters with self-clean-

senza tener conto) le sue ragioni architettoniche, che sono tecniche, linguistiche e spaziali.

NOTE

¹ Su questi concetti Cfr. Garate Rojas, I. (1993), *Artes de la cal*, Editorial Munilla-Lería, Madrid; Rudofsky, B. (2010), *Architettura senza architetti. Guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Rizzoli, Milano.

² Cfr. Winckelmann, J. J. (1983), *Il bello nell'arte*, a c. di F. Pfister, Einaudi Editore, Torino.

³ Su questi concetti cfr. il capitolo "Policromia" in Collins, P. (1998), *Los ideales de la arquitectura moderna. Su evolución (1750-1950)*, Gustavo Gili, Barcelona. pp. 111-116.

⁴ «La materia - scrive Theo van Doesburg - viene denaturalizzata dalla tecnica moderna. Lo stile della nostra epoca si fonda su questa denaturalizzazione». van Doesburg, T. (1927), *Concetti fondamentali della nuova arte figurativa. Saggio di una nuova estetica*. Sul tema del colore/non-colore nell'architettura moderna cfr. Cramer, N. (1999), "It was never white, anyway", *Architecture*, n. 88, pp. 88-91; Serra, J. (2010) "Il mito del colore bianco nel Movimento Moderno", *Disegnare: idee immagini*, n. 41, pp. 66-77; Batchelor, D. (2001), *Cromofobia*, Paravia Bruno Mondadori Editori, Milano.

⁵ Le Corbusier (1925), *L'Art Décoratif d'Aujourd'hui*, Éditions Crès, Paris, trad. it. Dardi, D. (2015) *L'arte decorativa*, Quodlibet, Macerata, p. 96.

⁶ Campo Baeza, A. (2012), *L'idea costruita*, LetteraVentidue, Siracusa, p. 24.

⁷ Tratto dal discorso di Richard Meier per l'accettazione del Pritzker Prize del 1984. Disponibile su https://www.pritzkerprize.com/sites/default/files/inline-files/Richard_Meier_Acceptance_Speech_1984.pdf (6 Aprile 2018).

⁸ Kazuyo Sejima Explains the Influence of Light and the Color White in SANAA's Work, disponibile su <https://www.archdaily.com/795815/kazuyo-sejima-explains-the-influence-of-light-and-the-color-white-in-sanaas-work> (accesso 6 Aprile 2018).

ing properties reduce atmospheric pollution; the paints, with the help of nanotechnologies, provide insulating performance; the ceramic panels create continuous ventilated facades without the need for maintenance; the fiber-reinforced concrete elements are shaped in complex shapes and sizes; aluminum, steel and other metals are used as sunbreakers; concrete technologies make it possible to create load-bearing structures with high aesthetic quality, restoring the original properties of the material's modellability. And again, the high performance qualities of the materials combine the potential of parametric design that allows the production of particular elements for specific functions and shapes, which supports formal experimentation and respects the performance requirements of modern construction. The technological innovation tries to ob-

tain an *increasingly whiter white*, with surfaces as continuous as possible, with a long lasting white that minimizes maintenance costs.

The recent white architecture demonstrates how form and matter continue to support each other and that the ideal values seek confirmation in the necessary and current corporeity of the construction. Today the risk is the decorativism of white: thinking that it can be used for purely aesthetic effects, misrepresenting (or without considering) its architectural reasons, which are technical, linguistic and spatial.

⁹ I dati sperimentali forniti dall'azienda confermano che nel periodo estivo il calcestruzzo drenante bianco fotocatalitico raggiunge temperature fino a 30° C più basse rispetto a quelle del comune asfalto. La speciale tecnologia, sfruttando il cosiddetto *effetto albedo*, cioè la capacità di non surriscaldarsi per irraggiamento solare, riduce i fenomeni termici e l'*isola di calore* che colpisce le aree fortemente urbanizzate.

¹⁰ Le fibre di vetro alcali resistenti conferiscono una grande resistenza a trazione mentre quelle polimeriche garantiscono l'elevata flessibilità e la resistenza alla fessurazione.

¹¹ Con l'uso di nanotecnologie – importate dall'industria aerospaziale giapponese – si producono rivestimenti ceramici liquidi che raggiungono, nello spessore di circa mezzo millimetro, l'isolamento termico di 10 centimetri di lana di roccia.

¹² Commercializzati da varie aziende e con diverse denominazioni, i *solid surface* sono composti di resine e triidrato di alluminio (una polvere bianca) che danno luogo a un materiale non poroso – quindi antibatterico, resistente allo sporco e facilmente lavabile – che può essere modellato e plasmato nelle forme più diverse (fresato, inciso, etc.), e lavorato come legno.

REFERENCES

- Agnello, M. (2013), *Semiotica dei colori*, Carrocci editore, Roma.
- Chen, J. e Sun Poon, C. (2009), "Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications", *Building and Environment*, n. 44, pp. 1899–1906.
- De Marco, P. (2018), "Pensare in bianco. Progettare in bianco", in Rugino, S. (a cura di), *Pensare Osservare Progettare. Processi mentali e reali nel progetto di architettura liquida*, Aracne Editrice, Canterano, pp. 134-141.
- De Marco, P. (2018), "Il colore delle idee", in Margagliotta, A. (a cura di), *La bellezza eficaz*, Libria, Melfi, pp. 170-177.
- Hara, K. (2010), *White*, Lars Müller Publishers, Zurich, CH.
- Herries, H. (1998), "Materia, significato, senso in architettura", *Domus*, n. 801, pp. 4-8.
- Kottas, D. (2016), *Materiales para la construcción: metal, cristal, madera, plástico, cemento*, Plutón ediciones, Barbera del Vallés.
- Terneaux, E. (2011), *Material world 3: innovative materials for architecture and design*, Birkhäuser, Frame, Amsterdam, NL.
- Pastoureau, M. (2005), *Le petit livre des couleurs*, Éditions du Panama, Paris, FR.
- Margagliotta, A. (2003), in AA. VV., *La grande dimensione: l'involucro e la costruzione dello spazio architettonico*, Luciano Editore, Naples.
- Rüegg, A. (1997), *Le Corbusier. Polychromie Architecturale*, Birkhäuser, Basel, CH.
- Zammerini, M. (2014), *Il mito del bianco in Architettura*, Quodlibet, Macerata.
- Wittgenstein, L. (2000), *Osservazioni sui colori*, Einaudi, Torino.

NOTES

¹ About these concepts, see Garate Rojas, I. (1993), *Artes de la cal*, Editorial Munilla-Lería, Madrid; Rudofsky, B. (2010), *Architettura senza architetti. Guida alle costruzioni spontanee di tutto il mondo*, Rizzoli, Milano.

² Winckelmann, J. J. (1983), *Il bello nell'arte*, a c. di F. Pfister, Einaudi Editore, Torino.

³ About these concepts, see the chapter "Policromia" in Collins, P. (1998), *Los ideales de la arquitectura moderna. Su evolución (1750-1950)*, Gustavo Gili, Barcelona, pp. 111-116.

⁴ «La materia - scrive Theo van Doesburg - viene denaturalizzata dalla tecnica moderna. Lo stile della nostra epoca si fonda su questa denaturalizzazione». van Doesburg, T. (1927), *Concetti fondamentali della nuova arte figurativa. Saggio di una nuova estetica*. On the theme of color / non-color in

modern architecture, see Cramer, N. (1999), "It was never white, anyway", *Architecture*, n. 88, pp. 88–91; Serra, J. (2010) "Il mito del colore bianco nel Movimento Moderno", *Disegnare: idee immagini*, n. 41, pp. 66-77; Batchelor, D. (2001), *Cromofobia*, Paravia Bruno Mondadori Editori, Milano.

⁵ Translated by the author from Le Corbusier (1925), *L'Art Décoratif d'Aujourd'hui*, Éditions Crès, Paris, trad. it. Dardi, D. (2015) *L'arte decorativa*, Quodlibet, Macerata, p. 96.

⁶ Translated by the author from Campo Baeza, A. (2012), *L'idea costruita*, LetteraVentidue, Siracusa, p. 24.

⁷ Extracted from the speech by Richard Meier for the acceptance of the 1984 Pritzker Prize. Available on https://www.pritzkerprize.com/sites/default/files/inline-files/Richard_Meier_Acceptance_Speech_1984.pdf (6 April 2018).

⁸ Kazuyo Sejima Explains the Influence of Light and the Color White in SAN-AA's Work, available at: <https://www.archdaily.com/795815/kazuyo-sejima-explains-the-influence-of-light-and-the-color-white-in-sanaas-work> (accessed 6 April 2018).

⁹ The experimental data provided by the company confirm that during summer the photocatalytic draining concrete reaches temperatures up to 30° C lower than those of the common asphalt. The special technology, taking advantage of the so-called *albedo effect*, ie the ability not to overheat by solar radiation, reduces thermal phenomena and the *heat island* that affects heavily urbanized areas.

¹⁰ The alkali resistant glass fibers give a great tensile strength while the polymeric fibers guarantee high flexibility and resistance to cracking.

¹¹ Thanks to the use of nanotechnolo-

gies - imported from the Japanese aerospace industry - liquid ceramic coatings reach, in the thickness of about half a millimeter, the thermal insulation of 10 cm of rock wool.

¹² Marketed by various companies and with different commercial names, *solid surfaces* are composed of resins and aluminum trihydrate (a white powder) that give rise to a non-porous material – therefore antibacterial, resistant to dirt and easily washable – that can be molded into different shapes (milled, engraved, etc.), and worked like wood.

Francesca Giglio,

Dipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

francesca.giglio@unirc.it

Abstract. Il tema della Temporalità, ha fissato negli ultimi decenni riferimenti di grande rilievo nel dibattito scientifico, che ha visto nei materiali non convenzionali – naturali, riusati, riciclati – un campo di sperimentazione tutt'ora aperto nel progetto Low Tech. La risposta abitativa ad eventi calamitosi diventa, in particolare, occasione d'innovazione per la progettazione Low Tech, che trova le sue radici in tre principali ambiti: socio-economico, disciplinare, progettuale. Misura-Tempo-Luogo, tre questioni cardine nella evoluzione delle dinamiche disciplinari del progetto, diventano mezzo attraverso cui analizzare casi studio, espressione di un diversificato concetto di materiali non convenzionali, più esteso e meno delineato rispetto al passato, in diverse condizioni, tra cui quelle emergenziali.

Parole chiave: Modulo materiale; Temporalità; Identità; Materiali non convenzionali; Low Tech.

«Un edificio diventa permanente o temporaneo non a seconda del materiale con cui è costruito, ma a seconda di quanto lo amano le persone» (Shigeru Ban, 2011).

Una corrente di pensiero, quella del Low Tech, ampia nella sua terminologia ma che, specificatamente alla risposta abitativa ad eventi calamitosi, ha favorito in particolar modo una sperimentazione progettuale che è diventata occasione d'innovazione. Le sue radici si riconoscono nella evoluzione definitoria delle tecnologie semplici, sviluppate in tre principali ambiti: socio-economico, disciplinare, progettuale.

L'ambito socio-economico si identifica nello *Swadeshi*, ovvero la concezione di sviluppo Gandhiana sulle tecnologie appropriate, che propone tecnologie a piccola scala, sistemi cooperativi e produzioni di beni e servizi di cui gli uomini abbiano realmente bisogno. Interpretate e riproposte dall'economista inglese E.F. Schumacher, le tecnologie appropriate altro non sono che la modalità per ritrovare «una nuova etica, una nuova saggezza e una

stabilità economica. Questa nuova tendenza può riassumersi nel bisogno di metodi ed attrezzature che rispondono a tre requisiti essenziali: che siano abbastanza economiche da essere accessibili praticamente ad ognuno; adatte ad essere applicate su piccola scala e compatibili con il bisogno di creatività dell'uomo» (Schumacher, 1980).

Le stesse tecnologie trovano campo di sviluppo nell'ambito disciplinare della Tecnologia dell'Architettura, con contributi di settore importanti nel dibattito scientifico sul tema. Lo dimostra la ricerca portata avanti da Virginia Gangemi sulle 'tecnologie appropriate', dove l'ambito, epurato dai principi dell'autocostruzione, è più indirizzato alla cultura architettonica occidentale, orientata al servizio dell'abitare oltre che del costruire (Gangemi, 1991). A seguire, la teoria delle 'tecnologie facilitate' di Gianni Scudo, definisce lo studio e sperimentazione di moduli e manufatti realizzati con tecniche e materiali alternativi nei Paesi in via di Sviluppo, dove i materiali performanti sono difficilmente reperibili. Partendo dagli aspetti teorici analizzati da Gianni Scudo e integrati da Alessandro Rogora, i materiali alternativi – naturali, riusati, riciclati – iniziano a trovare riscontro, nella più recente letteratura di settore, come «materiali estranei alla filiera edilizia tradizionale. Possono quindi considerarsi tali i materiali lontani dalla nostra specifica cultura del costruire ma che sono invece usuali in contesti culturali diversi dal nostro» (Rogora, Lo Bartolo, 2013).

Se da un lato gli ambiti disciplinare e socio-economico hanno agevolato la perimetrazione terminologica e teorica del Low Tech, un elemento fondante è il campo della ricerca progettuale. Tra i primi e principali rappresentanti, Shigeru Ban – la cui opera è stata definita da Mario Botta quale «intelligenza della

Low Tech and unconventional materials. Measure, Time, Place

Abstract. The theme of the Temporality, has fixed in recent decades references of great relief in the scientific debate, which has seen in unconventional materials – natural, reused, recycled – a field of experimentation still open in the Low Tech project. The housing response to disastrous events becomes, in particular, an opportunity of innovation for Low Tech design, which finds its roots in three main areas: socio-economic, disciplinary, design. Measure-Time-Place, three key issues in the evolution of the project's disciplinary dynamics, become mean to analyze case studies, expression of a diversified concept of unconventional materials, wider and less delineated in comparison to the past, under different conditions, including emergency ones.

Keywords: Material module; Temporality; Identity; Unconventional materials; Low Tech.

«A building becomes permanent or temporary, not depending on the material with which it is built, but according to how much people love it» (Shigeru Ban, 2011).

A current of thought, that of Low Tech, broad in its terminology but that, specifically to the housing answer to calamitous events, has favored in particular a design experimentation that has become an opportunity for innovation. Its roots are recognized in the definitive evolution of simple technologies, developed in three main areas: socio-economic, disciplinary, design. The socio-economic field is identified in *Swadeshi*, or the Gandhiana development's conception on the appropriate technologies, which proposes small-scale technologies, cooperative systems and production of goods and services that men really need. Inter-

preted and proposed by the english economist E.F. Schumacher, the appropriate technologies are the way to find «a new ethics, a new wisdom and economic stability. This new trend can be summarized in the need for methods and equipment that meet three essential requirements: that are cheap enough to be practically accessible to everyone; proper to be applied on a small scale and compatible with the need for human creativity» (Schumacher, 1980).

The same technologies find a field of development within disciplinary field of Technology of Architecture, with important sector contributions in the scientific debate on the topic. This is demonstrated by the research carried out by Virginia Gangemi on *appropriate technologies*, where the scope, purged by the principles of self-construction, is more addressed

miseria”¹ – rappresenta un pioniere nelle sperimentazioni iniziate in Ruanda nel 1994. A causa della guerra civile che ha determinato due milioni di senza tetto, l’architetto giapponese venne incaricato per studiare un prototipo di ricovero temporaneo dall’Alto commissariato per i rifugiati dell’ONU (UNHCR). Questa “sperimentazione etica” – così come spesso definita l’opera di Shigeru Ban – ha trovato in questi anni, un fertile campo di applicazione nelle situazioni di emergenza conseguenti a calamità naturali e conflitti. Fautore del riutilizzo di materiali poveri non convenzionali, come il cartone, Ban dimostra, con le sue architetture di emergenza, come la necessità di Temporeità possa diventare motore di innovazione e di sperimentazione di materiali che acquistano nuovi ruoli e nuove identità costruttive attraverso il progetto Low Tech. Il forte senso per il Luogo, associato alla ricerca di materiali naturali e alla ricerca formale, è un aspetto che accomuna diversi altri progettisti contemporanei che contribuiscono ad alimentare il dibattito sul tema come Cazù Zegers, il cui operato ha come obiettivo la proposta di un linguaggio architettonico che possa rappresentare il Cile e il Sud America. Un’architettura Low Tech, quindi, ma ad alto impatto espressivo, attraverso cui raccontare il suo territorio, «considerando la progettazione come l’espressione di un rapporto tra architettura e poesia». Ancora, all’EXPO 2000 di Hannover, il cui tema era “Humankind, Nature and Technology”, il padiglione ZERI in bambù colombiano e quello giapponese in tubi di cartone, descrivevano rispettivamente, la sostenibilità delle costruzioni con l’uso di materiali della ‘prima natura’ e la sostenibilità con il riciclo dei rifiuti della ‘seconda’. Una nuova epoca in cui, all’uso artigianale dei materiali tradizionali si sostituiscono strategie di riuso e riciclo, indagini specialistiche per le prestazioni

to Western architectural culture, oriented to the service of *living* as well as *building* (Gangemi, 1991). Afterwards, Gianni Scudo’s theory of *facilitated technologies* defines the study and experimentation of modules and artefacts made with techniques and alternative materials in Developing Countries, where performing materials are hardly available. Starting from the theoretical aspects analyzed by Gianni Scudo and integrated by Alessandro Rogora, alternative materials – natural, reused, recycled – begin to be reflected, in the most recent sector literature, as «materials unrelated to the traditional building sector. These materials can therefore be considered as far from our specific culture of building but which are instead usual in cultural contexts different from ours» (Rogora, Lo Bartolo, 2013). If from a side the disciplinary and

socio-economic fields have facilitated the terminology and theoretical perimeters of Low Tech, a fundamental element is the field of design research. Among the first and main representatives, Shigeru Ban – whose work was defined by Mario Botta as «intelligence of misery»¹ – represents a pioneer in the experiments started in Rwanda in 1994. Because of the civil war that resulted in two million homeless, the Japanese architect was entrusted to study a temporary refuge prototype from the UN High Commissioner for Refugees (UNHCR). This *ethical experimentation* – as well as often defined the work of Shigeru Ban – has found in these years, a fertile field of application in emergency situations resulting from natural disasters and conflicts. As an advocate of the reuse of unconventional poor materials, such as cardboard, Ban demonstrates, with its emergency

dei materiali naturali alternativi, sperimentazioni costruttive di materiali/componenti provenienti da altri settori produttivi.

La Misura, il Tempo, il Luogo

con una collocazione centrale tra i termini – perché rappresenta un elemento cardine del più ampio tema su Materiali e Temporeità, complementare alla storicizzazione del rapporto tra Materiali e Durabilità. Temporeità e Durabilità sono aspetti, quindi, speculari del denominatore comune Tempo, che acquisisce un ulteriore significato, quale costante interpretativa dell’uso dei materiali nel progetto e della questione tecnica che ne deriva, a prescindere dalla loro natura fisica.

Un argomento storicamente trattato nei suoi aspetti *teorici e filosofici*. Il tracciato, non sempre lineare tra permanenza e temporeità affrontato da Aldo Rossi negli anni ’70 con una propria “teoria della permanenza” e successivamente da Vittorio Gregotti, è arricchito anche dai contributi di Christian Norberg Schulz che riprendendo le teorie di Heidegger, affronta il rapporto tra uomo e luogo nel quale si trova ad intervenire (Lauria, 2009).

Più recentemente, in ambito disciplinare, temi affrontati da Roberto Bologna e Massimo Lauria, seppur in maniera duale, rispetto alle *questioni tecniche* del progetto: la “disintegrità” come requisito base della reversibilità del costruito (Bologna, 1998 e Bologna, Terpolilli, 2005) e la variabile tempo interpretata come matrice di sequenze di eventi e generatore di processi di modificazione nel progetto (Lauria, 2009).

Una visione dicotomica così come affrontata dagli stessi autori, ma che si sta sempre più assottigliando in relazione al sommarsi

Tempo. Tra le tre accezioni terminologiche, si inizia volutamente dal Tempo – non a caso

con una collocazione centrale tra i termini – perché rappresenta un elemento cardine del più ampio tema su Materiali e Temporeità, complementare alla storicizzazione del rapporto tra Materiali e Durabilità. Temporeità e Durabilità sono aspetti, quindi, speculari del denominatore comune Tempo, che acquisisce un ulteriore significato, quale costante interpretativa dell’uso dei materiali nel progetto e della questione tecnica che ne deriva, a prescindere dalla loro natura fisica.

Un argomento storicamente trattato nei suoi aspetti *teorici e filosofici*. Il tracciato, non sempre lineare tra permanenza e temporeità affrontato da Aldo Rossi negli anni ’70 con una propria “teoria della permanenza” e successivamente da Vittorio Gregotti, è arricchito anche dai contributi di Christian Norberg Schulz che riprendendo le teorie di Heidegger, affronta il rapporto tra uomo e luogo nel quale si trova ad intervenire (Lauria, 2009).

Più recentemente, in ambito disciplinare, temi affrontati da Roberto Bologna e Massimo Lauria, seppur in maniera duale, rispetto alle *questioni tecniche* del progetto: la “disintegrità” come requisito base della reversibilità del costruito (Bologna, 1998 e Bologna, Terpolilli, 2005) e la variabile tempo interpretata come matrice di sequenze di eventi e generatore di processi di modificazione nel progetto (Lauria, 2009).

Una visione dicotomica così come affrontata dagli stessi autori, ma che si sta sempre più assottigliando in relazione al sommarsi

architectures, how the need for Temporeity can become the engine of innovation and experimentation of materials that acquire new roles and new constructive identities through the Low Tech project. The strong sense for the Place, associated with the research of natural materials and formal research, is a feature that unites many other contemporary architects who contribute to the debate on the topic as Cazù Zegers, whose work has as its objective the proposal of an architectural language that can represent Chile and South America. A Low Tech architecture, therefore, but with a high expressive impact, through which to tell its territory, «considering design as the expression of a relationship between architecture and poetry».

Furthermore, at the EXPO 2000 in Hanover, whose theme was “Humankind, Nature and Technology”, the

ZERI pavilion in Colombian bamboo and the Japanese one in cardboard tubes, respectively, described the sustainability of the buildings with the use of ‘first nature’ and sustainability with the waste recycling of the ‘second one’. A new era in which the use of traditional materials replaces reuse and recycling strategies, advanced testing for the performance of alternative natural materials, and constructive experiments of materials / components from other productive sectors.

The Measure, the Time, the Place
Time. Among the three terminological meanings, it has been being begun deliberately from Time – not by chance with a central location between the terms – because it represents a cornerstone of the broader theme on Materials and Temporeity, complementary to the historicization of the rela-

dei principi di eco-compatibilità, contestualizzazione, innovazione tecnologica.

Il background culturale sul tema della Temporaneità, ha fissato nel tempo riferimenti di rilievo nel dibattito scientifico degli ultimi decenni; «un tema sempre esistito nella storia delle costruzioni insieme con quello della permanenza e in origine addirittura anticipato. Le principali forze trainanti dell'evoluzione delle costruzioni temporanee sono stati la necessità di realizzare strutture per ospitare attività temporanee e la disponibilità di materiali adeguati [...] A partire dai primi del '900 il concetto di temporaneità delle costruzioni si è ulteriormente esteso ed ampliato in ragione delle istanze culturali emergenti che hanno fortemente influenzato l'interpretazione del rapporto tra funzione, luogo, tempo e costruzione architettonica» (Bologna, 2012, Kronenburg, 2002, Kronenburg, 2008).

È su questo ultimo concetto che si innestano La *Misura* e il *Luogo*, quali strumenti di lettura e analisi di una delle molteplici interpretazioni e derive del più ampio tema della Temporaneità, in cui il verificarsi di condizioni emergenziali ha indotto a sviluppare nuove traiettorie di ricerca nell'uso di materiali non convenzionali e manufatti effimeri.

Misura – relativamente ad un differente modo di interpretare il concetto di modulo materiale (Wachsmann, 1960). Le nuove modularità dei materiali da costruzione semplici, reperibili sul territorio, molto spesso ri-usati e/o naturali, hanno un ruolo determinante nei caratteri identitari del progetto, in relazione a proporzioni, misure, spessori. Balle di paglia, pallet, cassette per la frutta, culmi del bambù, rappresentano, alcuni, tra i molti esempi di materiali alternativi, che si identificano come nuove modularità per il progetto.

relationship between Materials and Durability. Temporariness and Durability are therefore mirror-like aspects of the common denominator Time, which acquires a further meaning, as a constant interpretation of the use of materials in the project and of the technical matter that derives, regardless of their physical nature. A matter historically treated in its *theoretical and philosophical* aspects. The track, not always linear between permanence and temporariness faced by Aldo Rossi in the '70s with his own «theory of permanence» and subsequently by Vittorio Gregotti, is also enriched by the contributions of Christian Norberg Schulz who, taking up Heidegger's theories, tackles the relationship between man and place in which he intervenes (Lauria, 2009). More recently, in the disciplinary field, these were the topics addressed by Roberto Bologna and Massimo Lauria,

albeit in a dual manner, respect to the *technical issues* of the project: "disintegrability" as a basic requirement of the reversibility of the built (Bologna, 1998 and Bologna, Terpolilli, 2005) and the variable time interpreted as a matrix of sequences of events and generator of processes of modification in the project (Lauria, 2009).

A dichotomous vision as well as faced by the authors, but which is increasingly thinning in relation to the addition of the eco-compatibility, contextualization, technological innovation principles.

The cultural background on the theme of Temporariness has fixed in the time references of relief in the scientific debate of the last decades. «A theme that has always existed in the history of buildings together with that of permanence and in origin straight anticipated. The main driving forces behind

Luogo – ovvero i mutamenti in atto nel rapporto tra uso di materiali non convenzionali e riconoscibilità, inteso sia come Genius Loci (Norberg-Schulz, 1976) in relazione al progetto sia rispetto alla estensione del concetto di materiale *locale*. Se una volta i materiali locali rappresentavano i materiali che potevano essere estratti o lavorati in un certo luogo, oggi questo concetto si dilata e si allarga ad altri materiali non più d'importazione ma con produzioni locali ad esempio Bambù, Kenaf, Canapa o materiali provenienti da altre filiere produttive.

Cambiano le dinamiche evolutive che sintetizzano il progetto, attraverso nuove occasioni di sperimentazione materica, costruttiva, interdisciplinare e, *Misura-Tempo-Luogo*, diventano tre modalità di lettura critica dell'architettura Low-cost e Low Tech, che «risponde a una più attenta comprensione dell'ecologia umana e diventa simbolo di un profondo rinnovamento tecnico ed estetico che riguarda ogni aspetto della vita contemporanea» (Rocca, 2010).

Alessandro Rocca, sulla base di tale considerazione, descrive nel suo testo, *Low cost-Low Tech*, venti progetti paradigmatici dell'adozione di strategie progettuali e costruttive in cui la scarsa disponibilità economica diventa occasione di energia creativa e di ricerca progettuale. Ripercorrendo una metodologia analoga, si propone la lettura critica di alcuni aspetti caratterizzanti casi studio di architettura Low Tech esplicitati in tecnologie semplici e materiali (tubi di cartone, balle di paglia, cassette della frutta) scelti rispetto ad altri, per il carattere rappresentativo delle loro applicazioni progettuali che meglio raccontano le relazioni e le interpolazioni tra Misura, Tempo, Luogo.

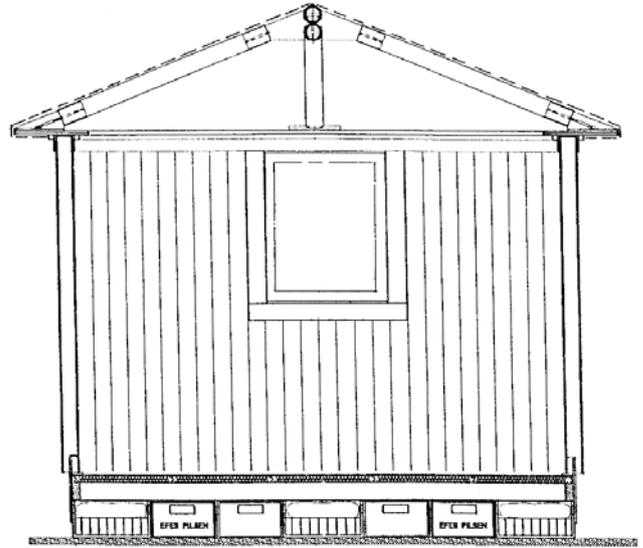
the evolution of temporary constructions were the need to build structures to host temporary activities and the availability of adequate materials [...] Starting from the early '900, the concept of temporariness of constructions was further extended and expanded in reason for the emerging cultural issues that strongly influenced the interpretation of the relationship between function, place, time and architectural construction» (Bologna, 2012, Kronenburg, 2002, Kronenburg, 2008). It's on this last concept that the *Measure* and the *Place* are grafted, as tools for reading and analyzing one of the multiple interpretations and drifts of the broader theme of Temporariness, in which, the occurrence of emergency conditions has led to the development of new trajectories of research into the use of unconventional materials and ephemeral artefacts.

Measure – in relation to a different way of interpreting the concept of Material module (Wachsmann, 1960). The new modularity of simple building materials, locally available, very often re-used and / or natural, play a decisive role in the project's identity, in relation to proportions, dimensions and thicknesses. Straw bales, pallets, fruit boxes, bamboo culms, represent some of the many examples of alternative materials as new modularities for the project.

Place – or the changes taking place in the relationship between the use of unconventional materials and recognizability, understood both as Genius Loci (Norberg-Schulz, 1976) in relation to the project and to the extension of the concept of *local* material. If once the local materials represented the materials that could be extracted or worked in a certain place, today this concept expands to other materials no



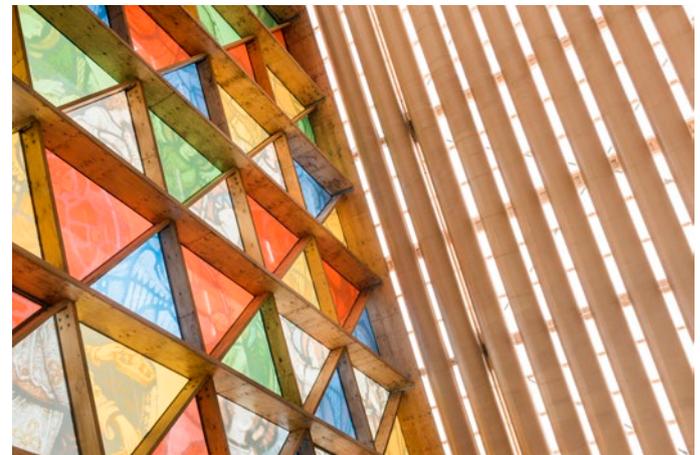
01 | a) Paper Log House, Shigeru Ban Architects - Kobe. Photo Credits by Takanobu Sakuma;
 b) Paper Log House, Shigeru Ban Architects - Turchia, sezione scala 1:50. Credits DWG: Shigeru Ban Architects
 a) Paper Log House, Shigeru Ban Architects - Kobe. Photo Credits by Takanobu Sakuma;
 b) Paper Log House, Shigeru Ban Architects - Turkey, section 1:50. Credits DWG: Shigeru Ban Architects



L'intelligenza della materia Con una discreta storicizzazione di circa vent'anni, carta e cartone riciclati rappresentano il primo esempio di materiali che oltre ad avere un secondo ciclo di vita ed essere a basso costo, hanno la potenzialità di diventare nuovi materiali locali. Il modulo materiale del tubo di cartone – *Misura* – ha un diametro tra 15 e 120 cm e lunghezza tra 300 e 800 cm, ottenuto avvolgendo la carta riciclata attorno ad un tubo di alluminio fino a farla seccare, per trattarla infine con la cera o con pellicole impermeabili. Una *verità materiale* che caratterizza le opere di Shigeru Ban in tutto il mondo e in particolare nei *Disaster Relief Projects*, ovvero, quei progetti che contribuiscono a portare conforto dopo un disastro – *Luogo*. Partendo dalla più che nota Paper Log House, modulo abitativo temporaneo costruito dopo il terremoto di Kobe nel 1995, caratterizzato oltre che dai tubi di cartone (Fig. 1), anche dall'uso di casse di birra riempite con sacchi di sabbia

per l'attacco a terra delle abitazioni e realizzato con componenti facilmente smontabili e materiali riciclabili – *Tempo*. Fino ad arrivare alla Cardboard Cathedral Christchurch in Nuova Zelanda, Cattedrale temporanea a forma triangolare (Fig. 2), alta 25 m. la cui struttura è costituita da 98 tubi in cartone compresso di 60 cm di spessore, tutti della stessa dimensione – *Misura* – ed 8 container in acciaio, reperibili in loco, che rinforzano le pareti. La Cattedrale, costruita a seguito del disastroso terremoto che ha colpito la città di Christchurch nel 2011, è stata realizzata con una previsione di durata di 50 anni, che mette in discussione il concetto di Temporalità, pur mantenendo un alto valore etico e simbolico dell'opera, oltre ad una grande affidabilità in termini di risposta sismica.

Valore simbolico e *Tempo* sono due aspetti che hanno sempre riguardato la storia dell'uomo, identificandosi con configurazioni materiche massive, solide. L'utilizzo di nuovi materiali non



02 | Christchurch Cardboard Cathedral, Shigeru Ban Architects – Nuova Zelanda. Photo Credits by Stephen Goodenough
 Christchurch Cardboard Cathedral, Shigeru Ban Architects - New Zealand. Photo Credits by Stephen Goodenough

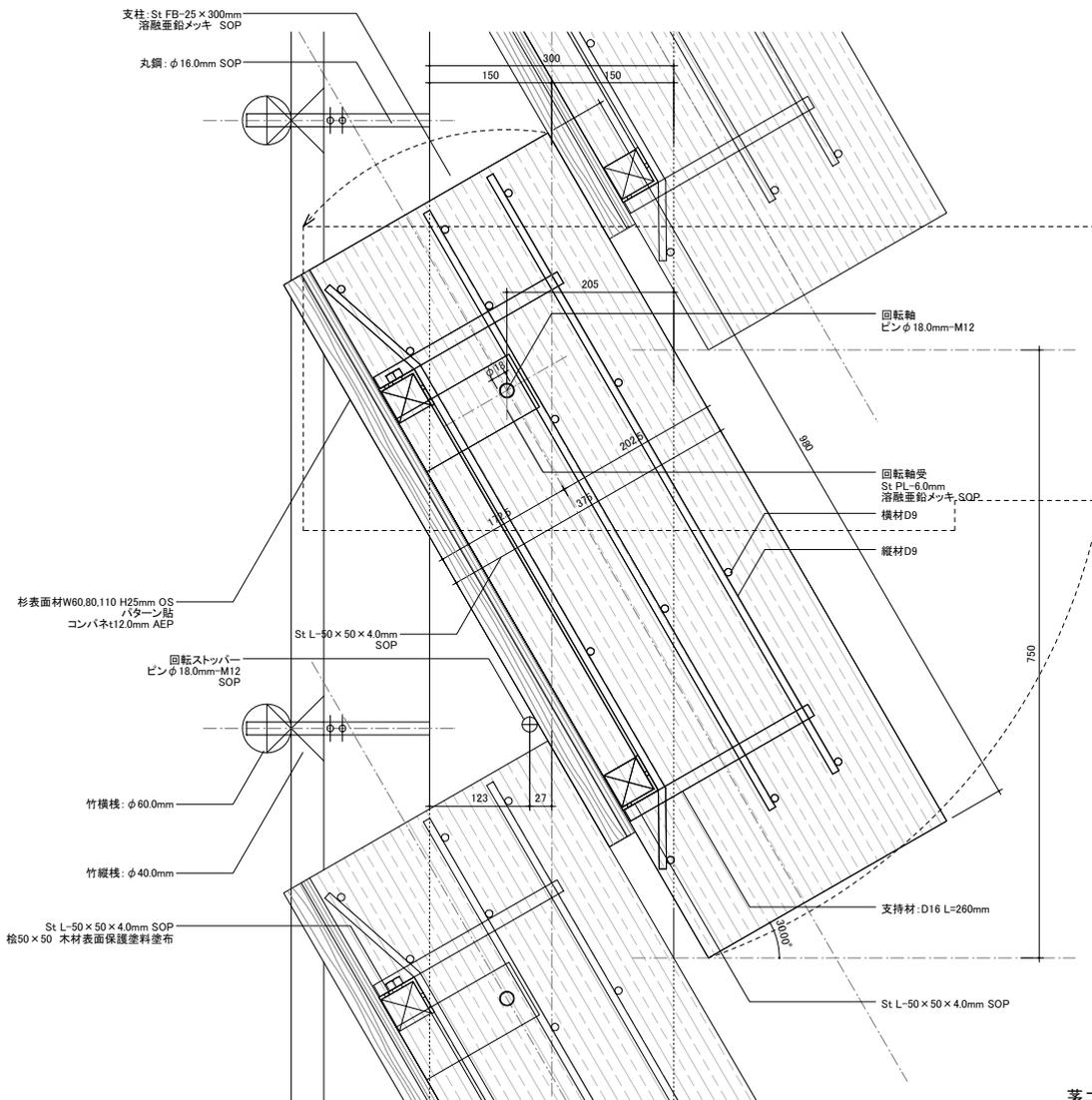
03a |



03 | a) Community Market, Kengo Kuma & Associates - Yukusuara. Credits ©2010 Takumi Ota Photography; b) Community Market, Kengo Kuma & Associates - Yukusuara. Dettaglio della facciata in paglia scala 1:10. Credits Drawings Kengo Kuma & Associates
 a) Community Market, Kengo Kuma & Associates - Yukusuara. Credits ©2010 Takumi Ota Photography; b) Community Market, Kengo Kuma & Associates - Yukusuara. Detail of the thatch façade scale 1:10. Credits Drawings Kengo Kuma & Associates

convenzionali ha modificato anche questo rapporto, estendendo il concetto anche alle architetture temporanee. Il Community Market di Kengo Kuma a Yukusuara, in Giappone, ne è un esempio, attraverso una facciata scandita modularmente da balle di paglia montate per file orizzontali la cui dimensione – *Misura* – determina l’apertura delle finestre (Fig. 3). Le balle di paglia sono disposte su perni di legno per ruotare e favorire in tal modo la ventilazione. L’edificio ospita un mercato di prodotti locali e un albergo in un involucro scatolare realizzato con materiali naturali, scelti per il valore simbolico rispetto alla storia e al Luogo. Il riferimento principale alla storia del luogo consiste nell’utilizzo della paglia come rivestimento per la facciata principale, in quanto materiale largamente utilizzato nell’ambito dei “Chad

03b |



茅ユニット断面詳細図 S=1:5(A3)



Do”, piccole strutture di servizio per i viaggiatori, un tempo disposte lungo il sentiero che portava in paese, e che caratterizzavano il territorio. Il Luogo è in tal modo raccontato, attraverso l’uso del legno, per gli alti pilastri a tutta altezza con struttura ad albero realizzati con ceppi di cedro, che rievocano i boschi che circondano Yukusuara nello spazio principale del mercato.

Non è sicuramente un caso che i progetti rappresentativi di tale pensiero, fino a questo momento, siano di architetti giapponesi. Un pensiero sull’architettura giapponese, di Mallet-Stevens all’inizio del secolo scorso, evidenzia che «è il compendio dell’Architettura, perché è sincera; ogni elemento della costruzione ha il suo scopo, ogni dettaglio la sua utilità e l’insieme sembra far parte dell’ambiente che lo circonda. Essa si sposa con la natura» (Andreini, 2012). Il nuovo simbolismo e i nuovi rapporti con il territorio nell’uso dei materiali naturali si estende in maniera sempre più evidente anche nell’architettura occidentale e, proprio un esempio virtuoso di utilizzo delle balle di paglia è dato dallo studio degli architetti Georges Batzios per il nuovo Centro Culturale Konaki Averof, Grecia per il ripristino di una struttura preesistente (Fig. 4). Il progetto intreccia l’architettura con elementi legati all’agricoltura, attività storicamente prevalente nella

more than importation but with local productions such as Bamboo, Kenaf, Hemp or materials coming from other production chains.

The evolutionary dynamics that summarize the project change, through new opportunities for material, constructive, interdisciplinary experimentation and, *Measure-Time-Place*, become three modes of critical reading of Low-cost and Low Tech architecture, which «answers to a more careful understanding of human ecology and becomes a symbol of a profound technical and aesthetic renewal that concerns every aspect of contemporary life» (Rocca, 2010).

Alessandro Rocca, on the base of such consideration, describes in his text, *Low cost-Low Tech*, twenty paradigmatic projects of the adoption of planning and constructive strategies in which the scarce economic avail-

ability becomes an opportunity for creative energy and design research. Going through a similar methodology, it’s proposed the critical reading of some aspects characterizing case studies of Low Tech architecture explained in simple technologies and materials (cardboard tubes, straw bales, fruit boxes) chosen in comparison to others, for the representative character of their design applications that best describe the relationships and interpolations between Measure, Time, Place.

The intelligence of matter

With a discrete historicization of about twenty years, recycled paper and cardboard, are the first example of materials, which in addition to having a second life cycle and be low cost, have the potential to become new local materials. The material form of the cardboard tube – *Measure* – has a diameter

regione, attraverso un involucro costituito da pannelli di paglia compressa dello spessore di 40 cm – *Misura* –, rivestiti all’esterno da una pellicola trasparente e isolante, e all’interno da una rasatura di gesso. *Misura*, *Tempo*, *Luogo* anche qui, si intrecciano tra simbolismo, modularità, e memoria storica attraverso l’uso non convenzionale di un materiale.

Il Padiglione Polacco all’Expo 2015 di Milano progettato da 2pm Architekci è stato, come spesso accade in tali occasioni, il volano per la sperimentazione di una nuova *Misura*. Il padiglione è un solido rettangolare, la cui superficie esterna ha una struttura traforata formata da componenti che rimandano alla forma semplice delle scatole per il trasporto delle mele in virtù del primato europeo della nazione nella produzione di questo frutto (Fig. 5). Un elemento quindi, che per leggerezza, modularità, resistenza, si aggiunge all’elenco dei materiali non convenzionali. Quasi in contemporanea al padiglione polacco, lo studio Nowa – Navarra Office Walking Architecture – ha realizzato Protiro, un intervento di recupero per realizzare un padiglione per attività di riabilitazione e formazione, sia alla scala dell’edificio, ristrutturando due ex capannoni artigianali a Caltagirone, sia alla scala del componente attraverso il riuso di cassette ortofrutticole per l’involucro – *Misura*. L’elemento caratterizzante il progetto è il rivestimento che realizza una trama a righe diagonali che attraverso la luce artificiale crea un disegno simile al merletto. Il modulo materiale, costituito da cassette ortofrutticole in plastica, in due tonalità di verde alternate (Fig. 6), è un pixel di grandi dimensioni (925 x 640 x 56 cm) supportato da una struttura in acciaio. «Nobilitare materiali poveri trasformandoli attraverso il disegno e la tessitura in un potente segnale estetico e identitario» (Navarra e Marino, 2016), rappresenta l’espressione della volontà

between 15 and 120 cm and a length between 300 and 800 cm, obtained by wrapping the recycled paper around an aluminum tube until it is dried, to finally treat it with wax, or with waterproof films. A *material truth* that characterizes the Shigeru Ban’s works in all over the world and in particular in *Disaster Relief Projects*, that are projects that contribute to bringing comfort after a disaster – *Place*. Starting from the more known Paper Log House, a temporary housing module built after the Kobe earthquake in 1995, characterized not only by the cardboard tubes (Fig. 1a, 1 b), but also by the use of beer crates filled with sandbags for the ground connection of homes and built with easily removable components and recyclable materials – *Time*. Up to Cardboard Cathedral Christchurch in New Zealand, a triangular temporary cathedral (Fig. 2a, 2b), 25 m high,

whose structure consists of 98 tubes of compressed cardboard of 60 cm of thickness, all of the same dimension – *Measure* – and 8 steel containers, locally available, which reinforce the walls. The Cathedral, built following the disastrous earthquake that struck the city of Christchurch in 2011, was realized with a 50-year forecast, which calls into question the concept of Temporariness, while maintaining a high ethical and symbolic value of the work, as well as a great reliability in terms of seismic response.

Symbolic value and Time, are two aspects that have always concerned the history of man, identifying with massive, solid material configurations. The use of new unconventional materials has also changed this relationship, extending the concept also to temporary architectures.

The Community Market of Kengo

05 | Polish Pavilion, 2pm Architekci - Milano Expo. Prospetto e particolare delle cassette per la frutta. Credits 2pm Architekci
Polish Pavilion, 2pm Architekci - Milano Expo. Front image and particular of fruit boxes. Credits 2pm Architekci

05 |

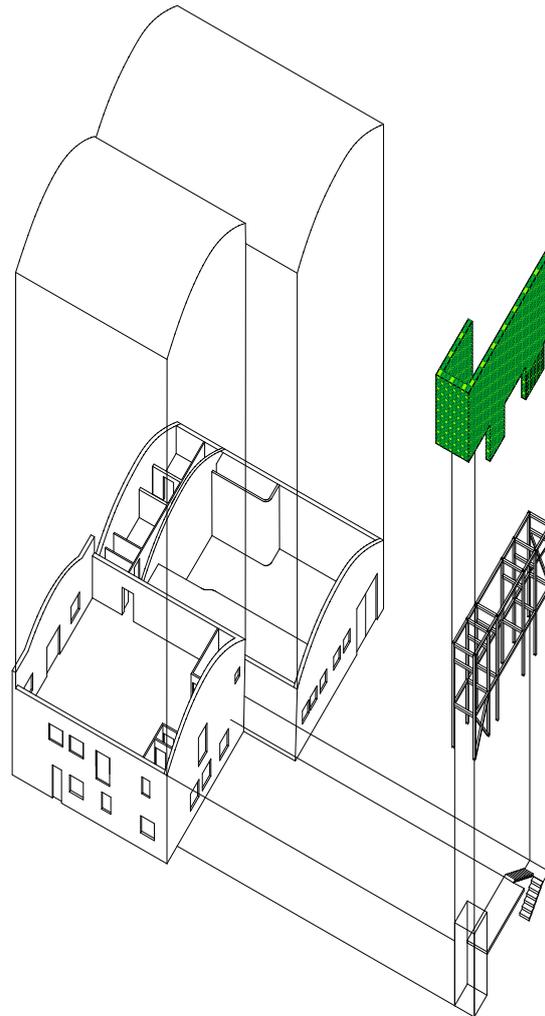


Kuma in Yukusuara, Japan, is an example of this, through a scanned modularly façade by straw bales mounted in horizontal rows whose dimension – *Measure* – determines the opening of the windows (Fig. 3a, 3b). The straw bales are arranged on wooden pins to rotate and to favor in such way the ventilation. The building houses a market of local products and a hotel in an enclosure envelope realized with natural materials, chosen for its symbolic value in comparison to the history and the Place. The main reference to the history of the place is the use of straw as a covering for the main facade, as a material widely used in the “Chad Do”, small service facilities for travelers, once arranged along the path that brought to the village, and that characterized the territory. The Place is thus described, through the use of wood, for the tall full-height pillars with tree

structure made with cedar logs, which evoke the woods that surround Yukusuara in the main market space. It's certainly not by chance that the projects representing this thought, up to now, are of Japanese architects. A thought on Japanese architecture by Mallet-Stevens at the beginning of the last century shows that «is a compendium of Architecture, because it's sincere; each construction element has its goal, its detail, its use, and the whole seems to be part of the environment around it. It marries nature» (Andriani, 2012). The new symbolism, and the new relations with the territory in the use of natural materials, is increasingly evident even in Western architecture, and a virtuous example of the use of straw bales is given by Georges Batzios Architects for the new Cultural Center Konaki Averof, Greece for the restoration of a pre-existing structure (Fig. 4).

06 | a) Protiro, Nuovo Padiglione per Attività di riabilitazione e formazione, Studio NOWA, Caltagirone. Esploso assometrico, Drawings Studio NOWA;
 b) Protiro, Nuovo Padiglione per Attività di riabilitazione e formazione, Studio NOWA, Caltagirone. Facciata principale Photo Credits by Peppe Maisto
 a) Protiro, New Pavilion for rehabilitation and training activities, Studio NOWA, Caltagirone. Exploded axonometry, Drawings Studio NOWA;
 b) Protiro, New Pavilion for rehabilitation and training activities, Studio NOWA, Caltagirone. Main Facade, Photo Credits by Peppe Maisto

| 06a



| 06b

dei progettisti di realizzare una facciata identitaria, che ha la sua forza nella capacità espressiva del modulo materiale. «Una disciplina simile alla scrittura», così Andreas Deplazes definisce l'Architettura, specificando ancora «sebbene non si tratti di un linguaggio vero e proprio (con suoni e parole), essa ha un vocabolario di Materiali (Moduli), una grammatica per costruire (Elementi) ed una sintassi strutturale (Strutture). Il progetto combina questo insieme di materiali e di tecniche e diventa, in questo senso, come un testo». Parfrasando Deplazes, in relazione al mutato rapporto tra Moduli, Elementi e Strutture, e ad un assottigliamento nella distinzione tra materiali locali e materiali non convenzionali, si apre un punto di vista sulle potenzialità per il progetto che contemplan termini identitari, spazio-temporali e di reperibilità locale. Una *Misura* più sostenibile, un *Tempo* più flessibile, un *Luogo* più riconoscibile.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la gentile collaborazione nella fornitura di immagini ed elaborati grafici gli studi: Shigeru Ban Architects, Kengo Kuma & Associates, 2pm Architekci (Piotr Musialowski, Michal Adamczyk, Stanisław Ignaciuk, Michal Lenczewski), Studio Nowa, Navarra Office Walking Architecture (arch. Marco Navarra, arch. Maria Marino).

NOTE

¹Ci si riferisce alla occasione del “Dialogo tra luce e pietra” a Rovereto nel 2011, in cui Mario Botta elogia l'innovazione progettuale ed etica di Shigeru Ban, individuandola come «intelligenza della miseria».

The project intertwines the architecture with elements linked to agriculture, an activity historically prevalent in the region, through an envelope made of compressed straw panels with a thickness of 40 cm – *Measure* –, covered on the outside by a transparent and insulating film, and inside by a plaster shaving.

Measure, Time, Place also here, are intertwined between symbolism, modularity, and historical memory through the unconventional use of a material. The Polish Pavilion at the 2015 Milan Expo designed by 2pm Architekci was, as often happens on such occasions, the flywheel for the experimentation of a new *Measure*. The pavilion is a rectangular solid, whose external surface has a perforated structure formed by components that refer to the simple shape of the boxes for the transport of apples in virtue of the European

supremacy of the nation in the production of this fruit (Fig. 5a, 5b). An element therefore, that for lightness, modularity, resistance, is added to the list of unconventional materials.

Almost at the same time with the Polish pavilion, the Nowa -Navarra Office Walking Architecture studio – has created Protiro, a recovery project to create a pavilion for rehabilitation and training activities, both at the building's staircase, renovating two former craft warehouses in Caltagirone, both at the scale of the component through the reuse of fruit and vegetable boxes for the envelope – *Measure*. The element that characterizes the project is the covering that realizes a diagonal-striped weave that creates a design similar to lace through artificial light. The material module, consisting of plastic fruit and vegetable boxes, in two alternating shades of green (Fig. 6a, 6b), is a large

REFERENCES

- Andreini, L. (2012), “Yukusuhara Market”, *Materia, Nature and Artifice*, No. 73, pp. 58-62.
- Ban, S., Miyake, R. (2009), *Shigeru Ban: Paper in Architecture*, Rizzoli International Publications, New York, USA.
- Bennicelli Pasqualis, M. (2014), *Case temporanee. Strategie innovative per l'emergenza abitativa post terremoto*, FrancoAngeli, Milan.
- Bologna, R. (1998), “Permanenza e temporaneità del costruire in una prospettiva sostenibile”, *Costruire in Laterizio*, No. 65, pp. 352-359.
- Bologna, R. and Terpolilli, M. (Eds.) (2005), *Emergenza del Progetto. Progetto dell'Emergenza. Architetture Con-Temporaneità*, Motta, Milan.
- Campo Baeza, A. (2012), *L'idea costruita*, Letteraventidue, Siracusa.
- Espuelas, F. (2012), *Madre Materia*, Marinotti, Milan.
- Lauria, M. (2009), *La Permanenza in architettura. Progetto, Costruzione, Gestione*, Gangemi, Rome.
- Kronenburg, R. (2002), *Houses in motion. The genesis, History and Development of the Portable Building*, Wiley, London, UK.
- Kronenburg, R. (2008), *Portable architecture. Design and technology*, Architectural Press, Basel, CH.
- Masotti, C. (2010), *Manuale di Architettura di emergenza e temporanea*, Sistemi Editoriali, Pozzuoli, Naples.
- Norberg-Schulz, C. (1976), “Genius loci”, *Lotus International*, No. 13, pp. 6-23.
- Norberg-Schulz, C. (1979), *Genius loci. Paesaggio, ambiente, architettura*, Mondadori Electa, Milan.
- Rocca, A. (2010), *Architettura low cost/low tech. Invenzioni e strategie di un'avanguardia a bassa risoluzione*, Sassi, San Vito di Leguzzano, Vicenza.
- Rocca, A., Rogora, A. and Spinelli, L. (Eds.) (2012), *Architettura Ambientale. Progetti Tecniche Paesaggi*, Wolters e Kluwer Italia, Milanofiori Assago, Milan.
- tion between local materials and unconventional materials, opens a point of view on the potentialities for the project that contemplate terms identity, space-time and local availability. A more sustainable *Measure*, a more flexible *Time*, a more recognizable *Place*.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks for the kindly collaboration in the supply of images and drawings the Studies: Shigeru Ban Architects, Kengo Kuma & Associates, 2pm Architekci (Piotr Musialowski, Michal Adamczyk, Stanisław Ignaciuk, Michal Lenczewski), Studio Nowa, Navarra Office Walking Architecture (arch. Marco Navarra, architect Maria Marino).

NOTES

¹This refers to the occasion of the “dialogue between light and stone” in Rovereto in 2011, in which Mario Botta

Rogora, A. and Lo Bartolo, D. (2013), *Costruire alternativo. Materiali e tecniche alternative per un'architettura sostenibile*, Wolters Kluwer Italia, Milan.
Schumacher, E.F. (1980), *Piccolo è bello: uno studio di economia come se la gente contasse qualcosa*, Mondadori, Milan.

SCHEDE TECNICHE PROGETTI

Paper Log House

Progettista: Shigeru Ban
Località: Kobe, Giappone
Committente: UNHCR
Cronologia: 1995

Cardboard Cathedral Christchurch

Progettista: Shigeru Ban
Località: Nuova Zelanda
Cronologia: 2013

Community Market

Progettista: Kengo Kuma & Associates
Località: Yukusuaara, Giappone,
Committente: Tomio Yano, Town Mayor of Yu
Realizzazione: Daio Shin-y
Cronologia: 2010

Konaki Averof Cultural Centre

Progettisti: Georges Batzios Architects
Località: Larissa, Grecia
Committente: Comune di Larissa (concept project)

praises the design and ethical innovation of Shigeru Ban, identifying it as the «intelligence of misery».

DATA SHEET OF THE PROJECTS

Paper Log Houses

Design: Shigeru Ban Kobe
Location: Japan
Client: UNHCR
Construction: 1995

Cardboard Cathedral Christchurch

Design: Shigeru Ban
Location: New Zealand
Construction: 2013

Community Market

Design: Kengo Kuma & Associates
Location: Yukusuaara, Japan,
Realization: Daio Shin-y,
Client: Tomio Yano, Town Mayor of Yu,
Construction: 2010

Padiglione Polacco, Expo Milano

Progettisti: 2pm Architekci (Piotr Musialowski, Michal Adamczyk, Stanisław Ignaciuk, Michal Lenczewski) In collaborazione con: Piotr Bylka, Paulina Pankiewicz
Località: Milano
Cronologia: 2015

Protiro

Progettisti: Studio Nowa, Navarra Office Walking Architecture, arch. Marco Navarra, arch. Maria Marino
Località: Caltagirone (CT)
Committente: Fondazione Concetta D'Alessandro Onlus
Cronologia: 2016

Konaki Averof Cultural Centre

Design: Georges Batzios Architects
Location: Larissa, Greece,
Client Municipality of Larissa (concept project)

Polish Pavilion, Milano Expo 2015

Design: 2pm Architekci (Piotr Musialowski, Michal Adamczyk, Stanisław Ignaciuk, Michal Lenczewski) In collaboration with : Piotr Bylka, Paulina Pankiewicz,
Location: Milano Expo
Construction: 2015

Protiro

Design: Studio Nowa, Navarra Office Walking Architecture, arch. Marco Navarra, arch. Maria Marino
Location: Caltagirone (CT)
Client: Fondazione Concetta D'Alessandro Onlus
Construction: 2016

Algoritmi Genetici per il Project Management e la progettazione esecutiva nelle costruzioni

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Sara Tiene, Marco Alvisè Bragadin, Andrea Ballabeni,
Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

sara.tiene.92@gmail.com
marcoalvisè.bragadin@unibo.it
andrea.ballabeni@unibo.it

Abstract. Tempo, costo e qualità sono i tre principali KPIs che devono essere ottimizzati nel Project Management delle costruzioni. Mentre l'approccio di trade-off tra tempi e costi è ben noto, quello tempi-costi-qualità è in genere basato sull'esperienza del Project Manager. L'approccio presentato si basa sul caso di studio del progetto esecutivo dell'involucro di un nuovo edificio universitario in costruzione. Le prestazioni di tempo, costo e qualità dipendono dalle prestazioni di ciascuno dei componenti della parete. In base ad indagini di mercato è possibile individuare tre alternative di prodotti per ogni componente e specificare i KPIs. L'ottimizzazione di tempo, costo e qualità presentata utilizza gli Algoritmi Genetici per selezionare le soluzioni costruttive che ottimizzano la costruzione.

Parole chiave: Project Management; Costruzione; Qualità; Algoritmi genetici; Ottimizzazione tempi-costi-qualità.

Introduzione

Il Project Manager non si limita ad attuare i diversi processi di gestione di un progetto, ma deve affrontare anche il compito ben più complesso della supervisione di tutti le fasi del processo edilizio garantendo la soddisfazione degli obiettivi di budget, di risorse e di limiti di tempo concordati con il committente. L'ostacolo principale per il raggiungimento di questi obiettivi sono le varianti di progetto e del suo ambiente realizzativo che richiedono una ottimizzazione continua delle prestazioni realizzabili e raggiungibili. Per questo, il Project Manager nella fase di costruzione deve potersi servire di tecniche efficaci per la pianificazione, la progettazione esecutiva e la gestione della costruzione con allo scopo di controllarne tempi, costi e qualità dalle fasi iniziali sino al completamento dell'opera. Tempi, costi e qualità sono i tre Key Performance Indicator (KPIs) che svolgono un ruolo fondamentale nel sistema di processi a base del Project Management: la pianificazione, la programmazione ed il controllo della costruzione. La letteratura esistente si concentra principalmente sull'analisi del

A Genetic Algorithm-based approach for Project Management and developed design of construction

Abstract. Construction Project Management processes aim at the optimization of three main KPIs: time, cost and quality. As the time / cost trade-off approach is well known, quality optimization is still pursued with a practical approach, often based upon Project Manager's experience. A case study of construction of a new university building is presented, focusing on external walls detailed design. Wall performances concerning time, costs and quality depend on the performances of each of the product layer that composes the wall. For each layer three commercial options has been considered. Therefore, a time - cost - quality trade-off procedure has been implemented using Genetic Algorithms, with the aim of finding a set of optimal solutions for the construction of the building envelope.

Keywords: Project management; Construction; Quality; Genetic algorithms; Time-cost-quality trade-off.

bilanciamento tra tempi e costi (*time-cost trade-off*), evidenziando limiti nella ricerca di modelli che ottimizzino congiuntamente tempo, costi e qualità. Solo recentemente i ricercatori e gli operatori del settore hanno compreso l'importanza di studiare metodi per il *trade-off* di questi tre indicatori, presentando ricerche mirate allo sviluppo di nuove soluzioni. Questo approccio ha anche portato all'identificazione di nuovi tipi di metodi di contrattazione in fase di gara progettati per raggiungere obiettivi multipli, tra cui la riduzione al minimo dei costi e dei tempi di costruzione, massimizzando la qualità, come nel caso di costruzioni di strade (Anderson e Russell, 2001; Minchin e Smith, 2001; El Rayes e Kandil, 2005; Kandil El Rayes, 2006). L'uso degli Algoritmi Genetici (GA) per ottimizzare il processo di valutazione di più soluzioni basate su funzioni obiettivo (Holland, 1975) è l'approccio di risoluzione scelto per questo problema di trade-off, ovvero di ottimizzazione. Lo scopo del presente lavoro di ricerca è quello di sviluppare un'analisi multi-obiettivo di prodotti e processi in grado di valutare gli indici di tempo, costo e qualità di alcune fasi della costruzione di un edificio per supportare le funzioni di Project Management. La procedura proposta è stata implementata con Algoritmi Genetici basati su un'applicazione software sviluppata con Matlab®. Per testare l'approccio sviluppato è stato studiato un caso studio reale di un progetto di costruzione di un edificio della nuova sede del campus universitario di Cesena, in Italia.

Stato dell'arte

Il Construction Management (CM) è un servizio professionale che applica tecniche di gestione efficaci per la pianificazione, la

Introduction

Project managers do not just manage different aspects of project processes, but they have to face a more complex task: overseeing all aspects of the project and ensuring that it meets the agreed goals, budget, resources and time constraints. The main barriers for their achievement are the changes in the project and in its environment necessitating cost, time, and quality trade-offs. Therefore, the Construction Manager needs to apply effective management techniques to the planning, design, and construction of a project from inception to completion with the purpose of controlling time, cost and quality. Time, cost and quality are the three Key Performance Indicators (KPIs) that play a significant role in the core processes of construction project management, the planning, scheduling and controlling of projects.

Existing literature is mainly focused on analyzing time-cost trade-off with little or no reported research focusing on models for optimizing time, cost, and quality jointly. In recent years, researchers and practitioners understood the importance of the trade-off between these three indicators, therefore leading to research work aiming at the development of new solutions. This approach lead to the identification of new types of contracting methods designed to achieve multiple objectives, including minimizing construction cost and time, while maximizing its quality (Anderson, Russell, 2001; Minchin, Smith, 2001; El Rayes, Kandil, 2005; Kandil El Rayes, 2006). The use of Genetic Algorithms (GA) to optimize the evaluation process of multiple solutions based on objective functions (Holland, 1975) is the chosen optimization approach for this trade-off problem.

progettazione e la costruzione di un'opera dalle fasi iniziali sino al suo completamento con lo scopo di controllare i KPIs di tempo, costo e qualità.

I Key Performance Indicators (KPIs) (Parmenter, 2007), sono gli indicatori di prestazione chiave che misurano gli aspetti delle prestazioni organizzative e tecnologiche più critici per il successo dell'organizzazione di progetto, nelle fasi correnti e future. Tradizionalmente la prestazione di un processo costruttivo viene misurata mediante tre indicatori di prestazione: costi, tempi e qualità.

Pochi ricercatori si sono interessati al problema della valutazione della qualità di un progetto o di un sistema tramite un indice di qualità complessivo ed allo sviluppo di una procedura di trade-off di costo-tempo-qualità. El Rayes e Kandil (2005, 2006), in recenti studi sulla costruzione di autostrade, hanno presentato un metodo per la stima prestazionale della qualità delle singole attività costruttive con l'obiettivo di facilitare la misurazione e la quantificazione della qualità complessiva della costruzione, attraverso la definizione di un Indicatore di Qualità. In questo studio venne anche proposto l'uso di una Quality Breakdown Structure (QBS) di progetto. L'approccio è basato sul "Quality-Based Performance Rating System" dell'American National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) (Anderson e Russel 2001, Minchin e Smith 2001) per la qualifica degli appaltatori in fase di gara. Oltre alla valutazione di eventuali problemi organizzativi dei contraenti, l'approccio ha l'obiettivo principale di valutare la qualità finale dei prodotti del processo di costruzione con un metodo prestazionale. Vengono proposti e classificati una serie di indicatori di qualità che hanno l'obiettivo di valutare la qualità del prodotto finale con una QBS basata sulle

The aim of the research work behind this paper is to develop a multi-objective analysis of building products and processes that can evaluate inherent time, cost and quality indexes, and support Project and Production Managers functions. The procedure was implemented with Genetic Algorithms based on a software application developed with Matlab®. A case study of the building construction project of the new premises of the university campus of Cesena, Italy, was investigated to test the developed approach.

Previous work

Construction Management (CM) is a professional service that applies effective management techniques to the planning, design, and construction of a project from inception to completion for the purpose of controlling time, cost and quality KPIs.

The Key Performance Indicators (KPIs) (Parmenter, 2007), represent a set of measures focusing on those aspects of organizational and technical performance that are the most critical for the current and future success of the project organization. Traditionally the performance of construction projects is measured by means of three performance indicators: cost, time and quality.

Few researchers focused the problem of the evaluation of the global quality of a project or a system by means of a quality indicator, and the development of a time-cost-quality trade-off procedure. El Rayes and Kandil (2005, 2006) in recent studies for highway construction, presented a method aimed at facilitating the measurement and quantification of the global construction quality by estimating quality performances of each project activity thorough the defi-

single prestazioni delle attività e dei prodotti. Oltre a questo El Rayes e Kandil (2005, 2006) introducono un sistema automatizzato di ottimizzazione delle risorse del progetto di costruzione di tipo multi-obiettivo, denominato MACROS, basato su di un algoritmo di trade-off di tempo, costo e qualità sviluppato con Algoritmi Genetici (GA).

L'uso degli Algoritmi Genetici (GA) è stato introdotto da J. H. Holland (1975) come metodo di ricerca basato sulla meccanica della selezione naturale e della genetica naturale della teoria evolutiva di Darwin. Successivamente, Goldberg (1989) sviluppò ulteriormente l'approccio GAs nel campo dell'ingegneria dell'automazione.

Tornando al settore dell'Architettura, dell'Ingegneria e delle Costruzioni (AEC), Minchin, Hammons e Ahn (2008) hanno proseguito gli studi in campo autostradale, sviluppando un metodo completo per valutare il prodotto finale del costruttore in termini prestazionali. Anche San Cristobal (2009) propone un'applicazione GA per il problema del trade-off di costo-tempo-qualità nel caso di un progetto di costruzione di strade. L'obiettivo è di ridurre al minimo il tempo impiegato nella costruzione della strada pur soddisfacendo gli standard di qualità e i costi corrispondenti. In seguito Magalhaes-Mendes (2011) presenta un Algoritmo Genetico a due livelli per risolvere i problemi di programmazione dei lavori vincolati da scarse risorse di tipo "multi-mode". La funzione obiettivo in questo caso ricerca la minimizzazione del tempo di completamento della fase di costruzione.

L'uso dei GA per la ricerca di soluzioni ottimizzate per la programmazione dei lavori è frequente, soprattutto in ambiente multi-progetto. Dong *et alii* (2012) propongono un metodo basato sugli Algoritmi Genetici per la programmazione operativa

of a Quality Index. In addition, a Quality Breakdown Structure (QBS) of the project is proposed. The developed approach builds on the "Quality - Based Performance Rating System" of the American National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) (Anderson and Russel 2001, Minchin and Smith 2001) for contractors' qualification. Beside the evaluation of potential organisational issues of the contractors, the approach has the main goal of evaluating the final quality of the products of the construction process, with a performance-based approach. With the aim of evaluating the final product quality, a set of quality indicators are proposed and classified with a performance - based Quality Breakdown Structure (QBS). In addition, El Rayes and Kandil (2005, 2006) developed a multi-objective automated construction resource optimisation

system termed MACROS, entailing a time, cost and quality trade-off algorithm. The method is developed with Genetic Algorithms.

The use of Genetic Algorithms (GAs) was introduced by J. H. Holland (1975) as a research method based on the mechanics of natural selection and natural genetic of Darwin's Evolutionary Theory. Later, Goldberg (1989) developed further the GAs approach in the field of automation engineering.

In the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector, Minchin, Hammons and Ahn (2008) developed a comprehensive method to evaluate the contractor's end product from a quality perspective in highway construction. San Cristobal (2009), proposed a GAs application to the time-cost-quality trade-off problem with the case-study of a road construction project. The objective was to minimize

dei lavori a breve termine di tipo “Look Ahead” nelle fasi finitura della costruzione. La procedura sviluppata ricerca la soluzione ottimale per generare il programma Look-Ahead, tenendo conto delle priorità tecniche, dei vincoli dovuti alle aree di lavoro e dei vincoli di blocco della produzione.

Sorrentino infine (2013) applica gli Algoritmi Genetici al problema dell'ottimizzazione tempo, costo e qualità per la programmazione dei lavori di costruzione di una strada, individuando dei set di valori a supporto delle decisioni del Project Manager. I precedenti approcci sono concentrati principalmente sulla fase di costruzione di progetti infrastrutturali. Di seguito viene presentato un approccio più orientato alla ottimizzazione della progettazione esecutiva e costruttiva per la realizzazione di un sistema edilizio.

Ottimizzazione tempo, costo e qualità con gli algoritmi genetici

Tempo, costi e qualità sono i tre fattori che giocano un ruolo significativo nella pianificazione e controllo dei progetti di costruzione. È facilmente dimostrabile come questi tre parametri siano interdipendenti l'uno con l'altro, e la modifica di uno di essi causi necessariamente un'alterazione in almeno un altro parametro. Le sfide del mercato e i nuovi strumenti contrattuali esercitano una crescente pressione sui decision maker per l'ottimizzazione di questi fattori ed il raggiungimento degli obiettivi di progetto. A causa della complessità delle relazioni fra i parametri, l'ottimizzazione tempo-costo-qualità può essere svolta con l'ausilio degli Algoritmi Genetici.

Gli Algoritmi Genetici sono un metodo di ricerca globale e stocastico definito “genetico” a causa della terminologia derivata della

Tempo, costi e qualità sono i tre fattori che giocano un ruolo significativo nella pianificazione e controllo dei progetti di costruzione.

the time spent in building the road meeting quality output standards and the corresponding costs. Magalhaes-Mendes (2011) instead, presented a two level Genetic Algorithm for the Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling Problem, with an objective function that search for the minimization of the building construction project completion time.

Dong et al. (2012) developed a genetic algorithm-based method for look-ahead scheduling in the finishing phase of construction projects, as GA are widely used in finding solutions for resource constraints multi-project scheduling problems. The developed procedure search for the optimal solution to generate the Look-Ahead Schedule, taking into account the engineering priorities, the zone constraint and the blocking constraints.

Finally, Sorrentino (2013), applies GA

to a time-cost-quality optimization problem for the scheduling of a road construction project, detecting a set of values to support Project Manager's decisions. All the before mentioned approaches mostly focus the construction phase of infrastructure projects, therefore in the following a more design-oriented approach is developed for the job shop drawings optimization of building projects.

Time, cost and quality trade-off and genetic algorithms:

Time, cost and quality are the three factors that play a significant role in the planning and controlling of construction projects. It is easily demonstrable that these three parameters are interdependent with each other's, as the modification of one necessarily causes an alteration in at least one other parameter. Market performanc-

genetica, una branca della biologia. In parole semplici, gli algoritmi genetici sono procedure di ricerca probabilistiche progettate per lavorare su ampi spazi di variazione che coinvolgono stati che possono essere rappresentati da stringhe matematiche (Goldberg e Holland, 1988). Gli algoritmi genetici possono essere utilizzati con l'obiettivo di pianificare e controllare le attività di un progetto poiché sono strumenti di ricerca e ottimizzazione che aiutano i responsabili decisionali a identificare soluzioni ottimali o quasi ottimali per i problemi caratterizzati da vasti campi di variazione. Uno dei vantaggi fondamentali dei GA derivanti dai metodi tradizionali è che lavorano su di un ricco database di soluzioni simultaneamente (una popolazione di cromosomi), identificando contemporaneamente i vari picchi di funzione, quindi la probabilità di trovare un falso minimo o massimo è ridotta rispetto a metodi che elaborano direttamente le tutte le soluzioni, del tipo “brute-force”. La struttura di base di un algoritmo genetico implica un'operazione ciclica che simula il processo evolutivo di una popolazione. Ogni ciclo rappresenta una generazione e ogni nuova popolazione generata è formata da individui sempre migliori. Un Algoritmo Genetico inizia a generare in modo casuale una popolazione iniziale di possibili soluzioni, chiamate individui. Ogni individuo nella popolazione (o qualsiasi altra soluzione si desidera) è codificato sotto forma di una stringa, chiamata cromosoma. Il sistema di codifica più utilizzato è il sistema binario. Ogni membro della popolazione generata viene valutato calcolando il suo valore di fitness dato dalla funzione obiettivo (fitness) e una selezione accurata degli individui viene eseguita sulla base dei valori di fitness: gli individui più promettenti vengono selezionati come genitori, creando una sequenza di nuove popolazioni o generazioni.

es and new contract approaches put pressure on decision makers for the trade-off of these components and the achievement of the project objectives. Therefore, because of the complexity of dependencies between these three factors, time-cost-quality trade-off can be achieved by the use of GAs.

Genetic Algorithms (GAs) are a global and stochastic research method termed “genetic” because of the mutual terminology from genetics, a branch of biology. Simply stated, genetic algorithms are probabilistic search procedures designed to work on large spaces involving states that can be represented by mathematical strings (Goldberg & Holland, 1988). Genetic algorithms can be used with the aim of planning and controlling the activities of a project as they are search and optimization tools that assist decision makers in identifying optimal or near-

optimal solutions for problems with large search space.

One fundamental advantages of GAs from traditional methods is that they work from a rich database of solutions simultaneously (a population of chromosomes), climbing many peaks in parallel, thus the probability of finding a false peak is reduced over methods that go solution to solution, like the “brute-force” method. The basic structure of a genetic algorithm involves cyclic operation that simulates the evolutionary process of a population. Each loop represents one generation and each new population generated is formed by better and better individuals.

A typical genetic algorithm starts generating randomly an initial population of possible solutions, called individuals. Every individual in the population (or whatever solution is desired) is coded in the form of a string, called the

Dopo aver selezionato un numero n di individui, l'algoritmo genetico emula la riproduzione sessuale che avviene naturalmente in biologia e riunisce il materiale genetico dei genitori, dando vita a figli che sono la futura generazione di soluzioni. La ricombinazione viene effettuata da operatori genetici di Cross-Over (combinando opportunamente le caratteristiche di una coppia di genitori) e Mutazione (effettuando cambi casuali su un singolo genitore). La nuova generazione di soluzioni prende il posto della generazione precedente, da cui è nata per la ricombinazione. Il processo viene ripetuto un gran numero di volte fino a quando uno dei requisiti obiettivo è soddisfatto, ad esempio quando viene raggiunta un'approssimazione accettabile della soluzione al problema o è stato eseguito il numero massimo di iterazioni. Nella Fig. 1 un diagramma di flusso riepiloga i principi operativi delle GA.

Gli algoritmi genetici non garantiscono che venga trovata una soluzione ottimale, ma sviluppano un insieme di soluzioni migliori rispetto alle soluzioni originarie. Gli individui generati evolvono verso soluzioni nuove e migliori in ogni nuova generazione della popolazione a partire dallo stesso problema e dallo stesso insieme di possibili individui di partenza. Per questo motivo i GA vengono utilizzati nello studio dell'intelligenza artificiale.

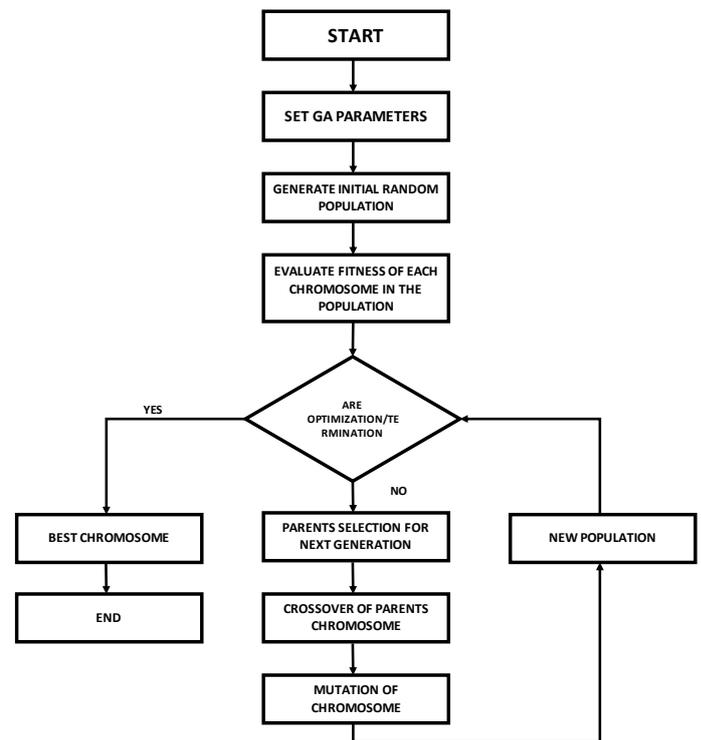
In molte situazioni ci sono più di un obiettivo rilevante da minimizzare (o massimizzare), in questo caso l'algoritmo genetico viene definito multi-obiettivo. Un GA multi-obiettivo persegue più obiettivi contemporaneamente, nel senso che un individuo è considerato più o meno adatto in relazione a più criteri. In questo caso il problema da affrontare non è semplicemente ridotto alla ricerca di un massimo locale (o globale) o minimo di una data funzione, ma all'analisi di più criteri contemporaneamente. In questo tipo di problemi i vari obiettivi sono spesso in conflitto,

Chromosome. The most used encoding system is the binary system. Each member of the current population is assessed by calculating its fitness value by the objective function (fitness), and an appropriate sorting of these individuals is determined on the basis of the fitness values: The most promising individuals are selected as parents, creating a sequence of new populations or generations.

After selecting an n number of individuals, the genetic algorithm emulates the sexual reproduction that occurs naturally in biology and re-combines the genetic material of the parents, giving birth to the children or to the future generation of solutions. The re-combination is carried out by genetic operators of Cross Over (by appropriately combining the characteristics of a couple of parents) and Mutation (by making random changes on a single

parent). The new generation of solutions takes the place of the previous generation, from which it was born for re-combination. The process is repeated a great number of times until one of the stop requirements is fulfilled, for example when an acceptable approximation of the solution to the problem is reached, or the maximum number of iterations has been performed. In Fig. 1 a flow chart summarizes the operating principles of GAs.

Genetic algorithms do not ensure that an optimal solution is found but contribute to a set of solutions superior to the source solutions. From the same problem and from the same set of possible starting individuals at each new population generation the individuals evolve towards different and better new solutions. Because of this the GAs are used in the study of artificial intelligence.



to, il che significa che una soluzione che minimizza o massimizza un obiettivo generalmente non minimizza o massimizza gli altri. In un problema di ottimizzazione multi-obiettivo, è necessario trovare una soluzione ottimale allo stesso tempo per tutte le funzioni obiettivo che descrivono il problema.

Caso di studio: KPIs nella progettazione esecutiva e costruzione dell'involucro di un edificio

Per l'applicazione della metodologia proposta si utilizza il caso studio della costruzione della nuova sede del Campus Universitario di Cesena dell'Università di Bologna, Italia. L'edificio ha 5 piani e un layout in pianta a forma di "U". L'edificio è costruito con una struttura portante tra-

Case study: KPIs for a building envelope developed design and construction

The proposed methodology is applied to the case study of the construction of the new premises of the University Campus of Cesena of the University of Bologna, is presented. The building has 5 floors and a "U" shape plan, and has a traditional reinforced concrete structure.

Five buildings, separated by structural seismic joints, compose the premises. The coordination system of the structural framework components is based upon a reference grid shown in Fig. 2. Two main types of external walls constitute the building envelope (Fig. 3):

- Wall E1: multi-layer load-bearing walls with reinforced concrete (RC) structure, with non-load-bearing components. It has a total thickness of about 68.5 cm.

- 03 | a) Sezione della parete E1;
 b) Sezione della parete E2
 a) Stratigraphy of the wall E1;
 b) Stratigraphy of the wall E2

zionale in conglomerato cementizio armato e suddiviso in cinque fabbricati, separati da giunti sismici strutturali. Il sistema di coordinamento dei componenti del subsistema strutturale è attuato tramite una griglia modulare rappresentata in Fig. 2. Due tipi principali di pareti esterne costituiscono l'involucro dell'edificio (Fig. 3):

- Parete E1: parete multistrato portante con struttura in conglomerato cementizio armato e con componenti non portanti. Ha uno spessore totale di circa 68,5 cm.
- Parete E2: parete di involucro multistrato non portante, senza struttura in conglomerato cementizio armato. Ha uno spessore totale di circa 51,8 cm.

Lo scopo di questo studio è quello di analizzare le caratteristiche delle strutture delle pareti esterne multistrato in termini di costo di costruzione, tempo di posa e qualità prestazionale, e di proporre un metodo basato sui GA per trovare un insieme di soluzioni che permettano l'ottimizzazione simultanea di questi tre parametri tempo, costo e qualità. Ogni strato ha caratteristiche fisiche e tecnologiche diverse e può essere costruito con prodotti e componenti forniti da diversi produttori. Per ogni strato vengono considerate tre diverse alternative progettuali (Tab. 1):

- opzione 1: soluzione standard di mercato;
- opzione 2: soluzione innovativa, rappresentata da prodotti innovativi recentemente introdotti sul mercato;
- opzione 3: soluzione sostenibile, composta da prodotti di origine naturale o comunque ritenuti più sostenibili per l'ambiente.

I tre KPIs relativi a tempo, costo e qualità per ciascuna opzione di ogni strato sono stati calcolati per entrambe le pareti esterne E1 ed E2. Nell'analisi di questi tre indicatori lo strato di congl-

- Wall E2: multi-layer enclosure walls, without RC structure with non-load-bearing components. It has a total thickness of about 51.8 cm.

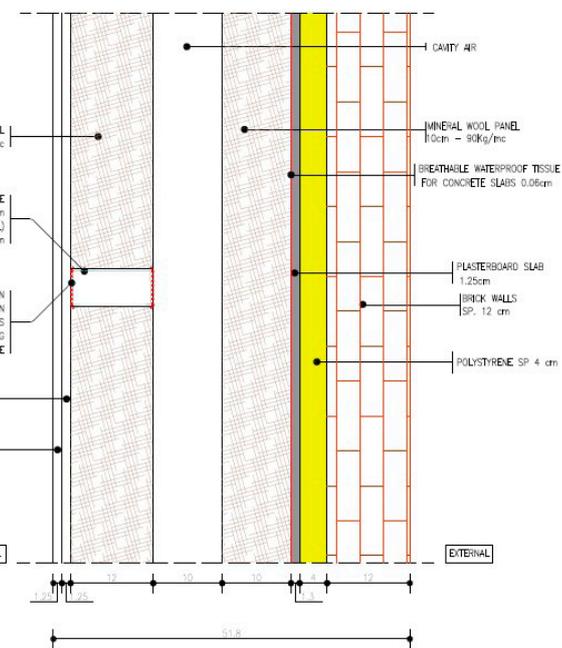
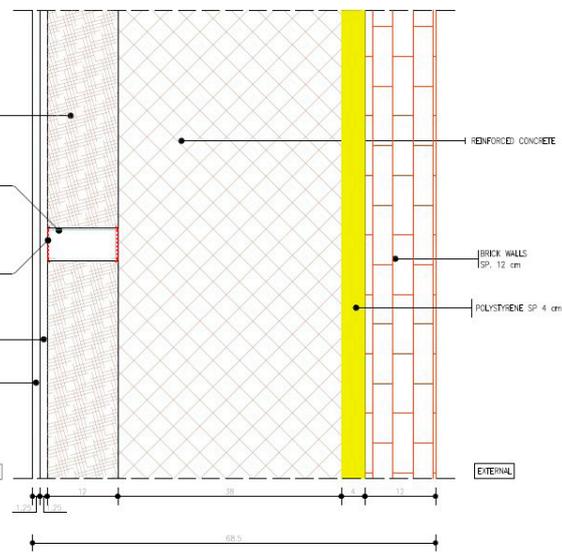
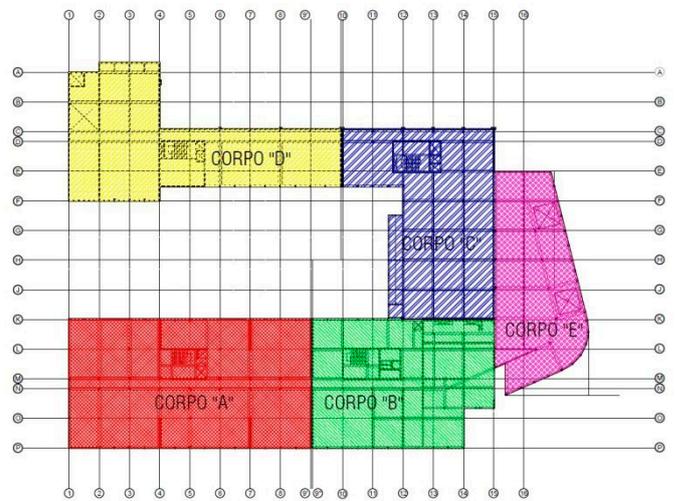
The aim of this study is to carry out an analysis of the external wall multiple layers structures concerning building costs, construction duration and performance-based product quality to find a set of solutions that lead simultaneously to the optimization of the three parameters time, cost and quality. Each layer has different physical and technological characteristics and can be built with products and components delivered by different producers. For each layer three different design alternatives are considered (Tab. 1):

- option 1: standard market solution;
- option 2: innovative solution, represented by innovative products recently introduced in the market;

- option 3: sustainable solution, composed of products of natural origin or in any case considered to be more sustainable for the environment.

The three KPIs concerning time, cost and quality for each option of each layer are calculated for both external walls E1 and E2. In the analysis of these three indicators the reinforced concrete layer (layer 4 of the masonry E1) and the air cavity (layer 4 of the masonry E2) have not been taken into account. The following analyses have been developed.

- Cost analysis: a price analysis of each work package is required, considering building products, labor and cost for rental of equipment.
- Time analysis: the time indicator is the work package duration needed to build/install the component for the whole wall surface. This indicator was computed using price analysis data.



Tab. 1 | Elenco delle tre alternative di prodotto per la parete E1 (sinistra) ed E2 (destra)
List of the three options for each layer of Wall E1 (on the left) and Wall E2 (on the right)

Tab. 1 |

Wall E1: design alternatives for components

A. FIBERGYPSUM SLAB:

- Option 1: G S G_Wallboard 13, Thickness 12,5 mm
- Option 2: G KV wall, Thickness 12,5 mm
- Option 3: P wall, Thickness 12,5 mm

B. PLASTERBOARD SLAB:

- Option 1: KA panel Outdoor, Thickness 12,5 mm
- Option 2: G S G D Gyp A1 13 Active Air panel, Thickness 12,5 mm
- Option 3: C isolanti naturali_C N, Thickness 15 mm

C. MINERAL WOOL PANEL mm120:

- Option 1: RockwoolPanel F Energy plus 234, Thickness 30mm
- Option 2: Fiber glass K Insulation_Panel TP 238, Thickness 30mm
- Option 3: T_corkpan, Thickness 20mm

REINFORCED CONCRETE

D. POLYSTYRENE

- Option 1: LHD L EPS 100 TK8, Thickness 3 cm
- Option 2: K T K XT Muro panel Th 32, Thickness 3 cm
- Option 3: D_FK Panel, Thickness 3 cm

E. BRICK WALLS:

- Option 1: F B M Brick handmade "P", size 5,5x12x25 cm
- Option 2: S. A. Brick standard fine white fine sand, size 5,5x12x25 cm
- Option 3: I B S.A.S._Thermo brick

Wall E2: design alternatives for components

A. PLASTERBOARD SLAB:

- Option 1: G S G D Gyp A1 13 Active Air panel, Thickness 12,5 mm
- Option 2: K K K panel (A), Thickness 12,5 mm
- Option 3: C isolanti naturali_C ABE, Thickness 15 mm

B. FIBERGYPSUM SLAB:

- Option 1: G S G_Wallboard 13, Thickness 12,5 mm
- Option 2: G KV wall, Thickness 12,5 mm
- Option 3: P wall, Thickness 12,5 mm

C. MINERAL WOOL PANEL mm120:

- Option 1: RockwoolPanel F Energy plus 234, Thickness 30mm
- Option 2: Fiber glass K Insulation_Panel TP 238, Thickness 30mm
- Option 3: T_corkpan, Thickness 20mm

AIR CAVITY

D. MINERAL WOOL PANEL mm100:

- Option 1: Rockwool_Panel F Energy plus 234, Thickness 30mm
- Option 2: Fiber glass K Insulation_Panel TP 238, Thickness 30mm
- Option 3: T_corkpan, Thickness 20mm

E. BREATHABLE WATERPROOF TISSUE FOR CONCRETE SLABS

- Option 1: K USG S_A panel T S Wrap
- Option 2: T_D P T H Wrap
- Option 3: T_D P T UV Facade

F. PLASTERBOARD SLAB

- Option 1: KA panel Outdoor, Thickness 12,5 mm
- Option 2: G S G D Gyp A1 13 Active Air panel, Thickness 12,5 mm
- Option 3: C isolanti naturali_C N, Thickness 15 mm

G. POLYSTYRENE

- Option 1: LHD L EPS 100 TK8, Thickness 3 cm
- Option 2: K T K XT Muro panel Th 32, Thickness 3 cm
- Option 3: D_FK Panel, Thickness 3 cm

H. BRICK WALLS:

- Option 1: F B M Brick handmade "P", size 5,5x12x25 cm
- Option 2: S. A. Brick standard fine white fine sand, size 5,5x12x25 cm
- Option 3: I B S.A.S._Thermo brick

– Quality analysis: quality is an intrinsic feature, a value characterized by a relative concept because it consists of an objective part but also of a subjective part. Therefore, it is much more difficult to quantify and measure the quality performance of a construction project than time and cost performances. Construction projects are complex projects, and each deliverable can have different components related to product and process quality. For this reason, performance requirements of each different material have been identified for each layer. For instance, wall components must have an adequate thermal and acoustic resistance, fire proofing performances etc. Based on these requirements, the quality items

selected for quality evaluation are the following: thermal conductivity (λ), resistance to water vapor diffusion (μ) and fire resistance class. In the case of layer 6 of the masonry E1, Breathable Waterproof Tissue For Concrete Slabs, also the maximum operational temperature was selected. The system used is a scoring system (El-Rayes, Kandil, 2005), and the quality items are weighted with a score ($B_{i,j}$), from 1 to 10, where a weight of 10 means the maximum estimated effect of the quality item on the overall quality of the layer and 1 means no effect on final quality. Therefore, it is possible to calculate the quality index weighted for each quality item ($Q_{wi,j}$) through a multiplication between $B_{i,j}$ and $Q_{i,j}$, where

$Q_{i,j}$ is the Quality Index related to the quality item.

$$Q_{wi,j} = B_{i,j} \times Q_{i,j}$$

The Quality Score of the layer (Q_i), is estimated as the percentage of satisfaction of the requirements of the quality index with their weights, estimated as the sum of the actual quality index weighted with the following equation:

$$Q_i = \frac{\sum_j Q_{wi,j}}{\sum_j B_{i,j}} \times 100$$

This process was performed for each option (1, 2, 3) of each layer, both for

the masonry E1 and E2 masonry. In Tab. 2 a sample procedure of evaluation of the quality indicator can be found. After this stage, all the data required to perform the Time-Cost-Quality Trade-Off are ready to be processed. Two tables were created, one for Wall E1 and one for Wall E2, which collected the most significant and useful data for optimization process. Note that the comparison of the quality of different components needs a subjective evaluation of a relative quality weight (A_i) that has been estimated by the Project Manager's or designer's experience. Anyway, the sum of the relative A_i weights must be 100%. In Tab. 3 and 4 the data of the quality, cost and time indicators for each component and design option of the two wall types are presented.

merato cementizio armato (strato 4 della muratura E1) e l'aria della cavità (strato 4 della muratura E2) non sono stati presi in considerazione. Le analisi sono state svolte come segue.

- Analisi dei costi: è stata necessaria un'analisi dei prezzi di ciascuna lavorazione, considerando i prodotti da costruzione, la manodopera e i costi per il noleggio di attrezzature.
- Analisi del tempo: l'indicatore tempo è la durata della lavorazione necessaria per costruire / installare il componente nell'intera superficie della parete. Questo indicatore è stato calcolato utilizzando i dati di analisi dei prezzi.
- Analisi della qualità: la qualità è una caratteristica intrinseca, un valore caratterizzato da un concetto relativo perché consiste in una parte oggettiva ma anche in una parte soggettiva.

Pertanto, è molto più difficile quantificare e misurare la qualità prestazionale complessiva di un sistema costruttivo rispetto alle prestazioni in termini di tempo e costi. I sistemi edilizi sono sistemi complessi e ogni *deliverable* può avere prestazioni differenti in relazione alla qualità di prodotto e di processo. Per questo motivo, i requisiti prestazionali di ciascun materiale o prodotto sono stati identificati per ogni strato. Ad esempio, i componenti di involucro devono avere un'adeguata resistenza termica e acustica, prestazioni antincendio ecc. Sulla base di questi requisiti, gli elementi di qualità selezionati per la valutazione della qualità sono i seguenti: conduttività termica (λ), resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ) e classe di resistenza al fuoco. Nel caso dello strato 6 della muratura E1, barriera al vapore traspirante per lastre in calcestruzzo, è stata selezionata anche la temperatura operativa massima.

Il sistema utilizzato è un sistema a punteggio (El-Rayes, Kandil, 2005), e gli elementi qualitativi sono ponderati con un punteggio (B_i, j), da 1 a 10, dove un peso di 10 significa l'effetto massi-

mo stimato dell'elemento di qualità (*Quality Item*) sulla qualità complessiva dello strato e 1 significa nessun effetto sulla qualità finale. Pertanto, è possibile calcolare l'indice di qualità ponderato per ciascun elemento di qualità ($Q_{wi, j}$) attraverso una moltiplicazione tra B_i, j e Q_i, j , dove Q_i, j è l'indice di qualità relativo al quality item.

$$Q_{wi, j} = B_{i, j} \times Q_{i, j}$$

Il punteggio di qualità dello strato i (*Quality Score*, Q_i) è stimato come la percentuale di soddisfazione dei requisiti di qualità data dalla somma degli indici di qualità ponderati ($Q_{wi, j}$, effettivo in opera) normalizzata con la seguente equazione:

$$Q_i = \frac{\sum_j^k Q_{wi, j}}{\sum_j B_{i, j}} \times 100$$

Questa procedura è stata eseguita per ogni opzione (1, 2, 3) di ciascuno strato di parete, sia per la muratura E1 che per la muratura E2. Nella Tab. 2 è rappresentato un estratto esemplificativo della procedura di valutazione dell'indicatore di qualità.

Dopo questa fase, tutti i dati necessari per eseguire il trade-off di costo-tempo-qualità sono pronti per essere elaborati. Sono state create due tabelle, una per la parete E1 e una per la parete E2, che raccolgono i dati più significativi e utili per il processo di ottimizzazione. Si noti come il confronto della qualità dei diversi componenti richieda una valutazione soggettiva del

The Tab. 3 and 4 point out that the three indicators concerning time, cost and quality are interdependent, following different dependency functions. In fact, for instance in the layer D of wall E2 the price of option 3 is almost twice the option 1, and in contrast the quality of option 1 is much higher than that of Option 3. The objective of the optimization process is to minimize costs but to maximize quality, keeping work packages durations as short as possible. Nevertheless, it can be noticed that the durations of the work packages are very similar because they are mostly prefabricated panels installations.

Multi-objective optimization for time-cost-quality trade-off of the case study

Matlab[®] was chosen as a computer software for the application of GAs optimization to the case study. Matlab[®] is an

high-level language software and interactive environment for numerical computing, data analysis and visualization and programming, created by MathWorks[®]. This software allows analyzing data, developing genetic algorithms, and creating templates and applications.

The fitness function is a function that can evaluate how much a solution is suitable for solving the given problem. As the application is a Multi-Objective GAs, two functions must be optimized simultaneously:

- 1) minimize:
 $C = \sum_{i=1}^n C(i) + C_i - k(T_t - T_a)$
- 2) Maximize:
 $Q = \sum_{i=1}^n A_i \times Q_i$

Where: C = total cost; C(i) direct costs of the item; C_i daily overhead costs

C_i = C_d x 0.15; T_t maximum allowed project duration; T_a duration of the selected option; k = k_i = incentive factor when (T_t - T_a) > 0 and k = k_p = penalty factor when (T_t - T_a) < 0; Q total quality of the masonry; A_i relative weight of the component; Q_i quality indicator of the component.

A 3D chart of the solutions found (each test is represented by a different color) is represented in terms of time, cost and quality in the charts of Fig. 4 and 5. The solutions belonging to the same set of options are equipotential to the given problem.

In particular, a limited set of solutions are found. These solutions can be easily achieved fixing one or two specific variables.

From the results obtained and from the shown charts, it can be seen how multi-objective techniques provide a set of optimal solutions among which

the planner can choose the one indicated as most convenient. Some examples taken from the case of masonry E2 can indicate the use of the found results.

Let's suppose the Project Manager imposes the time limit, for example that the time is less than 1.4 x 10⁴ hours. A plan in the T-C-Q chart is generated on this value and the possible solutions will be all those behind this plan (Fig. 6).

Let's also suppose the Project Manager imposes more than one limit, for example that the quality is over 62%, but also that the cost is less than 1.5 x 10⁶€. It is possible to plot the two threshold limit plans in the graph T-C-Q. The optimum solutions will therefore be those above the quality plan but before the cost plan (Fig. 7).

Tab. 2 | Esempio di calcolo dell'indicatore di qualità (Qi %): alternativa 1 dello strato A (Fibergypsum slab) parete E1
 Example of calculation of the Quality score of a layer (Qi %): option 1 of layer A (Fibergypsum slab) for Wall E1

Tab. 2 |

1.01_ FIBERGYPSUM SLAB - OPTION 1

λ [W/mk]	Qi,j	Qi,j %	Qi,j
0,21	$(1-\lambda)*100$	79	0,79

μ	Qi,j	Qi,j %	Qi,j
4	$(\mu*100)/70$	5,714	0,057

Fire resistance Class	Qi,j %	Qi,j
A2-S1,d0	93,00	0,93

j	Quality Item (j)	Weight of Item (Bi,j)	Quality index (Qi,j %)	Quality index weighted (Qwi,j)	Quality index weighted (Qi %)
B1.1	Thermal conductivity (λ)	8	79	6,32	
B1.2	Resistance factor to water vapor diffusion (μ)	6	5,714	0,343	
B1.3	Fire Resistance Class	9	93,00	8,37	
TOTAL		23		15,033	65,36

loro peso relativo (Ai) in termini qualitativi, stimata in base alle esperienze del Project Manager o progettista. Ad ogni modo, la somma dei pesi Ai relativi deve essere al 100%. Nelle Tab. 3 e 4 vengono presentati i dati degli indicatori di qualità, costo e tempo per ciascun componente ed alternativa costruttiva dei due tipi di parete.

Le Tab. 3 e 4 sottolineano che i tre indicatori relativi a tempo, costi e qualità sono interdipendenti secondo funzioni di proporzionalità specifiche. Infatti, a titolo esemplificativo si può notare che nello strato D della parete E2 il prezzo dell'opzione 3 è quasi il doppio dell'opzione 1, e al contrario la qualità dell'opzione 1 è molto più alta di quella dell'opzione 3. L'obiettivo del processo di ottimizzazione è di ridurre al minimo i costi ma anche di massimizzare la qualità, pur mantenendo le durate delle lavorazioni il più breve possibile. Tuttavia, si può notare che le durate dei

pacchetti di lavoro sono molto simili perché si tratta per lo più di installazioni di pannelli prefabbricati.

Ottimizzazione multi-obiettivo tempo – costo – qualità del caso di studio

Matlab® è stato scelto come software per l'applicazione dell'ottimizzazione GA al caso di studio. Matlab® è un linguaggio software di alto livello e un ambiente interattivo per il calcolo numerico, l'analisi dei dati, la visualizzazione e la programmazione creato da MathWorks®. Questo software consente di analizzare i dati, sviluppare algoritmi genetici e creare modelli e applicazioni. La funzione fitness è la funzione che valuta quanto una soluzione è adatta per risolvere il problema dato. Poiché l'applicazione è un GA multi-obiettivo, è necessario ottimizzare due funzioni contemporaneamente:

Discussion of the results and conclusions

Found results by GAs seem promising and important. However, even if shown results appear to be robust and substantial, considering the relatively limited number of test permutations to be computed for the time-cost-quality fitness function (6561 permutations for 8 activities and 3 options) an alternative approach could be feasible.

In this particular case, the GAs approach has been compared to a "brute-force" one, meaning with brute-force a method with which all design options permutations are evaluated computing their times, costs and quality indexes with the fitness function previously described. The brute-force appears to be highly effective in this context, since it leads to similar results in a few tenths of seconds. On the other hand, as the number of possible options and

variables increases, the GAs approach become a more effective solution even from a computational point of view. In the case study results were consistent and coherent between the two considered approaches.

Moreover, the effectiveness of the fitness function should also be considered. In particular, results were distributed unevenly, showing a gap around a specific range of values, due to the need of having a time limit in the fitness function. Finally, a strong correlation between quality and direct costs emerged from the analysis of the results (Fig. 8) in spite of the aforementioned exceptions. Therefore, a dimensional reduction of the fitness function could be applied, i.e. simplifying the fitness function using only costs or quality indexes vs. time. Actually, this is a common approach used by Project Managers who generally simplify the

time-costs-quality trade-off in a time-costs only approach. This correlation confirms the reliability of the found results.

GAs can aid Project and Construction Managers to implement the selection of the developed design alternatives with the evaluation and trade-off of three KPIs concerning time, cost and quality.

A case study of the optimization of the selection of the different components of two types of external walls (E1 and E2) was used to test the proposed procedure. For each wall type, three different implementation options based on the choice of products have been evaluated: standard market products, innovative products and sustainable products. As the first type of wall (E1) is composed by five layers, the possible solution are 243, while the wall E2 consisting of eight layers, provides

6561 possible solutions. The proposed approach for the simultaneous optimization of time, cost and quality KPIs is based on genetic algorithms (GAs) implemented with Matlab® (MATrix LABoratory). In the multi-objective optimization, few different solution optimizing one or more than one project indicators are found, thus allowing Project and Construction Managers to select the more suitable set of products for the wall components.

Tab. 3 | KPIs per la parete E1
Wall E1 - quality indicators

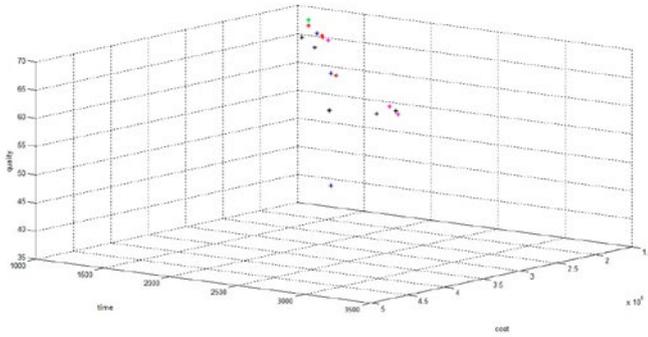
Tab. 3 |

LAYER	OPTIONS	PRICE [€]	DIRECT COST [€]	INDIRECT COST [€]	TIME [h]	Ai	Qi [%]
A. Fibergypsum slab	1	13214,57	10437,68	1565,65	286,28	25%	65,36
	2	23463,30	18545,06	2781,76	286,28		68,57
	3	24081,66	19037,45	2855,62	286,28		40,77
B. Plasterboard slab	1	41098,00	32481,05	4872,16	286,28	10%	86,34
	2	26978,79	21327,67	3199,15	286,28		68,94
	3	18310,31	14470,07	2170,51	286,28		62,56
C. Mineral wool panel	1	53682,76	30488,32	4573,25	160,32	20%	73,10
	2	40193,36	19827,35	2974,10	160,32		39,67
	3	104800,47	82838,17	12425,73	45,80		47,14
D. Polystyrene	1	95215,90	75268,08	11290,21	372,16	20%	58,46
	2	73206,88	57862,41	8679,36	372,16		62,29
	3	98926,05	78199,56	11729,93	372,16		34,84
E. Brick walls	1	458364,34	362345,90	54351,88	3922,00	25%	62,63
	2	95116,39	75192,62	11278,89	235,32		64,19
	3	424031,14	335205,65	50280,85	2353,20		63,73

Tab. 4 | KPIs per la parete E2
Wall E2 - quality indicators

Tab. 4 |

LAYER	OPTIONS	PRICE [€]	DIRECT COST [€]	INDIRECT COST [€]	TIME [h]	Ai	Qi [%]
A. Plasterboard slab	1	61182,00	48352,95	7252,94	887,21	20%	65,76
	2	144260,35	114006,49	17100,97	887,21		66,11
	3	146318,67	115670,89	17350,63	887,21		62,21
B. Fibergypsum slab	1	40953,61	32347,68	4852,15	887,21	5%	65,36
	2	72715,73	57473,46	8621,02	887,21		68,57
	3	74632,11	58999,47	8849,92	887,21		40,77
C. Mineral wool panel	1	166369,62	94487,16	14173,07	496,84	10%	73,10
	2	124564,28	61447,45	9217,12	496,84		39,67
	3	324789,84	256725,92	38508,89	141,95		47,14
D. Mineral wool panel	1	154658,45	94487,16	14173,07	496,84	10%	73,10
	2	112853,11	61447,45	9217,12	496,84		39,67
	3	324789,84	256725,92	38508,89	141,95		47,14
E. Breathable water-proof tissue for concrete slabs	1	17140,90	13557,81	2033,67	53,23	15%	66,28
	2	18063,60	14313,18	2146,98	212,93		62,65
	3	40527,75	32028,99	4804,35	212,93		60,76
F. Plasterboard slab	1	127367,87	100662,85	15099,43	887,21	5%	86,34
	2	83610,67	66097,15	9914,57	887,21		68,94
	3	56745,95	44844,56	6726,68	887,21		62,56
G. Polystyrene	1	295086,05	233265,25	34989,79	1153,37	15%	58,46
	2	226877,34	179322,89	26898,43	1153,37		62,29
	3	306584,29	242350,28	36352,54	1153,37		34,84
H. Brick walls	1	1074417,47	849347,83	127402,17	9193,27	20%	62,63
	2	1579422,18	1248556,39	187283,46	9193,27		60,55
	3	993939,58	785730,40	117859,56	5515,96		63,73



04 | Grafico tempo-costo-qualità parete E1: le soluzioni dello stesso gruppo di opzioni sono equipotenziali

Time-Cost-Quality Chart for wall E1: Solutions belonging to the same set of options are equipotential to the given problem

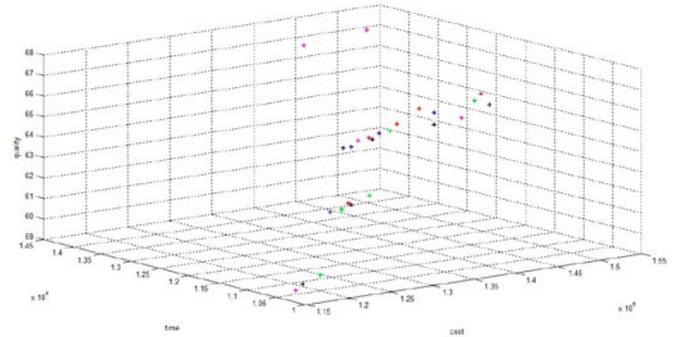
1) Minimizzare: $C = \sum_{i=1}^n C(i) + C_i - k(T_t - T_a)$

2) Massimizzare: $Q = \sum_{i=1}^n A_i \times Q_i$

Dove: C = costo totale; C (i) costi diretti del componente; Ci costi indiretti $C_i = C_d \times 0,15$; Tt massima durata del progetto consentita; Ta durata dell'opzione selezionata; k = ki = fattore di incentivazione quando $(T_t - T_a) > 0$ e $k = k_p$ = fattore di penalità quando $(T_t - T_a) < 0$; Q qualità totale della parete; Ai peso relativo del componente; Qi indicatore qualità del componente.

Un grafico 3D delle soluzioni trovate (ogni test è rappresentato da un colore diverso) è rappresentato in termini di tempo, costo e qualità nei grafici in Fig. 4 e 5. Le soluzioni appartenenti allo stesso insieme di opzioni sono equipotenziali al problema dato. In particolare, vengono trovati degli insiemi limitati di soluzioni. Queste soluzioni possono essere facilmente ottenute fissando una o due variabili specifiche.

Dai risultati ottenuti e dai grafici presentati, si può vedere come le tecniche multi-obiettivo forniscano un insieme di soluzioni ottimali tra cui il progettista può scegliere quello ritenuto più conveniente. Alcuni esempi dal caso della parete E2 possono



05 | Grafico tempo-costo-qualità parete E2: le soluzioni dello stesso gruppo di opzioni sono equipotenziali

Time-Cost-Quality Chart for wall E2: Solutions belonging to the same set of options are equipotential to the given problem

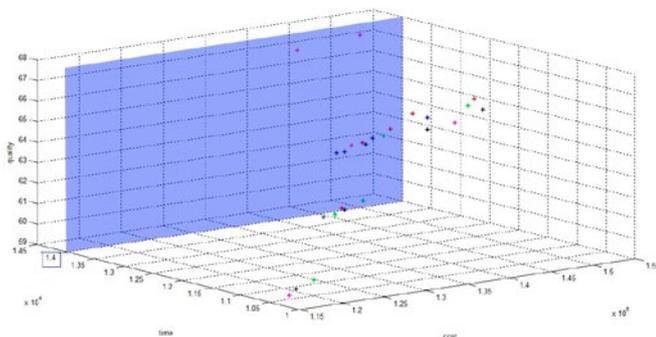
no suggerire come usare i risultati trovati. Supponiamo che il Project Manager imponga un limite di tempo, ad esempio che il tempo sia inferiore a $1,4 \times 10^4$ ore. Un piano nel grafico T-C-Q viene generato su questo valore e le possibili soluzioni saranno tutte quelle dietro questo piano (Fig. 6).

Oppure si supponga che il Project Manager imponga più di un limite, ad esempio che la qualità sia superiore al 62%, ma anche che il costo sia inferiore a $1,5 \times 10^6$ €. È possibile tracciare i due piani limite di soglia nel grafico T-C-Q. Le soluzioni ottimali saranno quindi quelle sopra il piano di qualità ma prima del piano dei costi (Fig. 7).

Discussione dei risultati e conclusioni

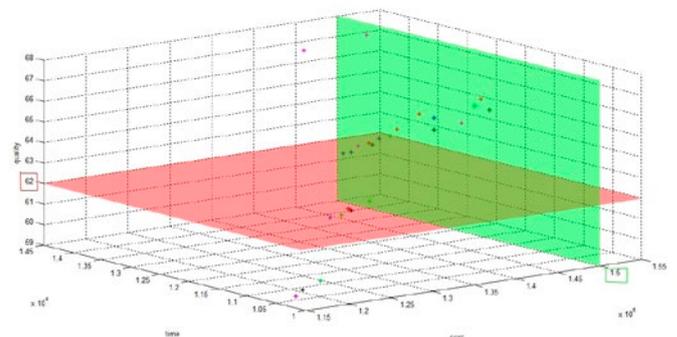
I risultati trovati con i GA sembrano incoraggianti e significativi. Tuttavia, anche se i risultati

mostrati sembrano essere robusti e sostanziali, considerando il numero relativamente limitato di permutazioni da calcolare nel test della funzione fitness tempo-costo-qualità (6561 permutazioni per 8 attività e 3 opzioni) sembra essere percorribile anche un approccio alternativo. In questo caso specifico, è stato confrontato l'approccio GA con l'approccio "brute force", inteso



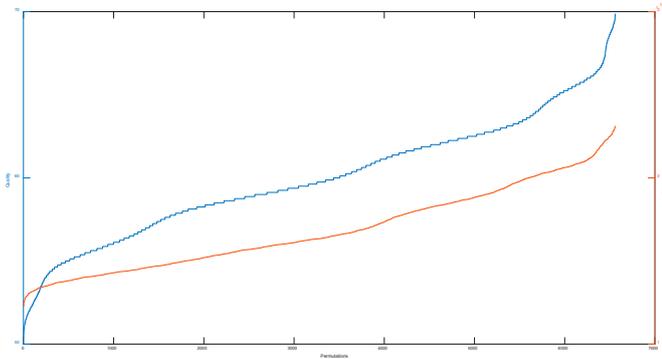
06 | Grafico tempo-costo-qualità dove tutte le alternative selezionate hanno una durata inferiore a $1,4 \times 10^4$ ore

Time-cost-quality Chart where are selected options having time less than $1,4 \times 10^4$ hours



07 | Grafico tempo-costo-qualità dove sono selezionate le alternative che hanno una qualità superiore al 62% ma costo inferiore a $1,5 \times 10^6$ €; Le soluzioni ottimali sono quelle sopra il piano della qualità soglia (rosso) ma prima del piano dei costi soglia (verde)

Time-cost-quality Chart where are selected options having quality higher than 62% but also cost less than $1,5 \times 10^6$ €; The optimum solutions will therefore be those above the quality threshold plan (red) but before the cost threshold plan (green)



come un metodo in cui tutte le permutazioni delle alternative progettuali vengono valutate calcolando tempi, costi e qualità con la funzione di fitness precedentemente descritta. L'approccio "brute force" sembra essere molto efficace in questo contesto, dal momento che porta a risultati simili a quelli del GA in pochi decimi di secondo. D'altra parte, con l'aumentare del numero di possibili opzioni e variabili, l'approccio GA ritorna la soluzione più efficace anche dal punto di vista computazionale. Nel caso di studio presentato i risultati sono stati consistenti e coerenti nei due approcci considerati.

Oltre a questo, è necessario valutare anche l'efficacia della funzione fitness. In particolare, l'insieme dei risultati è distribuito in modo non uniforme, mostrando un gap attorno a un intervallo specifico di valori causato dalla necessità di avere un limite di tempo nella funzione fitness. Infine, nonostante le eccezioni precedentemente evidenziate, emerge una forte correlazione tra qualità e costi diretti dall'analisi dei risultati. Questo può consentire una riduzione dimensionale della funzione di fitness, cioè la semplificazione della funzione utilizzando solo i costi o gli indici di qualità rispetto al tempo. In realtà, questo è proprio l'approccio pratico usato in genere dai Project Managers che semplificano l'ottimizzazione tempo-costi-qualità con il solo bilanciamento tempo-costi. Questa correlazione conferma comunque la plausibilità dei risultati trovati.

Gli Algoritmi Genetici possono aiutare i Project e Construction Managers a realizzare la selezione di alternative progettuali a livello di progettazione esecutiva o costruttiva valutando il trade-off di tre KPI relativi a tempo, costi e qualità.

La procedura proposta è stata analizzata tramite il caso di studio dell'ottimizzazione della selezione dei diversi materiali componenti la stratigrafia di due tipi di pareti esterne (E1 ed E2). Per ogni tipo di parete sono disponibili tre diverse opzioni di realizzazione basate sulla scelta dei prodotti da costruzione per la realizzazione della soluzione tecnica: prodotti standard di mercato, prodotti innovativi e prodotti sostenibili. Poiché il primo tipo di parete (E1) è composto da cinque strati, le soluzioni possibili sono 243, mentre per la parete E2, composta da otto strati, ci sono 6561 possibili soluzioni. L'approccio proposto per l'ottimizzazione simultanea dei KPI relativi a tempi, costi e qualità si basa su algoritmi genetici (GA) implementati con Matlab® (MATrix LABoratory). Nell'ottimizzazione multi-obiettivo, si trovano poche soluzioni diverse che ottimizzano uno o più indicatori di progetto, consentendo quindi Project e Construction Managers di selezionare il set di prodotti ritenuto più adatto per i componenti della parete.

REFERENCES

- Anderson, S.D. and Russel J.S. (2001), "Guidelines for Warranty, Multi-Parameter and Best Value Contracting", *Transportation Research Board*, USA.
- Bragadin, M. and Kahkonen, K. (2013), "Quality Evaluation of Construction Activities for Project Control", *Journal of Frontiers in Construction Engineering*, Vol. 2, Issue 1, pp. 17-24.
- Dong, N., Dongdong, G., Fischer, M. and Haddad, Z. (2012), "A genetic algorithm-based method for look-ahead scheduling in the finishing phase of construction projects", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 26, pp. 737-748.
- El-Rayes, K. and Kandil, A. (2005), "Time-Cost-Quality Trade-Off Analysis for Highway Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 131 (4), pp. 477-486.
- Goldberg, D.E., Holland, J.H. (1988), *Genetic Algorithm and Machine Learning*. *Machine Learning 3*, Kluwer Academic publishers, Alphen aan den Rijn, NL.
- Holland, J.H. (1975), *Adaption in natural and artificial systems*, The MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Kandil, A. and El-Rayes, K. (2006), "Macros: Multiobjective Automated Construction Resource Optimization System", *Journal of Management in Engineering*, ASCE Vol. 22, No.3.
- Madeddu, D. (2011), *Architetture genetiche-Gli algoritmi genetici come strumento di ottimizzazione in architettura*.
- Magalhães-Mendes, J. (2011), "A Two-level Genetic Algorithm for the Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem", *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, Vol. 5, Issue 3, pp. 271-278.
- Minchin, R.E., Hammons, M.I. and Junyong, A. (2008), "A Construction Quality Index for Highway Construction", *Construction Management and Economics*, Vol. 26, pp. 1313-1324.
- Minchin, R.E. and Smith, G.R. (2001), *Quality-Based Performance Rating of Contractors for Prequalification and Bidding Purposes*, National Cooperative Highway Research Program NCHRP, USA.
- Parmenter, D. (2007), *Key Performance Indicators-Developing Implementing and Using Winning KPIs*, John Wiley & Sons, Inc.
- San Cristóbal, J.R. (2009), "Time, Cost, and Quality in a Road Building Project", *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 1271-1274.
- Sorrentino, M. (2013), "Genetic Algorithms for Construction Time-Cost-Quality Trade-Off: A Road Project Case Study", *Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura*, *Construction Management*, pp. 163-176.

Superuse e upcycling dei materiali di scarto in architettura: progetto e sperimentazione

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Serena Baiani, Paola Altamura,
Dipartimento PDTA, Sapienza Università di Roma, Italia

serena.baiani@uniroma1.it
paola.altamura@uniroma1.it

Abstract. Il programma di ricerca sull'applicazione dell'economia circolare all'ambiente costruito, la cui urgenza è proclamata a livello comunitario e nazionale, lavora su due approcci complementari: riuso (*superuse*) e riciclo (*upcycling*). Il primo, teorico ed applicato a un caso pilota, con uno dei primi tentativi di trasporre all'Italia il processo di *scouting* degli scarti per la creazione di *harvest map* a supporto del progetto. Il secondo, con la start up Atlante Inerti Project che, con fondi dell'EIT, sperimenta un inedito uso di aggregati riciclati per la produzione di manufatti in CLS per l'arredo urbano con stampa additiva 3D in sabbia e prefabbricazione con vibro-compressione, caratterizzando conglomerati dalle prestazioni convincenti di interesse per ulteriori applicazioni in edilizia.

Parole chiave: Superuse; Upcycling; Materiali da costruzione; Economia circolare; Sperimentazione.

Introduzione

L'ambito di ricerca e sperimentazione del GdR sviluppa l'applicazione dell'approccio circolare all'ambiente costruito, ponendo la fase di scelta dei materiali da costruzione tra i primi step del processo progettuale. L'individuazione di materie disponibili a scala locale, in particolare attraverso la valorizzazione degli scarti provenienti anche da altre filiere, è intesa come prerequisito per il progetto, coerentemente con l'istanza della drastica riduzione del consumo di materie prime nel settore edilizio. La ricerca segue infatti l'orientamento interpretativo introdotto da Commoner sulla *chiusura del cerchio* (1971), riformulato nel modello *Cradle to Cradle* che, eliminando il concetto stesso di rifiuto, propone un approccio secondo il quale devono essere le preziose sostanze nutritive contenute nei materiali a modellare il progetto e a definirlo (McDonough e Braungart, 2002). Del resto, il problema dell'elevato costo ambientale e socio-economico delle materie prime in edilizia e l'obiettivo della chiusura dei cicli di produzione, fondamentale nel delineare il paradigma ecologico, emergono nella centralità che l'UE riconosce ai processi di

economia circolare applicati al settore edile, strategico per il volume di materiali impiegati e rifiuti prodotti. Già nel 2008, la Dir. 98 sui rifiuti fissava un target per l'aumento del tasso di recupero degli scarti da costruzione e demolizione (C&D) che, entro il 2020, dovranno essere riutilizzati o rigenerati in materie prime seconde (MPS) per almeno il 70% in peso. La *Roadmap verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse* (2011) ed il pacchetto di misure "L'anello mancante" (2015), rafforzato nel 2018 con modifiche alle Dir. UE rifiuti e *circular economy*, hanno rimarcato l'importanza di strumenti trasversali, come gli appalti pubblici "verdi", nel superamento delle barriere di mercato in settori critici come l'edilizia. Coerentemente, il *Work Programme 2018-2020* di H2020 - *Climate action, environment, resource efficiency and raw materials* - pone il focus sul ruolo delle pratiche di economia circolare nei processi di rigenerazione urbana, sulla valorizzazione dei sottoprodotti e la promozione dello sviluppo di processi sostenibili di lavorazione, recupero, riuso e riciclo dei materiali da costruzione. In Italia, nonostante virtuose norme di settore siano in vigore da vent'anni (D.lgs. 22/1997), solo nel 2015 si è reso cogente il recupero dei rifiuti da C&D per gli interventi su edifici pubblici, con l'introduzione dei Criteri Ambientali Minimi per l'Edilizia del PAN GPP (Piano d'Azione Nazionale per il Green Public Procurement), la cui adozione è obbligatoria ai sensi del nuovo Codice degli Appalti. I Criteri prescrivono il ricorso a prodotti con contenuto di riciclato, la produzione di piani per il disassemblaggio dei nuovi edifici, la redazione di audit pre-demolizione prima di qualsiasi intervento che preveda la sostituzione di porzioni edilizie, il recupero del 70% in peso dei materiali e l'adozione dello strumento del piano di gestione dei rifiuti di cantiere, sostenendo il ricorso alla demolizione selettiva.

Waste materials
superuse and upcycling
in architecture: design
and experimentation

Abstract. The research programme on the implementation of circular economy in the built environment, whose urgency is acknowledged both at national and at EU level, works on two complementary approaches: reuse (*superuse*) and recycling (*upcycling*). The first, theoretical and applied to a pilot case, is one of the first attempts to transpose to Italy the waste materials *scouting* and harvest mapping process as part of the design project. The second, with the start-up Atlante Inerti Project, which, with EIT funds, experiments an original use of recycled aggregates for the production of urban furniture elements with additive 3D printing and prefabrication of vibration compressed concrete, developing mixes with convincing performances of interest for further applications in the building industry.

Keywords: Superuse; Upcycling; Building materials; Circular economy; Experimentation.

Introduction

The research and experimentation field of the Research Group (RG) develops the implementation of the circular approach to the built environment, by acknowledging the phase of building materials selection among the first steps of the design process. The identification of materials available on a local scale, in particular through the valorisation of waste coming from other sectors, is intended as a prerequisite for the project, in line with the demand for a drastic reduction in the consumption of raw materials in the construction sector. The research follows, in fact, the interpretative orientation introduced by Commoner on the *closing circle* (1971), reformulated in the *Cradle to Cradle* model which, by eliminating the very concept of waste, envisages that the precious nutrients contained in materials should shape

the project and define it (McDonough and Braungart, 2002). Moreover, the problem of the high environmental and socio-economic costs of raw materials consumption in buildings and the objective of closing production cycles, fundamental in delineating the ecological paradigm, arise as a priority for the relevance given by the EU to the circular economy processes applied to the construction sector, strategic for the volume of materials used and waste produced. Since 2008, the EU Dir. 98 on waste has set a target for increasing the rate of recovery of construction and demolition waste (C&D) that, by 2020, will have to be reused or regenerated in secondary raw materials (SRM) for at least 70% by weight. The *Roadmap to a Resource Efficient Europe* (2011) and the *Closing the loop* EU action plan (2015), strengthened in 2018 with amend-

Obiettivi del programma di ricerca: progettare la material resource efficiency in architettura

In questo quadro, le riflessioni e ricerche avviate da diversi anni dal GdR, con l'obiettivo di incrementare la *resource efficiency* innovando le modalità di selezione dei materiali, si dimostrano coerenti per l'approccio incentrato sulla circolarità del ciclo di vita dell'edificio/dei prodotti da costruzione e sulle interrelazioni con il ciclo del progetto e del processo edilizio. Le molteplici potenziali ricadute culturali e socio-economiche di tale approccio si indirizzano a più stakeholder (progettisti, produttori, costruttori, riciclatori, stazioni appaltanti pubbliche e private) poiché molti sono i soggetti coinvolti nell'attivazione di processi circolari. La ricerca tecnologica può contribuire al raggiungimento di due obiettivi: da un lato, con la definizione di modalità di approccio al progetto, procedure di selezione e *procurement* dei prodotti, tool per la raccolta ed organizzazione dei *data set* sui materiali, strumenti di supporto che favoriscano, tra gli attori del processo edilizio, un *decision making* mirato ad ottimizzare l'uso dei materiali sotto il profilo ambientale; dall'altro, con la sperimentazione applicata per l'ideazione e sviluppo di soluzioni tecniche che consentano di reintrodurre in edilizia i rifiuti da C&D evitando gli attuali processi di *downcycling* ed attivando filiere circolari locali. Il programma di lavoro più recente del GdR, avviato nel 2012 con l'obiettivo di individuare strategie ed opzioni tecniche praticabili in Italia, è stato impostato nella ricerca "Gestione efficace dei materiali da costruzione nel ciclo vita dell'edificio. Strumenti per la prevenzione, il riuso e il riciclo dei rifiuti da C&D"¹, sviluppata con il centro BRE (UK). Lo studio, in una prima fase, ha verificato le possibilità di trasferimento al contesto

ments to the waste and circular economy directives, stress the importance of cross-cutting tools, such as Green Public Procurement (GPP), in overcoming the market barriers in critical sectors like construction. Consistently, the H2020 *Work Programme 2018-2020 – Climate action, environment, resource efficiency and raw materials* – focuses on the role of circular economy practices in urban regeneration processes, on the enhancement of by-products and of the development of sustainable ways of processing, recovery, reuse and recycling construction materials. In Italy, despite virtuous regulations have been in place for 20 years (D.lgs. 22/1997), only since 2015 the recovery of C&D waste has become mandatory for interventions on public buildings, with the introduction of the Environmental Criteria for Building Design, Construction and Maintenance of the

Italian GPP NAP (National Action Plan on GPP), which are compulsory in accordance with the new Procurement Code. The Criteria require the use of products with recycled content, the production of disassembly plans for new buildings, the preparation of pre-demolition audits before any type of demolition, the recovery of 70% by weight of C&D waste and the adoption of the site waste management plan tool, while promoting the use of selective demolition.

Objectives of the research programme: design for material resource efficiency in architecture

In this context, the studies and researches conducted by the RG in the last years, with the aim of increasing resource efficiency by innovating the methods of selection, procurement and use of materials, are consistent

italiano delle best practice internazionali (*Designing out Waste, Design for Deconstruction*), sviluppandosi poi con diverse sperimentazioni quali la redazione di audit pre-demolizione finalizzati al riuso di componenti edilizi², l'applicazione e la validazione di software per la previsione e gestione dei rifiuti di cantiere³. La ricerca ha quindi condotto alla definizione di linee guida per la selezione e gestione dei materiali nell'intero processo edilizio, relazionate alle fasi del ciclo di vita dell'edificio e correlate ad un set di strumenti di supporto decisionale.

Il tema di ricerca, in seguito, ha trovato sviluppo da parte del GdR attraverso due diversi livelli di approfondimento teorico e sperimentale sui temi del riuso – inteso come *superuse*⁴ – prioritario e preferibile sotto il profilo ambientale, e del riciclo – inteso come *upcycling*⁵ – applicato in modo residuale agli scarti non riutilizzabili se non riprocessati, con attività di ricerca condotte in parte nel Dipartimento PDTA dell'Università "Sapienza" di Roma, in parte con il progetto della start up Atlante Inerti Project.

Superuse: il progetto tecnologico a partire dallo scouting di materiali di recupero

Il primo ambito di ricerca è riferito al processo di *scouting* dei materiali di scarto (Jongert et al., 2007) idonei all'uso in architettura (sottoprodotti, scampoli, prodotti difettati, giacenze d'inventuti, surplus di produzione, scarti di lavorazione, rifiuti da C&D, etc.) reperibili nell'area adiacente al sito d'intervento, entro una distanza limitata in media ad un raggio di 25 km, finalizzato alla creazione di *harvest map* come premessa al progetto. La sistematizzazione di tale fase nel processo è finalizzata alla valorizzazione progettuale degli scarti locali con azioni di *superuse* e, di conseguenza, alla ridu-

an environmental point of view; on the other hand, with experimentation applied to the design and development of technical solutions allowing to re-introduce C&D waste into buildings, avoiding the current *downcycling* processes and activating local circular supply chains.

The most recent work program of the RG, launched in 2012 with the aim of identifying strategies and technical options adoptable in Italy, has been set in the research "Eco-effective management of the life cycle of building materials. Tools for the prevention, reuse and recycling of C&D waste"¹, developed with the BRE centre (UK). The study, in a first phase, verified the possibility of transferring international best practices (*Designing out Waste, Design for Deconstruction*) to the Italian context; then it developed with different experiments such as the prepa-

Technological research can contribute to the achievement of two objectives: on the one hand, with the definition of: methodologies for approaching the project, selection and procurement procedures of products, tools for collecting and organizing data sets on materials, supporting tools favouring, among the stakeholders of the building process, a decision making aimed at optimizing the use of materials from

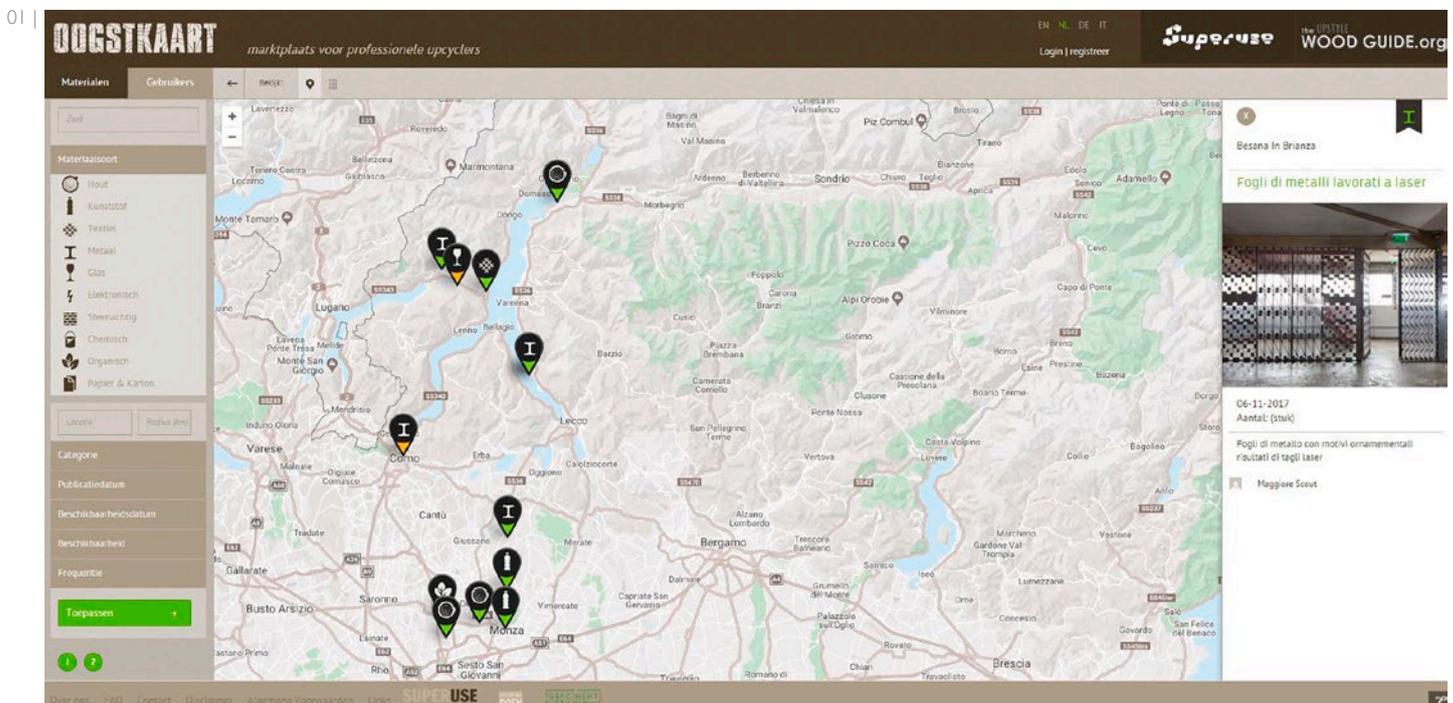
zione dell'energia incorporata nei materiali impiegati, all'eliminazione dei consumi e delle emissioni per la produzione e il trasporto di materiali "nuovi" ed all'attivazione di processi di economia circolare a piccola scala. Il GdR indaga, in particolare, le ricadute che un'anticipata mappatura dei materiali disponibili in situ attiva sul progetto, sia in termini di ottimizzazione nell'uso delle risorse, sia di caratterizzazione materica dell'architettura, e le potenzialità di trasposizione di questa strategia in un'opzione tecnica altamente replicabile.

L'approccio è stato approfondito attraverso una prima applicazione su Roma, nell'area del sito ex industriale Papareschi, nell'ambito di una Tesi di laurea avviata nel 2017 con il Politecnico di Torino⁶. Il progetto, finalizzato al recupero degli ex stabilimenti Miralanza con l'impiego di materiali di scarto reperiti in loco, ha applicato un processo che dalla fase di *scouting* ha portato alla creazione di una *harvest map*, alla ridefinizione di funzioni e spazi ed al progetto tecnologico di componenti edilizi con materie di recupero e reversibili.

La sperimentazione è stata applicata, quindi, ad un caso pilota (avviato a settembre 2017 e in fase di realizzazione) sviluppato dall'arch. Césare Peeren dello studio olandese Superuse Studios⁷ in collaborazione con il GdR. L'intervento ha visto la redazione di una *harvest map* nell'area tra Como e Milano (Fig. 1) per individuare, presso aziende locali, materiali di scarto che potessero essere impiegati nel recupero di una villa storica vincolata sul lago

di Como, realizzata in muratura portante in pietra con solai lignei. Indagini preliminari su base geografica, condotte da un team multidisciplinare⁸ per la selezione di aziende coinvolgibili, hanno permesso con successivi sopralluoghi di identificare e analizzare i materiali di scarto reperiti, al fine di comprendere le caratteristiche dei flussi di risorse non reintrodotti nei cicli produttivi propri o di altri soggetti. È stato possibile, quindi, comporre un database di risorse disponibili rilevando per ciascun *record* molteplici dati (categoria di scarto, tipologia di materiale, dimensioni, quantità e frequenza di produzione, prezzo). Sono stati selezionati materiali idonei all'impiego come stratificazioni dell'involucro e delle partizioni verticali e orizzontali dell'edificio storico e/o come componenti e materiali per le finiture e l'arredo quali: scarti di lavorazioni di tessuti (seta difettata e cimose tessili); sottoprodotti derivati dal taglio laser di lamiere metalliche; eccedenze di produzione di pannelli sandwich metallici; macchinari tessili in disuso, composti da diversi profilati metallici; scarti del processo produttivo di malte/resine per finiture. Si è, dunque, lavorato per coordinare la fase di approvvigionamento dei materiali, rapportandosi direttamente con le aziende produttrici degli scarti per definire aspetti procedurali ed economici per la fornitura.

Il progetto ha permesso, attraverso la collaborazione tra Superuse Studios e l'Associazione Giacimenti Urbani, l'apertura della pagina italiana del portale open source *Harvest Map*⁹.



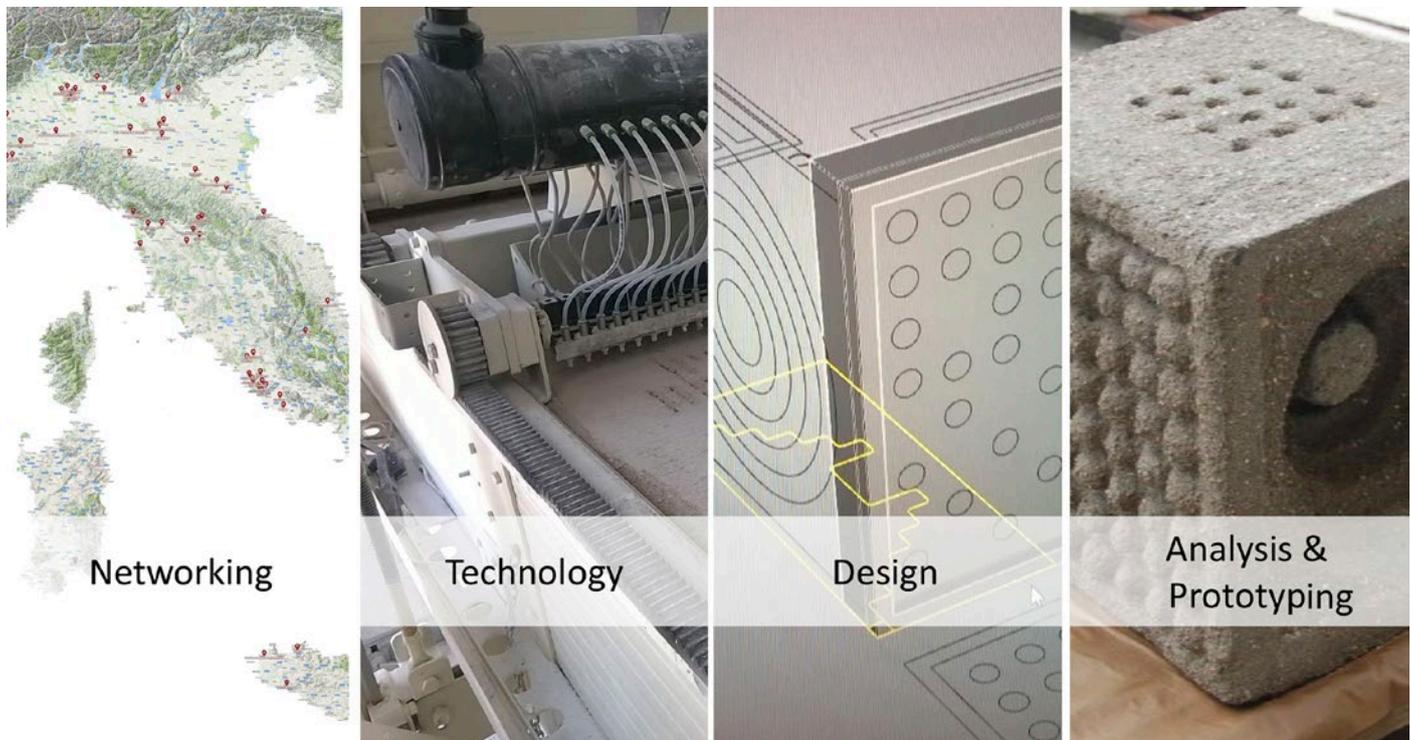
La sperimentazione applicata all'upcycling dei rifiuti inerti in edilizia

Il secondo ambito di ricerca nasce dall'obiettivo di affrontare, attraverso la strategia dell'upcycling, la complessa sfida del re-impiego in edilizia degli aggregati derivanti dal riciclo di rifiuti inerti misti da C&D. Gli inerti costituiscono in Italia circa l'80% delle oltre 52 milioni di ton. /anno di rifiuti prodotti in edilizia (ISPRA, 2017), un volume la cui quantificazione soffre una conclamata incertezza (FISE UNIRE, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2017) dovuta ad una raccolta dati non capillare sul territorio nazionale, da cui sfuggono i volumi minimi ed i rifiuti gestiti in modo illegale. Gli inerti correttamente riciclati (circa il 70% in base ad alcune stime) sono impiegati prevalentemente in opere stradali e recuperi ambientali e, solo in misura molto limitata, in edilizia (riempimenti e sottofondi). In questo quadro si è sviluppato Atlante Inerti Project (AIP), progetto di informazione, ricerca e sviluppo da cui è derivato un progetto d'impresa, con l'obiettivo di promuovere usi innovativi degli inerti riciclati, attraverso la progettazione, sperimentazione e prototipazione di elementi di arredo urbano, in prima fase, e componenti edilizi in calcestruzzo. AIP ha elaborato una mappa geo-referenziata di fornitori di aggregati certificati sul territorio nazionale¹⁰, che evidenzia l'offerta e favorisce l'incontro con la domanda attraverso attività di networking tra produttori (impianti

di riciclaggio) e potenziali utilizzatori (industrie, imprese di costruzione). La piattaforma (Fig. 2), ideata nell'ambito del workshop "LOWaste for Action"¹¹ del progetto EU LIFE+ LOWaste (Ferrara 2013-2014), è il primo database specifico in Italia e nasce da un'attività di benchmarking che ha evidenziato l'importanza degli strumenti di informazione per identificare produttori qualificati di MPS e favorire il ricorso ai materiali recuperati. Il GdL, a supporto dell'AIP, ha intrapreso, dal 2016, attività di progettazione e prototipazione di manufatti in CLS ad alte prestazioni con l'uso esclusivo di aggregati riciclati, identificando le più idonee tecnologie standard ed innovative per una sperimentazione inedita in Italia. Le attività, finanziate da due bandi della *Climate-KIC* dello EIT (European Institute of Innovation & Technology)¹², si sono concretizzate in due diverse applicazioni che hanno dimostrato la fattibilità dell'impiego di sabbie riciclate per la produzione di manufatti prefabbricati in CLS, come illustrato di seguito.

L'impiego della sabbia riciclata nella stampa additiva 3D

La prima sperimentazione ha riguardato l'uso di aggregati riciclati nella stampa additiva 3D di grandi dimensioni, che impiega sabbia e leganti minerali per realizzare manufatti monolitici in conglomerato. Tale tecnica, sviluppata in Italia e coperta da brevetto¹³, permette di generare forme complesse, funzionali alla rea-



lizzazione di componenti edilizi e manufatti per l'arredo urbano con forte valore estetico che possano conferire valore aggiunto alle MPS, con assenza di scarti nel processo produttivo ed impiego di un legante magnesico a bassa energia incorporata. Alla fase di sperimentazione con la stampante, impiegata per la prima volta da AIP con l'uso di sabbia riciclata da C&D¹⁴, è seguita una fase di caratterizzazione del conglomerato innovativo, con prove sperimentali svolte dal Laboratorio CertiMaC di Faenza (ENEA, CNR) su due campioni realizzati con legante magnesico e cementizio, al fine di valutare e confrontare i livelli di resistenza meccanica raggiungibili con la tecnica di stampa e l'uso di diversi leganti.

I risultati dei test (determinazione di massa volumica apparente, resistenza a flessione e compressione, modulo elastico e coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità) hanno evidenziato che il CLS realizzato è caratterizzato dall'anisotropia tipicamente conferita dal processo di stampa additiva. Il legante magnesico, migliore sotto il profilo ambientale, si è dimostrato meno performante del cemento, dal punto di vista meccanico, con resistenza a compressione in rapporto 1 a 4 (Fig. 3): il conglomerato legato con magnesio, arriva ad una resistenza a compressione pari a 7 MPa, a differenza del cementizio che raggiunge i 25 MPa. Il secondo conglomerato ha una classe di resistenza C20/25 (CLS ordinario – NSC), medio-alta, risultando impiegabile per diverse tipologie di manufatti (non strutturali, ai sensi del DM 17/01/2018, poiché la sostituzione degli aggregati naturali con riciclati nella miscela è pari al 100%).

Con il supporto della società proprietaria del brevetto D-Shape, si è poi realizzato un prototipo (cubico, di lato 60 cm, con 6 facce estremamente differenziate e modellate in 3D, utilizzabile come seduta o dissuasore) appositamente progettato per testare la resa

tecnica ed estetica della miscela in riciclato, con adozione del legante cementizio, per le sue maggiori potenzialità. Il processo di stampa ha seguito le fasi di miscelazione di aggregato e legante (sabbia riciclata 0-4 mm e cemento BASF Master Emaco A640); stampa del modello (Fig. 4a) in circa due ore e mezza; svuotamento del modello dalla sabbia non legata (Fig. 4b).

Il prototipo stampato (Fig. 4c) ha rappresentato un esito convincente sotto il profilo estetico e prestazionale. Il processo produttivo, tuttavia, si è dimostrato non completamente soddisfacente dal punto di vista realizzativo ed economico, in riferimento alle tempistiche e ai costi d'impiego della stampante, elevati a causa di alcuni aspetti non ancora risolti sul macchinario che comportano la necessità di supervisione di personale specializzato.

L'impiego degli aggregati riciclati in manufatti vibro-compresi

La seconda sperimentazione si è concentrata sulla produzione di manufatti modulari per l'arredo urbano prodotti con la vibro-

compressione del CLS, realizzato con 100% di aggregati riciclati, adottando la stessa sabbia utilizzata per la stampa 3D. Infatti, su richiesta del produttore della sabbia Ricoeso, il GdL ha progettato un sistema di moduli triangolari componibili per sedute, fioriere, recinzioni, impiegabili anche come elementi per pavimentazioni autobloccanti, con particolare cura nel design di prodotto.

Dopo la fase di progettazione, il GdL ha curato lo sviluppo e caratterizzazione del mix del conglomerato più idoneo per realizzare i moduli. Con la consulenza di un Laboratorio specializzato¹⁵ sono state svolte attività di identificazione delle esigenze per la produzione industriale di moduli per manufatti di arredo urbano; prelievo, analisi e caratterizzazione di sabbia riciclata e

ration of pre-demolition audits aimed at the reuse of building components² as well as the application and validation of software for the forecasting and management of C&D waste³. The research has therefore led to the definition of guidelines for the selection and management of materials throughout the building process, related to the phases of the building life cycle and related to a set of decision supporting tools.

The research topic, thereafter, has been developed by the RG through two different levels of theoretical and experimental analysis on the issues of reuse – interpreted as *superuse*⁴ – overriding and preferable from an environmental point of view, and recycling – understood as *upcycling*⁵ – applied in a residual way to non-reusable waste, with research activities conducted in part at PDTA Dep. of Sapienza University of

Rome, in part with the start-up Atlante Inerti Project.

Superuse: architecture technological design starting from waste materials scouting

The first research area refers to the *scouting* process of waste materials (Jongert et al., 2007) suitable for use in architecture (by-products, defective products, dead stock, leftovers, processing waste, C&D waste, etc.) available in the area adjacent to the intervention site, within a limited distance – on average a radius of 25 km, aimed at creating a *harvest map* as a precondition for the project. The systematization of this phase in the process is aimed at the enhancement of local waste by design with actions of *superuse* and, consequently, at the reduction of the energy embodied in the materials, at the elimination

of consumptions and emissions for the production and transportation of “new” materials, as well as at the activation of small-scale circular economy processes. The RG investigates, in particular, the effects that an early mapping of the materials available in situ activates on the project, both in terms of optimization of the use of resources and of the material characterization of architecture, as well as the potential for transposing this strategy into a highly repeatable technical option.

The approach was investigated through a first application on Rome, in the area of the former industrial site Papareschi, within a degree thesis launched in 2017 with the Politecnico of Turin⁶. The project, aimed at the recovery of the former Miralanza factory on site, has applied a process that from the *scouting* phase led to the creation

of a *harvest map*, to the redefinition of functions and spaces and the technological project of reversible building components with reclaimed materials. The experimentation was then applied to a pilot case (started in September 2017 and under construction) developed by the architect Césare Peeren from the Dutch atelier Superuse Studios⁷ in collaboration with the RG. The intervention saw the preparation of a *harvest map* in the area between Como and Milan (Fig. 1) to identify, among local companies, waste materials that could be used in the recovery of a historic Villa on the Lake Como, a listed buildings constructed with load bearing stone masonry and wooden floors. Preliminary geographic based researches, conducted by a multidisciplinary team⁸ for the selection of potentially interested companies, have allowed – with the following surveys



Summary of the results of the tests carried out on the sample of concrete produced using magnesium (binder) and 0-4 mm recycled sand.			
	U/M	Direction 1	Direction 2
Density	kg/m ³	1.556	1.581
Bending strenght	MPa	1,45	3,96
Compressive strenght	MPa	7,03	6,55
Longitudinal modulus of elasticity E	GPa	5,148	–
Shear modulus of elasticity G	GPa	2,092	–
Poisson's ratio	–	0,231	–
Water capillary absorption coefficient	kg/m ² min 0.5	1,18	0,96



Summary of the results of the tests carried out on the sample of concrete produced using BASF Master Emaco A640 cement and 0-4 mm recycled sand.			
	U/M	Direction 1	Direction 2
Density	kg/m ³	1.598	1.598
Bending strenght	MPa	1,71	3,64
Compressive strenght	MPa	7,87	25,1
Longitudinal modulus of elasticity E	GPa	4,74	11,79
Shear modulus of elasticity G	GPa	1,98	4,99
Poisson's ratio	–	0,197	0,173
Water capillary absorption coefficient	kg/m ² min 0.5	0,64	0,75

03 | Risultati delle prove sperimentali su due campioni di conglomerato con sabbia riciclata prodotti con stampante 3D, Laboratorio CertiMaC
Results of the experimental tests on two samples of concrete with recycled sand produced with 3D printer, CertiMaC Laboratory

– to identify and analyse the waste materials, in order to understand the characteristics of the flows of resources not reintroduced in the production cycles of the same or of other companies. Thus it was possible to compose a database of available resources, noticing multiple data for each *record* (waste category, type of material, size, quantity and frequency of production, price). Then, among these materials, the ones suitable for use as integrative layers of the envelope and of the vertical and horizontal partitions of the historic building and/or as components and materials for finishes and furnishings were selected: fabric processing waste (defective silk and textile selvages); by-products derived from laser cutting of metal sheets; surplus production of metal sandwich panels; disused textile machinery, composed of various metal profiles; waste from the production

process of mortars/resins for architectural finishes. Then, an intense work was needed to coordinate the procurement phase of the materials, dealing directly with the companies producing the selected materials, in order to define procedural and economic aspects for the supply.

The project has allowed, through the collaboration between Superuse Studios and the Giacimenti Urbani Association, the opening of the Italian page of the open source portal *Harvest Map*⁹.

Experimentation applied to the up-cycling of inert waste in the building sector

The second area of research arises from the objective of addressing, through the strategy of *upcycling*, the complex challenge of reintroducing the aggregates deriving from the recycling of mixed inert C&D waste in

the construction sector. In Italy, inert waste represents about 80% of the 52 million tons. of C&D waste produced each year (ISPRA, 2017), a volume whose quantification suffers a recognized uncertainty (FISE UNIRE, Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile, 2017) due to a non-widespread data collection on the national territory, which leaves out small volumes and illegally managed waste. The correctly recycled aggregates (about 70% based on some estimates) are mainly used in road works and environmental recoveries and, only to a very limited extent, in constructions (fillings, bases).

In this framework, Atlante Inerti Project (AIP) was developed, an information, research and development project from which a business project was derived, with the aim of promoting innovative uses of recycled aggregates, through the design, testing and proto-

typing of concrete urban furniture elements, in the first phase, and building components. AIP has developed a geo-referenced map of certified aggregate suppliers in the national territory¹⁰, drawing attention to the supply and encouraging the meeting with demand through networking activities between producers (recycling plants) and potential users (industries, construction companies). The platform (Fig. 2), conceived within the workshop “LO-Waste for Action”¹¹ of the EU LIFE+ LOWaste Project (Ferrara 2013-2014), is the first specific database in Italy and derives from a benchmarking activity highlighting the importance of information tools to identify qualified SRM producers and to encourage the use of reclaimed materials.

Since 2016, the AIP Working Group (WG) has undertaken design and prototyping activities on high-perfor-



04 | Le fasi della prototipazione con stampante additiva 3D in sabbia riciclata: stampa (a), rimozione sabbia non legata (b), prototipo pronto per le rifiniture manuali (c), foto del GdL di AIP

Prototyping phases with additive 3D printer in recycled sand: printing (a), unbound sand removal (b), prototype ready for manual finishing (c), photo by AIP WG

di equivalente materiale naturale per un confronto sul prodotto finale; progettazione dei mix con impasti in laboratorio, per produrre i campioni da sottoporre a prove; valutazioni con test e misurazioni (misure su malta e/o CLS fresco; resistenza meccanica a varie stagionature; resistenza a flessione; misura del ritiro).

I risultati della caratterizzazione (Fig. 7), che per un mix in particolare hanno rivelato il raggiungimento di una resistenza a compressione pari a 34,5 MPa, hanno dimostrato l'idoneità del conglomerato vibro-compresso, con classe di resistenza C25/30, all'impiego in diverse tipologie di manufatti, non strutturali, con prestazioni più elevate rispetto al CLS ottenuto con stampa 3D. La sperimentazione si pone, quindi, come premessa concreta e validata per lo sviluppo di ulteriori applicazioni degli inerti da C&D per la produzione di manufatti ad elevato valore estetico e prestazionale. Un'attenta ricerca sulla texture, testando l'impiego di pigmenti nell'impasto o integrati dopo l'asciugatura del conglomerato e sperimentando trattamenti superficiali alternativi (disattivazione chimica del legante, levigatura e rigatura della superficie) (Fig. 5), ha sollecitato la riflessione su potenziali applicazioni del mix in componenti edilizi di finitura.

La fase di prototipazione degli arredi urbani (Fig. 6) ha permesso ad AIP di valutare diverse tipologie di assemblaggi possibili dei moduli triangoli, alcuni esposti alla Maker Faire Rome¹⁶.

Risultati, limiti e sviluppi futuri della ricerca

Le attività di ricerca in corso sul *superuse* permettono di rilevare che il progetto con le materie di recupero sta sviluppando un lessico evolutivo rispetto alle pionieristiche esperienze del primo decennio del Duemila. L'affina-

mance CLS products with the exclusive use of recycled aggregates, identifying the most suitable standard and innovative technologies for this unprecedented experimentation in Italy. These activities, financed through two calls of the EIT (European Institute of Innovation & Technology) *Climate-KIC*¹², resulted in two different applications, demonstrating the feasibility of using recycled sand for the production of prefabricated concrete products, as described below.

The use of recycled sand in 3D additive printing

The first experimentation involved the use of recycled aggregates in a large 3D additive printer, which uses sand and mineral binders to make monolithic concrete products. This technique, developed in Italy and covered by patent¹³, makes it possible to generate

complex forms, functional to the construction of building components and urban furniture elements with high aesthetic value, giving added value to the SRM, with no waste in the production process and using a low embodied energy magnesium binder. After the experimentation phase with the printer, used for the first time by AIP with a recycled sand from C&D¹⁴, a phase of characterization of the innovative concrete was carried out with experimental tests developed by the CertiMaC Laboratory in Faenza (ENEA, CNR) on two samples made with a magnesium and cementitious binder. The objective was to evaluate and compare the mechanical resistance levels achievable with the printing technique applied to recycled aggregates with the use of two different binders. The results of the tests (determination of apparent density, resistance to bend-

ing and compression, modulus of elasticity and water capillary absorption coefficient) show that the concrete is characterized by the anisotropy typically conferred by the additive printing process. The magnesium binder, preferable from the environmental point of view, proved to be less efficient than cement in terms of mechanical properties, with a compressive strength in the ratio 1 to 4 (Fig. 3): the magnesium bonded concrete proved to have a compressive strength of 7 MPa, while the cement reached 25 MPa. The second mix has a medium-high strength class (C20/25, NSC - Normal Strength Concrete), and can be used for different types of products (non-structural, in compliance with DM 17/01/2018 - Technical Construction Standards - since the replacement of natural aggregates with recycled in the mix is at a 100% rate).

With the support of the company owner of the D-Shape patent, AIP then created a prototype (cubic with a side of 60 cm, with 6 extremely differentiated 3D-shaped faces, conceived as a bench or a bollard), specifically designed to test the technical and aesthetic performance of the recycled concrete, adopting the cement binder for its greater potential. The printing process followed the following phases: mixing of aggregate and binder (0-4 mm recycled sand and BASF Master Emaco A640 cement); printing of the model (Fig. 4a) in about two and a half hours; emptying the model from unbound sand (Fig. 4b).

The prototype (Fig. 4c) represents a convincing result in terms of aesthetics and performance. The printing process, however, has proved to be not completely satisfactory from the production and economic point of view:

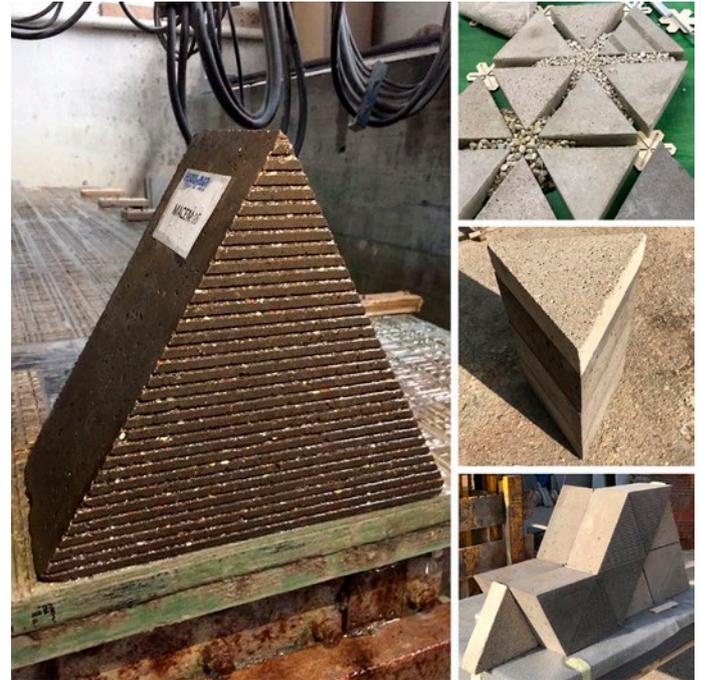


05 | Finiture superficiali e accostamento dei moduli in CLS vibro-compresso con riciclato, foto del GdL di AIP

Surface textures and combination of the vibrated precast recycled concrete modules, photo by AIP WG

06 | Finiture superficiali e modalità di assemblaggio dei moduli in CLS vibro-compresso con riciclato in pavimentazioni drenanti, dissuasori, panchine, foto del GdL di AIP

Surface textures and assembly modalities of the vibrated precast recycled concrete modules in draining outdoor pavers, bollards, benches, photo by AIP WG



mento dei processi di *scouting* con il supporto di tool informatici adeguati, porterà a una maggiore integrazione di tale fase con gli strumenti del progetto che permetteranno alle sperimentazioni architettoniche e tecnologiche di seguire un processo di “normalizzazione” per uscire dalla “logica della prova” attraverso la de-

finizione di un metodo processuale.

Le sperimentazioni sull'*upcycling* degli inerti mostrano limiti nell'applicabilità del processo di stampa 3D ad ampia scala, legati a tempi e costi di produzione, che potranno essere superati con la messa a punto delle stampanti ed il loro impiego

the duration and costs of the production technique are still too high, due to some aspects not yet resolved in the equipment, entailing the need for supervision by specialized workers.

The use of recycled aggregates in vibrated precast concrete products

The second experimentation focused on the production of modular elements for urban furniture, produced with vibration compressed concrete, made with 100% recycled aggregates, using the same sand adopted for the 3D printing test. In fact, at the request of the producer of the sand Ricoeso, the AIP WG created a system of triangular modules suitable for use as benches, planters, fences, as well as interlocking pavers, paying particular attention in product design.

After the design phase, the WG coordinated the development of the mix

design and characterization of the concrete for the modules. With the support of a specialized laboratory¹⁵ a series of activities were carried out: identification of the needs for the industrial production of modules for urban furniture; collection, analysis and characterization of the recycled sand and of a natural equivalent material, for a comparison on the final product; mix design with production of samples to be tested in laboratory; assessment with tests and measurements on mortar and/or fresh concrete concerning compressive strength at different drying times, bending strength, shrinkage).

The characterization's results (Fig. 7), which for a particular mix revealed the achievement of a compressive strength equal to 34.5 MPa, show the suitability of the vibration compressed concrete, with strength class C25/30, for the

use in different types of products, not structural, with higher performances compared to the concrete obtained with 3D printing. The experimentation therefore represents a tangible premise for the development of further applications of recycled aggregates from C&D for the production of prefabricated component with a high aesthetic and performance value. Furthermore, an in-depth research on the concrete surface texture, testing the use of pigments in the mixture or their application after the drying phase, as well as alternative surface treatments (chemical deactivation of the binder, sanding and lining of the surface) (Fig. 5), encouraged additional investigations on potential applications of the mix in building components suitable for use as finishes.

The prototyping phase of the urban furniture elements (Fig. 6) allowed

AIP to evaluate different types of possible assembly of the triangular modules, some of which were exposed to the Maker Faire Rome¹⁶.

Results, limits and future research developments

The research activities in progress on *superuse* allow to point out that architectural design with reclaimed materials is developing an evolutionary vocabulary, with respect to the pioneering experiences of the first decade of the 21st century. The refinement of *scouting* processes, with the support of appropriate IT tools, will lead to a greater integration of this phase with the project steps. This will allow architectural and technological experimentation to follow a “normalization” process, in order to get out of the “test logic” through the definition of a processual method.

nell'impianto di produzione di aggregati riciclati, da valorizzare in manufatti dalle forme complesse, anche di grandi dimensioni, realizzati in loco, abbattendo costi ed emissioni dovuti al trasporto e limitando il prezzo del prodotto finale. Ulteriore applicazione può aprirsi all'intervento di restauro per realizzare componenti reversibili e compatibili, nelle lacune di elementi architettonici ripetuti (stampabili in 3D sulla base del modello da laser scanner). La sperimentazione sulla prefabbricazione richiede, invece, uno sviluppo in termini di analisi di fattibilità economica, anche in rapporto agli spazi necessari per gli impianti di vibro-compressione da installare presso gli impianti di riciclaggio. I risultati della ricerca, in conclusione, aprono ad applicazioni sui componenti edilizi (lastre per facciate ventilate, pavimentazioni, etc.) *customizzati* in termini di mix design e relative prestazioni del conglomerato, texture superficiali del prodotto, nonché di articolazione della filiera produttiva.

NOTE

¹ La ricerca è stata sviluppata nella tesi di dottorato in Progettazione Ambientale, XXV ciclo, di P. Altamura presso il Dip. PDTA di Sapienza Università di Roma, con la supervisione di S. Baiani ed E. Cangelli, confluita nella pubblicazione "Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia", FrancoAngeli, Milano, 2015.

² Kelvin Hall School, Hull (UK).

³ SmartWaste, <http://www.smartwaste.co.uk/>.

⁴ Approccio progettuale che ricerca materiali scartati, dissipandone l'utilità, e ne legge le potenzialità di riuso, facendo in modo che le loro caratteristiche diventino un valore aggiunto per nuovi prodotti o edifici.

⁵ «The practice of recycling material in such a way that it maintains and/or accrues value over time (the opposite of downcycling)». Glossario EPEA, <http://epea-hamburg.org/index.php>.

⁶ Stud. E. D'Alessandro, "MI.REUSE, progetto di riqualificazione di un'area ex industriale di Roma con materiali e componenti derivanti da processi di recupero" (2018), relatore R. Giordano, co-relatori S. Baiani, P. Altamura.

07 | Summary of the results of the tests carried out on 4 samples of concrete produced using cement (binder) and 0-4 mm recycled sand.

	U/M	MIX 01	MIX 02	MIX 03	MIX 04
Recycled aggregate (0-4 mm sand)	Kg	1.385	1.307	1.295	1.170
Cement 42,5 R	Kg	325	525	335	531
Additive	Kg	5,3	8,5	7,2	11,5
Water	Kg	166	167	194	202
Water - cement ratio	%	0,51	0,32	0,58	0,38
Voids	Lt	79	46	88	160
Density	kg/m ³	1.881	2.008	1.831	1.915
Spreading	mm	250	210	400	420
Compressive strength (100 mm concrete testing cube)					
1st day	MPa	3,2	11,6	2,9	9,1
2nd day	MPa	6,3	17,6	3,1	14,6
3rd day	MPa	8,1	18,5	6,3	17,9
4th day	MPa	8,9	19,2	6,7	19,1
7th day	MPa	11,2	27,8	9,9	23,6
14th day	MPa	14,7	32,8	12,8	24,7
28th day	MPa	16,5	34,5	13,8	26,2
Compressive/Bending strength (160x160x40mm concrete testing parallelepiped)					
Bending strength - 28th day	MPa	3,5	5,1	2,4	4,6
Compressive strength - 28th day	MPa	16,7	29,6	12,7	26,6



⁷ Già 2012 Architecten, <http://superuse-studios.com/>.

⁸ Il team, coordinato da C. Peeren, ha visto la collaborazione di P. Altamura, E. Saturno (designer), D. Guzzo (documentarista) e degli studenti del Corso di Perfezionamento *Riuso Temporaneo* della docente I. Inti (Politecnico di Milano).

⁹ Si veda: <https://www.oogstkaart.nl/>.

¹⁰ AIP è un progetto degli arch. P. Altamura, G. Chiummiento e M. Cutini, <http://atlanteinertproject.yolasite.com/>.

¹¹ Si veda: <http://www.lowaste.it/wp/wp-content/uploads/2014/03/S4-caliri.pdf>.

¹² Programma *Climate-Kic StartUp Accelerator Italy 2016*, gestito per l'Italia dall'ASTER.

¹³ Si veda: <http://dshape.com/>.

¹⁴ Sabbia Ricoeso 0-4 mm prodotta a Roma da Eco Logica 2000 Srl, <http://www.ricoeso.it/>.

¹⁵ Conselab, <http://www.conselab.it/>.

¹⁶ Il progetto ha vinto il Premio *Maker of Merit 2017*.

REFERENCES

Addis, B. (2005), *Building with reclaimed components and materials*, Earthscan, London, UK.

Antonini, E. (2004), "La gestione dei residui dei processi di costruzione e demolizione", in Lucarelli, M.T. (Ed.), *Nuovi scenari per gli obiettivi di sostenibilità in edilizia. Il contributo del management ambientale. Atti di un percorso formativo*, Falzea, Reggio Calabria, pp. 179-182.

Commissione Europea - DG Growth (2016), "Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione", available at: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/.../native> (accessed: 5 April 2018).

The experiments on the *upcycling* of aggregates show limitations in the applicability of the large-scale 3D printing process, due to production duration and costs. These might be overcome by setting up and using the printers directly at the recycling facility, in order to *upcycle* the aggregates in products of complex shapes, even of large dimensions, made on site, reducing costs and emissions due to transportation and limiting the price of the final product. A further implementation can be envisaged in the restoration interventions, to realize reversible and compatible components, to fulfill the gaps of repeated architectural elements (printable in 3D on the basis of the laser scanner model). On the other hand, the experimentation on prefabrication requires a development in terms of analysis of economic feasibility, also in relation to the spaces

necessary the installation of vibration plants at the recycling plants. The research results, in conclusion, open to applications to building components (slabs for ventilated façades, floors, etc.) customized in terms of mix design and relative performance of the concrete, surface textures of the product, as well as articulation of the production chain.

NOTES

¹ The research has been developed by P. Altamura within the PhD dissertation in Environmental Design, 25th cycle, at PDTA Dep. of Sapienza University of Rome, tutors S. Baiani and E. Cangelli, and published in the book "Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia", FrancoAngeli, Milan, 2015.

² Kelvin Hall School, Hull (UK).

Commoner, B. (1971), *The Closing Circle: Nature, Man & Technology*, Knopf, USA.

Cumo, F., Sferra, A. e Pennacchia, A. (2015), *Uso, disuso, riuso. Criteri e modalità per il riuso dei rifiuti come materiale per l'edilizia*, FrancoAngeli, Milan.

Davis Langdon, L.L.P. (2010), "Designing out Waste: a design team guide for buildings", WRAP, available at: <https://www.modular.org/marketing/documents/DesigningoutWaste.pdf> (accessed: 5 April 2018).

FISE UNIRE and Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile (2017), "Rapporto Italia del Riciclo", available at: <https://www.fondazioneviluppосostenibile.org> (accessed 5 April 2018).

Gangemi, V. (Ed.) (2004), *Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean, Napoli, IT.

Giordano, R., Montacchini, E. (2012), "SUPER «Super Use of Products for Ecological Reclaims»: studi, sperimentazioni e soluzioni tecnologiche", in *Atti del Convegno Abitare il nuovo/abitare di nuovo ai tempi della crisi*, UniNa Federico II, pp. 1710-1720.

Hobbs, G. (Ed.) (2011), *Construction Waste Reduction around the World*, CIB Publication 364, Working Commission W115.

ISPRA (2017), "Rapporto Rifiuti Speciali", No. 264.

Jongert, J., Peeren C. and Van Hinte, E. (2007), *Superuse: Constructing New Architecture by Shortcutting Material Flows*, Oio Publishers, Rotterdam, NL.

Legambiente (2017), "100 materiali per una nuova edilizia", Rapporto dell'Osservatorio Recycle, available at: <https://www.legambiente.it> (accessed: 5 April 2018).

Longo, D. (2007), *Decostruzione e riuso. Procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*, Alinea, Florence.

McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to cradle: remaking the way we make things*, North Point Press, New York, USA.

³ SmartWaste, <http://www.smartwaste.co.uk/>.

⁴ Design approach based on the search of discarded materials, whose usefulness has been wasted, aiming to identify their reuse potentialities and turn their features into an added value for new products and buildings.

⁵ «The practice of recycling material in such a way that it maintains and/or accrues value over time (the opposite of downcycling)». EPEA glossary, <http://epea-hamburg.org/index.php>.

⁶ Student E. D'Alessandro, "MIRE-USE, regeneration design of a former industrial site in Rome by components and materials from reusing processes" (2018), mentor R. Giordano, co-mentor S. Baiani, P. Altamura.

⁷ Formerly 2012 Architecten, <http://superuse-studios.com/>.

⁸ The team, coordinated by C. Peeren, has seen the collaboration of P. Alta-

mura, E. Saturno (designer), D. Guzzo (documentary film maker) and of the students of the *Riuso Temporaneo* Masterclass held by I. Inti (Politecnico di Milano).

⁹ See: <https://www.oogstkaart.nl/>.

¹⁰ AIP is a project by architects P. Altamura, G. Chiummiento e M. Cutini, <http://atlanteinertproject.yolasite.com/>.

¹¹ See: <http://www.lowaste.it/wp/wp-content/uploads/2014/03/S4-caliri.pdf>.

¹² *Climate-Kic StartUp Accelerator Italy 2016* Programme, managed for Italy by ASTER.

¹³ See: <http://dshape.com/>.

¹⁴ Ricoeso recycled sand 0-4 mm, produced in Rome by Eco Logica 2000 Srl, <http://www.ricoeso.it/>.

¹⁵ Conselab, <http://www.conselab.it/>.

¹⁶ The project won the *Maker of Merit 2017* Award.

Integrazione di sistemi termo-attivi nella rigenerazione dell'involucro edilizio in area Mediterranea

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Alessandra Battisti, Egle Ministeri,

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

alessandra.battisti@uniroma1.it

egle.ministeri@uniroma1.it

Abstract. Negli ultimi anni i sistemi di *Thermal Active Surface* hanno acquisito grande importanza nel panorama scientifico per la possibilità che offrono di alte capacità di risposte performative all'interno degli edifici dai punti di vista: architettonico, fisico-tecnico, economico. Tuttavia l'integrazione architettonica di questi sistemi non è stata completamente esplorata nella rigenerazione urbana in area mediterranea finché l'evoluzione di materiali tradizionali da una parte e l'introduzione di nano-materiali dall'altra non ne hanno reso possibili nuovi scenari di sviluppo.

Parole chiave: Nano-materiali; Thermal active surface; Sperimentazione; Riqualificazione urbana; Efficienza energetica.

Introduzione

I rapidi sviluppi delle tecniche e delle tipologie di produzione dei materiali – come laminati ceramici, e l'introduzione in edilizia di materiali specializzati (Liet et al., 2015), come i nanomateriali – hanno rappresentato negli ultimi decenni degli stimoli costanti per l'innovazione delle componenti da utilizzare nella rigenerazione urbana, ottimizzate in termini prestazionali (Schuler, 2010).

La progettazione di un prototipo Innovative Thermal Active Surface per la riqualificazione di edilizia residenziale pubblica in area mediterranea anni '70 è partita dallo studio dei TAS in letteratura e nelle sperimentazioni di settore, e a indirizzare il processo progettuale e la scelta dei materiali impiegati sono stati: le linee teoriche classificate da Moe, che sintetizzano i principi alla base del funzionamento dei TAS (Moe, 2010); i riferimenti normativi sull'efficienza energetica e riqualificazione urbana; l'analisi delle più recenti realizzazioni: Zollverein School, 2010; Tea Water Pavilion, 2014; Hydroceramic, 2014; EcoCeramic BIDS, 2016 (Battisti, Ministeri, 2017).

La sperimentazione presentata è stata generata con una metodologia messa a punto per il controllo delle *performance* e la

Thermally active surface integration in the regeneration of building envelope in Mediterranean area

Abstract. In recent years, Thermal Active Surface systems have taken on key importance on the scientific landscape due to the possibility they offer because of their strong capacity for high-performance responses within buildings from the architectural, physical/technical, and economic standpoints. However, the architectural integration of these systems was not completely explored in urban regeneration in the Mediterranean area until the evolution of traditional materials on the one hand, and the introduction of nano-materials on the other, made new development scenarios possible.

Keywords: Nano-materials; Thermal active surface; Sperimentation; Urban requalification; Energy efficiency.

valutazione delle risposte di un TAS per l'involucro edilizio che incorpori sistemi di riscaldamento/raffreddamento aggregati con strati di nano-materiali e finiture superficiali in ceramiche innovative, consentendo il controllo delle caratteristiche di efficienza energetica in clima mediterraneo, e che permettesse velocità di esecuzione - semplificandone il montaggio in cantiere -, razionalizzazione dell'impiego dei materiali e riduzione dei costi degli interventi.

In particolare, la prototipazione si è concentrata su una stratificazione del componente assemblato in officina basata su modularità delle risposte (grazie all'uso di materiali termicamente attivi: materiali massivi, isolanti, e idrofilii) e minimizzazione degli spessori. Una stratificazione che vede protagonisti: componenti innovativi originati dalla sperimentazione su materiali tradizionali, come le ceramiche di grande dimensione a spessore ridotto; applicazione di nano-materiali isolanti come l'*Aerogel* sotto forma di pannello isolante; e l'*Idrogel* per la regolazione termo-igrometrica, concentrando la sperimentazione sulla capacità dell'involucro di assolvere le funzioni estetiche, di protezione dagli agenti atmosferici e di riscaldamento e raffrescamento in stretto legame con i processi di accumulo e rilascio termico, coniugati ai processi evapo-traspirativi, in grado di gestire correttamente i flussi termici ai nostri climi.

In questo senso è stato importante sondare le complesse implicazioni del rapporto tra l'evoluzione dell'involucro architettonico, e le masse d'aria presenti in un edificio (Olesen, 2002), che ha significato progettare in maniera integrata forma, colore, materia dei componenti edilizi, tenendo sotto controllo le proprietà superficiali al variare dei parametri macro-ambientali di temperatura, irraggiamento solare e gradienti di umidità relativa (Fio-

Introduction

In recent decades, rapid developments of production types and techniques for materials like ceramic laminates, and the introduction into construction of specialized materials (Liet et al., 2015) like nano-materials, have been constant stimuli for the innovation of the components to be used in urban regeneration and optimized in terms of performance (Schuler, 2010).

The design of a prototype Innovative Thermal Active Surface, optimized for the requalification of public residential construction in the Mediterranean area, began from the study of TASs in literature and in industry trials. The design process and the choice of materials used were guided by: the theoretical lines classified by Moe, which summarize the principles underlying the function of TASs (Moe, 2010); the regulatory references on en-

ergy efficiency and urban requalification; analysis of recent constructions: Zollverein School, 2010; Tea Water Pavilion, 2014; Hydroceramic, 2014; EcoCeramic BIDS, 2016 (Battisti, Ministeri, 2017).

The experimentation that was presented was generated using a methodology created to monitor performance and evaluate the responses of a TAS for the building envelope that incorporated heating/cooling systems aggregated with layers of nano-materials and surface finishings in innovative ceramics, thereby allowing energy efficiency characteristics in a Mediterranean climate to be monitored, and that permitted speedy execution by simplifying assembly at the work site, streamlined use of materials, and reduced costs for the interventions.

In particular, the prototyping concentrated on a stratification of the com-

rito, Santamouris 2017) e al contempo gestire le proprietà fisiche degli elementi costruttivi, dai materiali agli spessori (Ochoa, 2008), sollecitando ed innescando risposte, sotto forma di reazioni fisiche a breve o lungo termine, al fine di accelerare o ritardare il trasferimento del flusso termico naturale (Yannas, 1989).

Evoluzioni

Le evoluzioni principali dei componenti TAS sono state esaminate dal gruppo di ricerca a partire da alcune questioni cardine: efficienza energetica, *integrated design*, flessibilità, adattabilità e durata, innovando i sistemi per composizione, forma e applicazione, attraverso la variazione dei: materiali impiegati testandone di tipo opaco, massivo e trasparente; fluidi conduttori e additivi; numero di *layer* che sovrapponendosi potessero rispondere efficacemente ai criteri di sostenibilità ambientale, energetica ed economica da applicare nelle pratiche di riqualificazione in clima mediterraneo.

I componenti TAS vengono classificati dall'*ECBCS (Energy Conservation in Buildings and Community Systems)* in base all'azione di risposta delle superfici di cui si compongono e per comportamento termico, di cui le seguenti categorie rappresentano le quattro principali classi:

- *attivazione della massa*: l'elemento ha una capacità di immagazzinamento termico che rilascia dopo un certo scarto temporale in condizioni differenti di temperatura (Navarro et al, 2016; Hoes et al., 2016). Rientrano a far parte di questa categoria gli elementi con materiali ad elevata densità e/o a cambiamento di fase.
- *aumento o diminuzione dei flussi di calore*: la variabile adattiva riguarda le prestazioni di isolamento termico. I componenti

ponent assembled at the workshop and based on: modularity responses (thanks to the use of thermal active materials: massive, insulating, hydrophilic) and minimization of thicknesses. The main players in this stratification are: innovative components originating from experimentation on traditional materials, like large-sized ceramics with reduced thickness, application of insulating nano-materials like Aerogel in the form of an insulation panel, and Hydrogel to regulate heat and humidity, and concentrating the experimentation on the envelope's ability to perform the functions of aesthetics, of providing protection against atmospheric agents, and of heating and cooling, in a close relationship with the processes of heat storage and release, combined with evapotranspiration processes, capable of properly handling our climates' heat flows.

In this perspective, it was important to probe the complex implications of the relationship between the evolution of the architectural envelope and the masses of air present in a building (Olesen, 2002), which meant designing the shape, colour, and material of building components in an integrated way, maintaining the surface properties under control as the macro-environmental parameters of temperature, sunlight, and relative humidity gradients vary (Fiorito, Santamouris, 2017), while at the same time managing the physical properties of the construction elements, from materials to thicknesses (Ochoa, 2008), encouraging and triggering responses in the form of short- or long-term physical reactions, in order to speed or delay the transfer of the natural heat flow (Yannas, 1989).

tecnologici di questa categoria hanno un comportamento di tipo passivo, e la caratteristica di variare il flusso di calore proporzionalmente al livello di isolamento che consente una riduzione di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo (Gwerder et al., 2008).

- *variazione della trasparenza*: gli elementi termicamente attivabili correlati alla trasparenza sono legati ad impulsi elettrici, a cambiamenti di stato dei materiali usati, indotti da variazioni termiche o, a fattori compositivi (Gstoehl et al., 2011). Gli esempi di questo tipo consentono di regolare la trasmissione della radiazione incidente e permettono di lavorare sulle variabili differenza di temperatura e sfasamento all'interno della sezione dei componenti.
- *variazione della porosità*: questa classe definisce elementi a bassa, media o alta porosità. Tale caratteristica è legata al funzionamento estivo di determinati componenti, il cui grado di porosità contribuisce alla regolazione dei valori di umidità ed all'abbassamento della temperatura, controllando le variazioni termiche nella sezione tecnologica (Lehmann et al., 2007).

Dopo una fase di osservazione e studio analitico dei differenti TAS l'attenzione per lo sviluppo del prototipo è stata posta su tre tipologie di elementi, che risultavano essere quelle più promettenti per i miglioramenti in termini prestazionali di impiego delle risorse e consumi energetici, ovvero massa termica di attivazione (TMA); cambiamento di fase dei materiali (PCM); variazione dell'inerzia termica (DI).

Sulla base delle precedenti considerazioni è stato possibile enucleare quattro specifici filoni di TAS sperimentali (Gutai, 2014): il *massive design*, il *thin design*, il *ceramic design* ed il *liquid design* (Fig. 1).

Evolutions

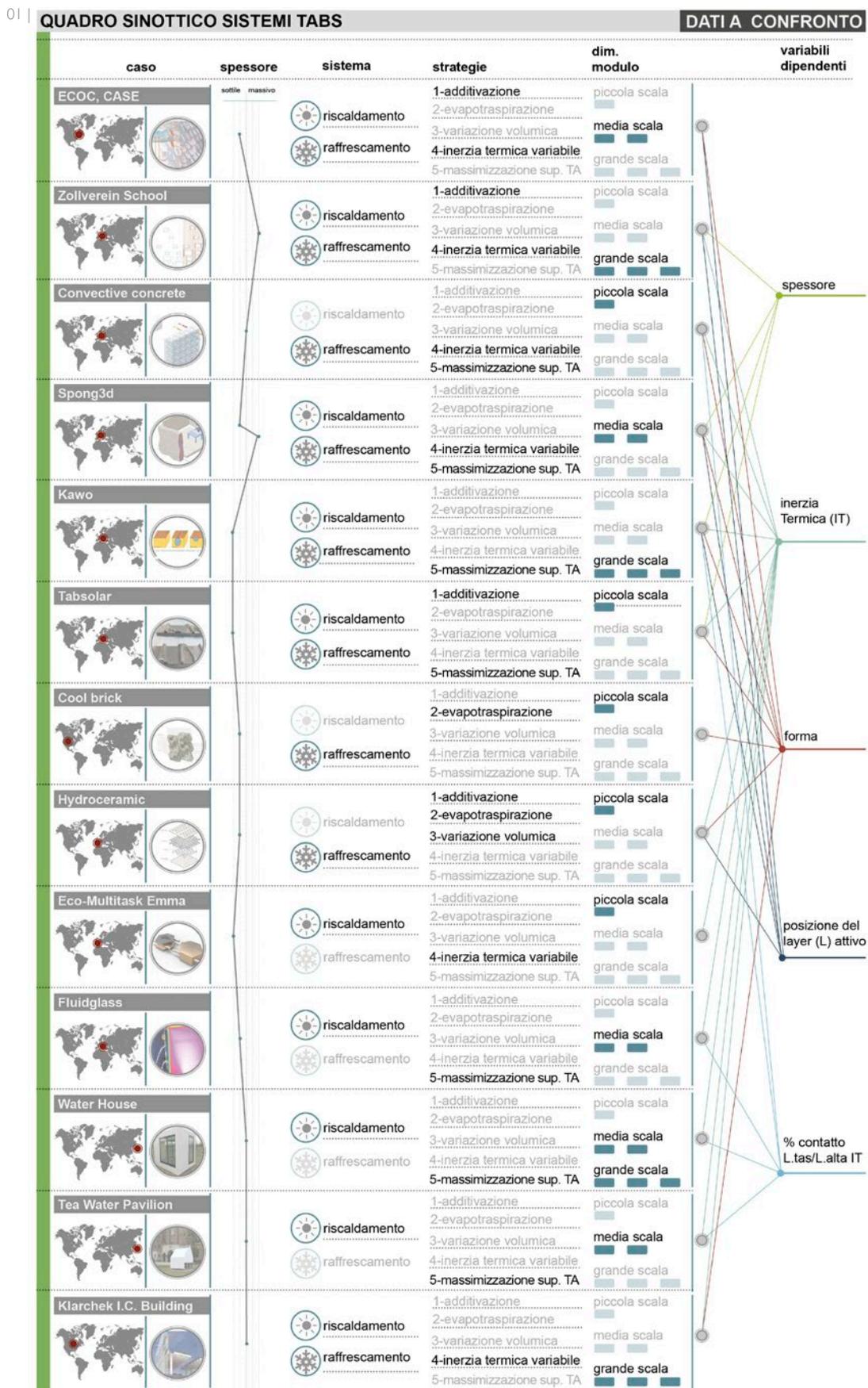
The main evolutions of TAS components were analysed by the research group starting from some key issues: energy efficiency, integrated design, flexibility, adaptability and duration, by innovating systems for composition, shape, and application; this was done through the variation of: the materials employed, testing opaque, massive, and transparent ones; conducting fluids and additives; and the number of overlapping layers, which might respond effectively to the criteria of environmental, energy, and economic sustainability to be applied in requalification practices in the Mediterranean climate.

The TAS's components are classified by ECBCS (Energy Conservation in Buildings and Community Systems) based on the response action of the surfaces they are composed of, and for

thermal behaviour, of which the following categories represent the four main classes:

- *activation of the mass*: the element has a thermal storage capacity that is released after a certain amount of time in different temperature conditions. This category includes the elements composed of high-density materials and/or phase-change materials;
- *increased or decreased heat flows*: the adaptive variable regards heat insulation performance. This category's technological components have a passive-type behaviour, and the characteristic of varying heat flow in proportion to the level of insulation, which allows winter heating and summer cooling to be reduced (Gwerder et al., 2008);
- *variation of transparency*: elements that can be thermally activated in

Synoptic diagram of the dimensional and material characteristics of the most recent TAS systems and components tests in relation to the main operating strategies adopted



Innovative TAS prototipazione

La parte sperimentale applicativa della ricerca ha prodotto un componente a secco finalizzato a un processo di riqualificazione efficiente dell'edilizia residenziale pubblica in area mediterranea, basato sulla riduzione dello spessore di un involucro edilizio che fosse così multifunzionale ed ibrido in equilibrio tra *massive e thin design* (Fig. 2).

Le caratteristiche morfologiche sono così sintetizzabili:

- modularità;
- grandi dimensioni del componente (perseguimento dell'obiettivo di copertura dell'interpiano tipico dell'ERP di 3 ml con un unico pannello);
- minimo spessore (al fine di minimizzare il peso e con lo scopo di ottenere una rapida messa a regime del sistema TA);
- flessibilità ed adattamento.

La normativa UNI1264 individua tre tipologie di sistemi (A, B, C) radianti che distinguono le soluzioni con serpentine annegate nello strato di supporto (A) da quelle a secco con serpentine inserite in apposite scanalature al di sotto dello strato di supporto (B, C).

La messa in opera nell'Innovative TAS della seconda categoria di sistemi ha consentito di usare, al meglio, le proprietà termiche dei materiali conduttori, riducendo lo spessore del componente tecnologico, alleggerendolo e rendendone possibile la prefabbricazione.

Un ulteriore aspetto è stato quello della compatibilità chimico-fisica tra i materiali di cui il sistema è stato composto al fine di arginare problematiche relative alla breve durata del funzionamento del TAS. Inoltre, un errato accostamento stratigrafico avrebbe comportato reazioni chimiche con perdite delle caratteristiche

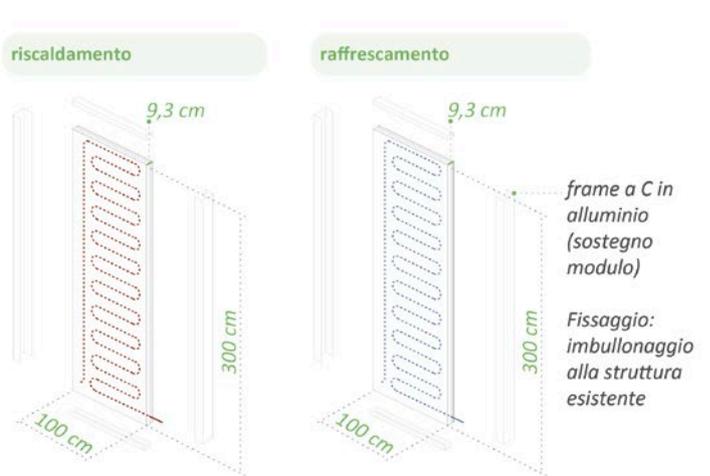
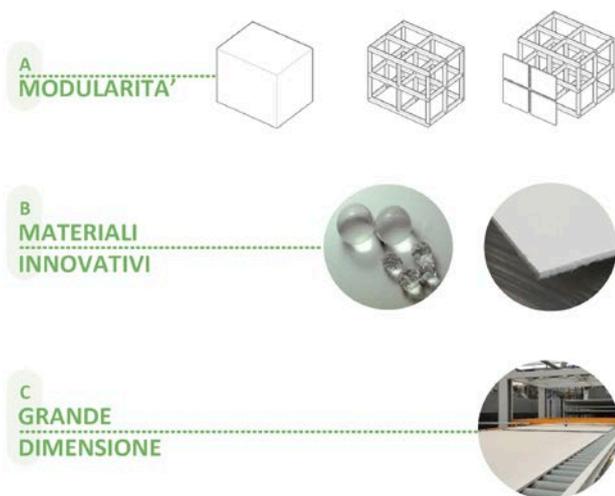
prestazionali, fisiche, chimiche o meccaniche del componente e tra i vantaggi legati all'impiego di componenti prefabbricati vi è stata la possibilità di poterle controllare con facilità e verificarne la qualità.

Dal quadro d'insieme che mette a confronto i casi studio è stato possibile definire quattro schemi funzionali, basati su sei variabili dipendenti dalle condizioni al contorno, climatiche e dalle *performance* energetiche da voler ottenere, (spessore, materiale, forma, inerzia termica, posizione del *layer* attivo, percentuale di superficie di contatto fra *layer* termicamente attivo e *layer* ad alta inerzia termica).

Osservando i quattro schemi funzionali (1-variazione dello spessore del componente tecnologico; 2-distanza dello strato termicamente attivo dalle superfici esterna ed interna; 3-variazione dell'inerzia termica lungo la sezione del componente tecnologico; 4-studio della forma: massimizzazione della superficie di contatto tra il fluido o strato attivo e il *layer* disperdente) sono stati estrapolati i due principali modelli compositivi alla base degli schemi adottati.

Le variabili dipendenti dalle prestazioni da voler raggiungere emerse dai casi di studio sono:

- *Spessore* - la UNI 8290 (4) descrive le parti di un sistema tecnologico distinguendo classi di unità tecnologica e classi di strati funzionali. Lo spessore assunto da ogni singolo strato funzionale determina effetti differenti nel funzionamento dell'intero sistema tecnologico.
- *Materiale* - una seconda azione strategica per ottenere una *performance* prefissata in termini di riscaldamento o raffreddamento è quella che lavora sulla variabile materiale a partire dalla considerazione di specifiche proprietà termi-



- che (capacità termica, espansione termica, conduttività termica).
- *Inerzia termica* - per garantire alte prestazioni termo-igrometriche la sperimentazione muove l'indagine verso la massimizzazione delle proprietà termiche dei materiali, attraverso la ricerca di soluzioni strategiche fondate sul principio di additivazione con materiali droganti.
 - *Posizione del layer attivo* - l'interesse per lo sviluppo di componenti tecnologici multistrato e multifunzionali dal punto di vista prestazionale è legato al posizionamento dei layer all'interno della sezione.
 - *Percentuale di superficie di contatto fra layer termicamente attivo e layer ad alta inerzia termica* - che attiene alla ricerca della maggiore superficie di contatto tra lo strato attivo e quello disperdente verso l'interno dell'ambiente con l'obiettivo di aumentare la superficie di scambio termico disponibile.
- I quattro schemi funzionali emersi si basano sulle variabili dipendenti appena descritte e possono essere così definiti:
- *Variazione dello spessore dei layer del componente tecnologico* - lo spessore dell'elemento influisce su diversi fattori, primo fra tutti sul peso del modulo ed inoltre sulle capacità di isolamento termico o di accumulo termico. Le variabili che maggiormente interessano questo schema funzionale sono: spessore, materiale, inerzia termica, posizione dello strato attivo.
 - *Distanza del layer termicamente attivo dalle superfici esterna ed interna* - per ridurre le dispersioni termiche e per massimizzare la resa degli strati termicamente attivi diviene centrale il posizionamento di questi all'interno della sezione del modulo tecnologico. Le variabili sono: materiale, forma, inerzia termica, posizione dello strato attivo.

correlation with transparency are linked to electrical impulses, to changes of state of the materials used, induced by thermal variations, or to compound factors (Gstoehl et al., 2011). Examples of this type make it possible to regulate the transmission of incident radiation, and to work on the variables of temperature difference and lag within the section of the components;

- variation of porosity: this class defines elements with low, average, or high porosity. This characteristic is linked to the summertime function of certain components, whose degree of porosity contributes towards regulating humidity levels and lowering the temperature, thus permitting good control over the thermal variations within the technological section (Lehmann et al., 2007).

After a phase of observation and ana-

lytical study of the different TASs, attention to the prototype's development focused on three types of elements, which were the ones most promising for improvement in terms of performance in employing resources and in energy consumption: thermal mass of activation (TMA); phase change of materials (PCM); variation of thermal inertia (DI). Based on the above considerations, it was possible to set out four specific lines of experimental TAS: massive design, thin design, ceramic design, and liquid design (Fig. 1).

Innovative TAS Prototyping

The applicative experimental part of the research produced a dry component aimed at a process of efficient requalification of public residential building in the Mediterranean area, based on reducing the thickness of a

- *Variazione dell'inerzia termica lungo la sezione del componente tecnologico* - lavorare sulla variabile inerzia termica, permette di migliorare il comfort indoor, grazie alle capacità di alcuni strati o dell'intero spessore dell'elemento di assorbire l'onda termica, ritardando il passaggio del calore da un estremo all'altro dell'elemento. Le variabili sono: spessore, materiale, forma, inerzia termica, posizione dello strato attivo, percentuale di superficie di contatto fra layer termicamente attivo e layer ad alta inerzia termica (Holmes et al., 2007).
- *Studio della forma: massimizzazione della superficie di contatto tra layer attivo e disperdente* - le caratteristiche di forma possono determinare un impiego innovativo sia a livello compositivo che tecnologico-energetico. A livello compositivo il fattore forma conferisce caratteristiche di flessibilità al componente, mentre tecnologicamente il fattore forma consente di massimizzare le prestazioni, agendo sulle proprietà fisiche. Le variabili sono: materiale, forma, posizione dello strato attivo, percentuale di superficie di contatto fra layer termicamente attivo e layer ad alta inerzia termica.

Alla fine è stato possibile ricondurre i sistemi TAS a due schemi compositivi: modello monolayer e multilayers. Lo schema compositivo per un TAS monolayer prevede la concezione del sistema tecnologico attraverso l'utilizzo di un unico materiale massivo, che ingloba lo strato termicamente attivo. Questo modello consente di lavorare sui vari aspetti (Alenei L. et al., 2015) quali: spessore/sfasamento; densità/sfasamento; densità/spessore. Il secondo schema compositivo, modello multistrato, si fonda sul processo di addizione di strati di materiali differenti, con l'obiettivo di definire un componente multifunzionale in cui

building envelope that was thus multifunctional and a balanced hybrid between massive and thin design (Fig. 2). The morphological characteristics may be summed up as follows:

- modularity;
- large size of the component (pursuing the objective of covering the 3 m inter-floor space typical of public residential building with a single panel);
- minimum thickness (in order to minimize weight, and with the purpose of bringing the TA system online quickly);
- flexibility and adaptation.

UNI1264 regulations in the matter of radiating heating systems, identifies three types of systems (A, B, C) belonging to two categories: solutions with coils sunken into the support layer (A) and dry solutions with coils inserted into grooves beneath the sup-

port layer (B, C).

The inclusion in innovative TAS of the second category of systems allowed the best possible use to be made of the thermal properties of the conducting materials, thereby reducing the thickness of the technological component, while making it lighter and offering the possibility of prefabrication.

An additional aspect was that of chemical/physical compatibility among the materials the system was composed of, in order to contain problems connected with the short duration of the TAS's function. Moreover, placing things in the wrong stratigraphic juxtaposition would have led to chemical reactions, with losses of the component's chemical, physical, or mechanical characteristics, and the benefits connected with the use of prefabricated components included the possibility of being able to monitor and verify the elements'

ogni singolo layer assolve un compito specifico. Questo modello consente di lavorare sugli aspetti: materiali/inerzia termica; densità/spessori e variazione dei volumi; superficie di contatto layer attivo/layer attivato e disperdente.

La selezione dei materiali e dei componenti da usare per la realizzazione del prototipo TAS scaturisce da valutazioni oggettive sulle proprietà e caratteristiche dei singoli materiali impiegati. La caratteristica della grande dimensione, congiuntamente al peso ed alla minimizzazione degli spessori, ha favorito la scelta di elementi ceramici sottili e di grande dimensione. Così come la soluzione pensata per costituire lo strato di isolamento termico che si compone di due parti: una di Aerogel in materassini rigidi con ottime proprietà di isolamento termico e leggerezza, l'altro layer che assolve la funzione di isolamento termico ed è composto da uno strato poroso in alveolato, entro il quale viene posto l'Idrogel, la cui funzione è quella di regolare l'umidità relativa e poi di seguito lo strato termicamente attivo ed il pannello di finitura interna (Fig. 3).

La lastra ceramica adoperata per la realizzazione del modulo prototipo è prodotta in formato 1000x3000x6mm per un peso di 14 Kg/m².

Il problema della formazione di condensa nei sistemi termoattivi costituisce una questione di difficile controllo che è stata affrontata con lo scopo di testare la validità di nuovi metodi di igro-regolazione, realizzando uno strato adiacente alla serpentina radiante, che svolga questo compito, costituito da Idrogel inglobato in un pannello alveolare forato sulla superficie irradiata dalla serpentina. Sul componente sono stati effettuati dei primi test utilizzando un sensore di rilevamento di umidità relativa e temperatura nell'aria, collegato ad un microcontrollore (tipo Ar-

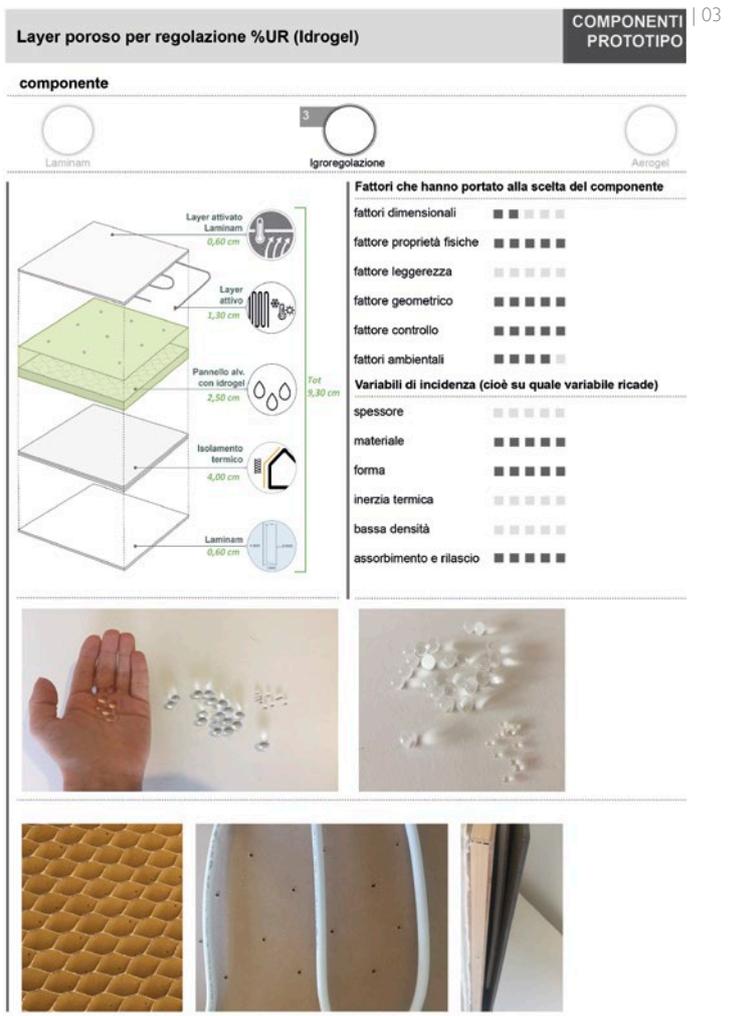
chemical and physical characteristics and quality.

The overview comparing case studies made it possible to define four functional schemes, based on six dependent variables of boundary conditions (thickness, material, form, thermal inertia, position of the active layer, percentage of contact surface between thermal active layer and high-thermal-inertia layer).

By observing the four functional schemes (1-variation of the thickness of the technological component; 2-distance of thermal active layer from the external and internal surfaces; 3-variation of thermal inertia along the section of the technological component; 4-study of shape: maximizing the contact surface between the fluid or active layer and the dispersant layer), the two main composition models underlying the adopted schemes were extrapolated.

The dependent variables emerging from the study cases are:

- *Thickness* - UNI 8290⁴ describes the parts of a technological system hierarchically, and defines the technological unit classes and functional layers. The thickness taken on by each functional layer determines different effects in the operation of the entire technological system.
- *Material* - A second strategic action in order to obtain a pre-established performance in terms of heating and cooling is the one that works on the material variable, starting from considerations of specific thermal properties (thermal capacity, thermal expansion, thermal conductivity).
- *Thermal inertia* - To guarantee high thermal and hygrometric performance, the new experimentation moves investigation towards



duino) a sua volta collegato a un PC per la registrazione e visualizzazione dei dati.

Lo scopo è stato quello di osservare i valori di umidità relativa all'interno della sezione tra strato attivo e il suo adiacente nelle

- maximizing the thermal properties of materials, through the search for strategic solutions based on the principle of additives with dopant materials.
- *Position of the active layer* - Interest in the development of multilayer and multifunctional technological components from the perspective of performance is connected to the layers' positioning within the section.
- *Percentage of contact surface between thermal active layer and high-thermal-inertia layer*, which involves seeking a greater contact surface between the active layer and the dispersant layer towards the inside of the environment, with the objective of increasing the available heat exchange surface.

The four functional schemes that emerged are based on the dependent

variables just described, and may be described as follows:

- *Variation of the thickness of the layers of the technological component* - The element's thickness has an influence on a number of factors, first among which on the module's weight, and also on the thermal insulation or thermal storage capacity. The variables that most affect this functional scheme are: thickness, material, thermal inertia, and position of the active layer.
- *Distance of thermal active layer from the external and internal surfaces* - To reduce heat losses and maximize the performance of thermal active layers, their positioning within the section of the technological module takes on central importance. The variables are: material, shape, thermal inertia, position of the active layer.

Variazione di UR% nei due casi: senza idrogel/con idrogel



Osservazioni

	CASO 1e2 UR% stato iniziale: 55%
	CASO1 UR% stato finale: 58%
	+3% UR → 00:30 h
	CASO2 UR% stato finale: 52,5%
	-2,5% UR → 00:30 h

due condizioni in assenza di *Idrogel* ed in presenza di *Idrogel*. Dai dati registrati dai test emerge una netta differenza della variazione della percentuale di umidità relativa (Fig. 4).

Simulazioni e monitoraggio

Dapprima il modello è stato studiato attraverso strumenti per la simulazione a regime dinamico quali *Energy Plus* e la sua interfaccia di modellazione *Design Builder* (componente attivo); poi attraverso test di monitoraggio del comportamento passivo del prototipo TAS in *Test Box* condotti e validati secondo i codici UNI12664:2002/UNI12667/UNI12939 (prestazione termica dei materiali); UNI EN ISO 8990:1999 (trasmissione termica); UNI13187:2000 (rilevazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi).

Il modello di simulazione è un cubo di lato 3,00 m alla cui superficie verticale d'involucro (interno/esterno) esposta a sud è stato applicato il componente tecnologico TAS sperimentale ai fini simulativi del suo comportamento termico estivo ed invernale. I calcoli sono stati effettuati ipotizzando l'applicazione in tre città rispettivamente del sud, centro e nord Italia.

L'iter dell'impostazione dei dati di input è lo stesso per le tre ipo-

tesi applicative, l'unico dato di input variabile nelle differenti simulazioni è rappresentato dai dati climatici.

I dati climatici IGDG inseriti per le tre simulazioni, presenti nel database di *Design Builder*, sono basati sugli standard ASHRAE. La temperatura esterna del progetto invernale impostata per la simulazione fa riferimento alla UNI 5364. L'attività impostata per la destinazione d'uso del locale di 9 m² è uno spazio residenziale. Per quanto riguarda la ventilazione è stato impostato un valore di aria minima di rinnovo pari a 11 l/s per persona e come indice di affollamento 0,04 persone/m², ai sensi della UNI 10339.

I set point sono stati impostati sulla base delle indicazioni presenti nella UNI EN 12831 (2) e nella UNI TS 11300 (3) al fine di limitare il valore di temperatura massima interna, per i set point estivi si fa inoltre riferimento al D.P.R. 59/09 (Attuazione del D. Lgs. 192/05).

Nella fase di definizione dei dati da ottenere nel corso della fase sperimentale del progetto di ricerca si ci è posti l'obiettivo di acquisire informazioni in base ad un comportamento discrezionale per alcuni aspetti entro determinati margini delineati (Clarke, 2001).

La strategia adottata per la raccolta dei dati di output dei casi applicativi, vede nella scelta di precisi step temporali (in termini

- *Variation of thermal inertia along the section of the technological component* – Working on the thermal inertia variable allows indoor comfort to be improved, thanks to the ability of certain layers or of the entire thickness of the element to absorb the thermal wave, thus delaying the passage of heat from one end of the element to the other. The variables are: thickness, material, shape, thermal inertia, position of the active layer, percentage of contact surface between thermal active layer and high-thermal-inertia layer (Holmes et al. 2007).
- *Study of shape: maximizing the contact surface between the fluid or active layer and the dispersant layer* – Shape characteristics can determine an innovative use, both in terms of composition and at the technological/energy level. At the level of com-

position, the shape factor confers characteristics of flexibility to the component, while technologically, it allows performance to be maximized by acting on the physical properties. The variables are: material, form, position of the active layer, percentage of contact surface between thermal active layer and high-thermal-inertia layer.

In the end, it was possible to assign the TAS systems to two composition schemes: single-layer model and multi-layer model. The composition scheme for a single-layer TAS involves conceiving the technological system through the use of a single, massive material, that incorporates the thermal active layer. This model makes it possible to work on various aspects (Alinei et al., 2015): thickness/lag; density/lag; density/thickness. The multi-layer composition scheme is founded upon

the process of adding layers of different materials, with the objective of defining a multifunctional component in which each individual layer performs a specific task. This model makes it possible to work on various aspects: materials/thermal inertia; density/thickness and variation of volumes; surfaces of contact between active layer/active and dispersant layer.

The selection of the materials and of the components to be used for developing the TAS prototype arises from objective assessments of the properties and characteristics of the individual materials used. The characteristic of large size, along with weight and minimization of thicknesses, favoured the choice of thin, large-size ceramic elements. In the same way, the solution designed to constitute the layer of thermal insulation is composed of two parts: one of Aerogel in stiff mats

with excellent properties of thermal insulation and lightness, and the other layer providing the function of thermal insulation, composed of a porous honeycomb layer, in which Hydrogel is placed, with the function of regulating the relative humidity, followed by the thermal active layer and the internal finishing panel (Fig. 3).

The ceramic slab used to make the prototype module is produced in 1000 x 3000 x 6 mm format for a weight of 14 Kg/m².

The problem of the formation of condensation and thermal active systems is a hard-to-control issue that was faced with the purpose of testing the validity of new hygro-regulation methods, by making a layer adjacent to the radiating coil that performs this task, consisting of Hydrogel incorporated into a honeycomb panel perforated on the surface irradiated by the coil. The first tests

di stagionalità, mensilità, giorni ed ore) la chiave per una lettura chiara, semplice e comparabile dei dati afferenti i vari casi simulati (Tab. 1, 2).

Gli intervalli temporali scelti per le simulazioni sono stati: intero periodo invernale o estivo; mensile, orario e sotto-orario.

Le categorie di output riportate nei grafici sono per la simulazione invernale temperatura superficiale interna, temperatura esterna a bulbo secco ed umidità relativa; per la simulazione estiva temperatura superficiale interna; temperatura superficiale esterna; temperatura esterna a bulbo secco; umidità relativa.

Per la misurazione stazionaria dei flussi termici per il monitoraggio, al fine di testare lo stress caldo/freddo del componente, sono stati impostati i seguenti *setpoint*: 20 °C per il set caldo e 0 °C per il set freddo. Inoltre il deflettore di aria (4) è stato impostato al 60 %, valore normale, (quando lo si imposta allo 0 % l'aria è tutta dietro la piastra calda dunque il trasferimento di calore avviene solo per irraggiamento, mentre al 100 % è tutta sul campione quindi il trasferimento di calore avviene per convezione); infine il set del rilevamento dei dati misurati ha previsto la registrazione dei dati ogni 30 secondi.

Il componente Innovative TAS è stato testato nel suo comportamento passivo termico a regime stazionario sui flussi di calore distribuiti sulle due superfici esterne ed in assenza di sistemi impiantistici:

1. lastra ceramica dello spessore di 6 mm esposta al lato caldo;
2. pannello di isolamento termico in *Aerogel* dello spessore di 4 cm sul lato freddo.

Data la vicinanza di posizionamento tra le termocoppie a bordo campione e quelle situate a margine del termo-flussimetro, la stabilizzazione della varianza delle termocoppie (5) è avvenuta

were performed on the component using a sensor measuring UR% and T°C in the air, linked to a microcontroller (Arduino type) in turn connected to a PC to record and display the data.

The purpose was to observe the relative humidity values within the section between active layer and its adjacent layer on two conditions in absence of Hydrogel and in presence of Hydrogel. The data recorded by the test show a clear difference of variation of the relative humidity percentage (Fig. 4).

Simulations and monitoring

At first, the model was studied using simulation tools in dynamic operation, such as Energy Plus and its Design Builder modelling interface, and then with monitoring tests of the TAS prototype in a climate chamber, conducted and validated in accordance with the UNI12664:2002/UNI12667/

UNI12939/ 1946 (thermal performance of materials); UNI EN ISO 8990:1999 (thermal transmittance); and UNI13187:2000 (qualitative survey of thermal irregularities in building envelopes) codes.

The simulation model is a cube with a 3.00 m side, to whose southern-exposed vertical envelope surface (internal/external) the experimental TAS technological component was applied, for the purposes of simulating its summer and winter thermal behaviour. The calculations were done hypothesizing application in three cities in southern, central, and northern Italy. The process for setting the input data is the same for the three applicative cases; the only variable input datum in the different simulations was that of the climate data.

The inserted IGDG climate data, present in the Design Builder database,

in un *range* di tempo basso pari a un'ora e mezza, tempo oltre il quale le misurazioni dei dati hanno restituito in generale valori stabili.

Nella Tab. 3 vengono riportati i dati essenziali delle misurazioni effettuate riportando i valori delle temperature, dell'umidità relativa sul lato caldo e freddo a inizio e fine monitoraggio.

I test di misurazione condotti sul prototipo realizzato che evidenziano il comportamento termico a regime stazionario e dinamico del componente costituiscono solo un primo *step* di tutti i monitoraggi da dover effettuare al fine di controllare e migliorare la stratigrafia ed il comportamento termo-igrometrico del modulo Innovative TAS, indirizzando gli sviluppi futuri della ricerca verso la messa a punto di ulteriori test da effettuare e verso la definizione di un prototipo 2.0 di dimensioni maggiori e più accurato nella realizzazione degli strati materici di cui si compone e nei dettagli.

I test effettuati sulla base del metodo di *prova H* (analisi termica a regime stazionario) del *Test Box*, hanno confermato un buon comportamento del sistema multistrato avendo riportato un valore di conduttanza termica pari a 0,31 (W/m²-K). Dopo la prima ora e mezza di osservazione la varianza delle termocoppie sia sul lato caldo che sul lato freddo hanno iniziato il processo di stabilizzazione, riportando da quel momento in poi variazioni inferiori allo 0,1 °C.

Le simulazioni sul modello virtuale congiuntamente ai test effettuati sulla base del metodo di prova G del *Test Box* (sulla base della norma UNI 13786), hanno permesso di estrapolare delle prime osservazioni sui miglioramenti prestazionali in termini di flussi termici e controllo igrometrico del componente multistrato esaminato nel suo funzionamento passivo ed attivo ed in as-

pects within given outlined margins

(Clarke, 2001). The strategy adopted to collect the output data from the applicative cases sees the selection of precise temporal steps (in terms of season, month, times of day) as the key to a clear, simple, and comparable reading of the data pertaining to the various simulated cases (Tab. 1, 2).

The time intervals chosen for the simulations were: indoor winter or summer period; monthly, hourly, and sub-hourly. The output categories reported in the graphs are for winter simulation indoor surface temperature, dry bulb outdoor temperature and relative humidity; for the summer simulation indoor surface temperature, outdoor surface temperature, dry bulb outdoor temperature, relative humidity. For the stationary measurement of

are based on ASHRAE standards. The winter design outdoor temperature set for the simulation makes reference to UNI 5364. The activity set for the 9 m² location's intended use is a residential space. As for ventilation, a minimum fresh air value was set as equal to 11 l/s per person, with a crowding index of 0.04 persons/m², in accordance with UNI 10339. The set points were set based on the indications present in UNI EN 12831 and UNI TS 11300, for the purpose of limiting the indoor maximum temperature value; for the summer set points, reference is also made to Presidential Decree no. 59/09 (Implementation of Legislative Decree no. 192/05). The phase of defining the data to be obtained during the Research project's experimental phase has the objective of acquiring information on the basis of a discretionary behaviour for certain

aspects within given outlined margins (Clarke, 2001).

The strategy adopted to collect the output data from the applicative cases sees the selection of precise temporal steps (in terms of season, month, times of day) as the key to a clear, simple, and comparable reading of the data pertaining to the various simulated cases (Tab. 1, 2).

The time intervals chosen for the simulations were: indoor winter or summer period; monthly, hourly, and sub-hourly.

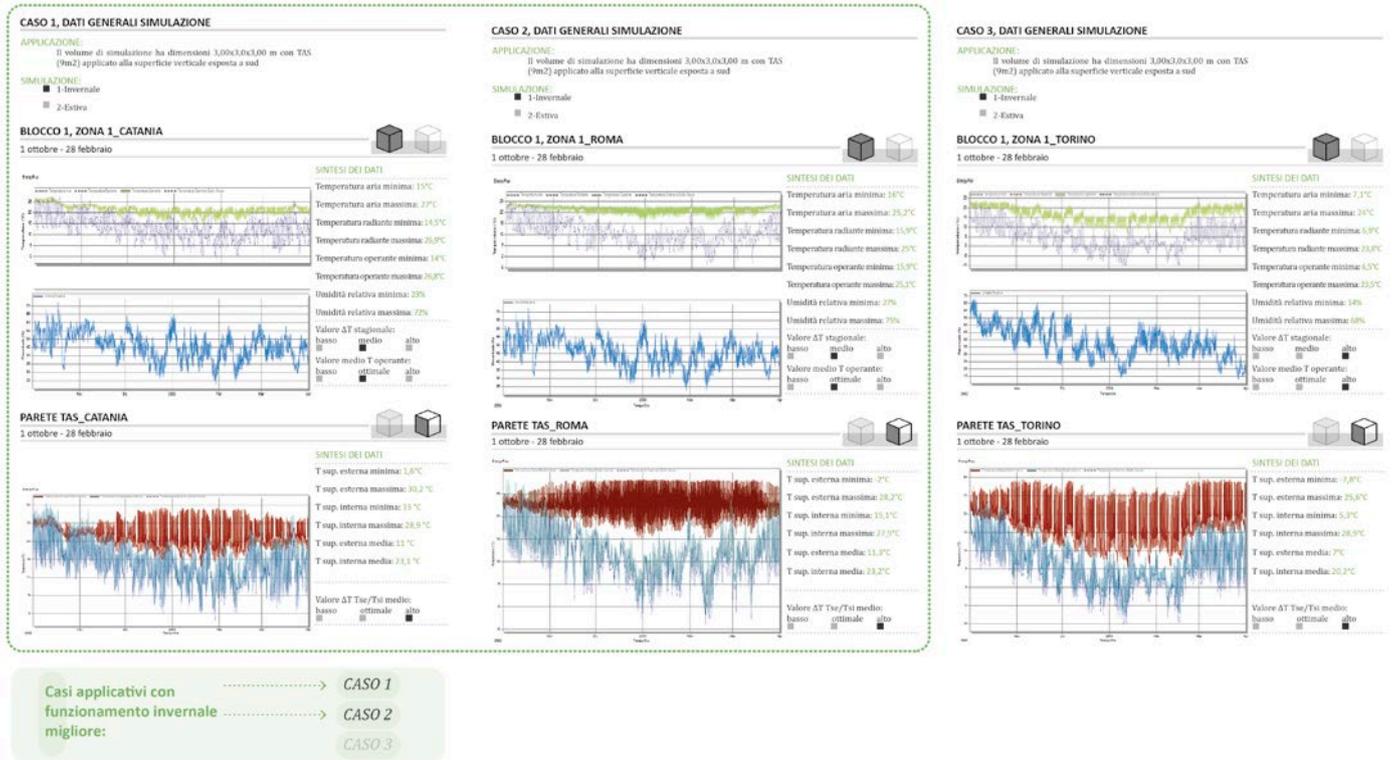
The output categories reported in the graphs are for winter simulation indoor surface temperature, dry bulb outdoor temperature and relative humidity; for the summer simulation indoor surface temperature, outdoor surface temperature, dry bulb outdoor temperature, relative humidity.

For the stationary measurement of

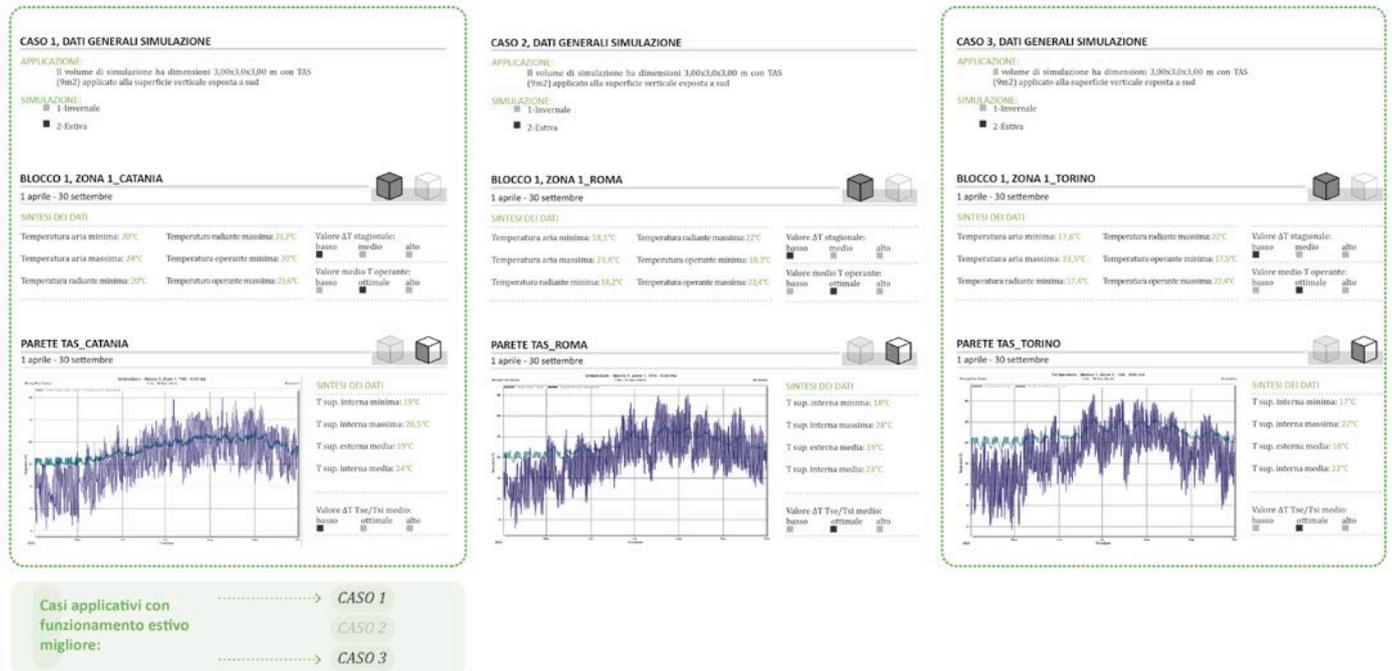
Tab. 1-2 | Simulazioni invernali ed estive stagionali del funzionamento del modulo *Innovative Tas* applicato ai tre casi: Catania, Roma, Torino. Dall'osservazione dei dati ottenuti è possibile evidenziare un miglior comportamento in termini di mantenimento delle Tsi per il primo ed il secondo caso applicativo (Catania; Roma) nel periodo invernale, mentre per il periodo estivo i miglioramenti, in riferimento alle Tsi si hanno per i casi 1 e 3 (Catania; Torino)

Simulation of winter and summer seasons of the functioning of the Innovative Tas module applied to the three cases: Catania, Rome, Turin. From the observation of the data obtained it is possible to highlight a better behavior in terms of Tsi maintenance for the first and second applicative cases (Catania, Rome) in the winter period, while for the summer the best behaviors, with reference to the Tsi, have for cases 1 and 3 (Catania, Turin)

Tab. 1 | Fase simulativa: funzionamento invernale dei tre casi applicativi



Tab. 2 | Fase simulativa: funzionamento estivo dei tre casi applicativi



Tab. 3 | Condizioni a inizio della fase di monitoraggio e dati essenziali registrati a fine monitoraggio
Conditions at the beginning of the monitoring phase and essential data recorded at the end of the monitoring

Condizioni iniziali e finali lato caldo							
data	ora	CALDO piastra [°C]	aria [°C]	campione [°C]	UR%	Vel aria [m/s]	
19/01/2018	16:03:09	15,31	14,843	15,293		45,6	0,15
19/01/2018	18:24:30	20,41	21,084	21,019		39,4	3,07

Condizioni iniziali e finali lato freddo							
data	ora	FREDDO piastra [°C]	aria [°C]	campione [°C]	UR%	Vel aria [m/s]	
19/01/2018	16:03:09	14,328	14,379	14,936		57,9	0,11
19/01/2018	18:24:30	2,14	4,05	5,644		47,1	3,04

senza e presenza del layer igro-regolatore, nonostante la presenza delle differenze di modelli di calcolo e dimensionali utilizzati per effettuare le prove virtuali e sul prototipo (Tab. 4).

Conclusioni

Per il proseguimento della ricerca si elencano le principali linee d'azione scaturite dalle problematiche constatate nel corso di questa fase applicativa:

1. bisognerebbe predisporre un prototipo di dimensioni maggiori al fine di poter ottenere dati più dettagliati riguardanti i tempi di raggiungimento di uniformità delle temperature superficiali del modulo e per avere dati misurati su un componente uguale a quello del modello virtuale;
2. andrebbero definiti dei tempi di monitoraggio più lunghi al fine di ottenere dati più accurati;
3. è necessario effettuare ulteriori osservazioni sul componente reale per poter confrontare i dati del comportamento termigrometrico simulato dell'Innovative TAS con i dati reali dei flussi termici e dell'umidità relativa.

heat flows for monitoring, to test the hot/cold stress of the component, the following set points were established: hot set: 20 °C and cold set: 0 °C. Moreover the air flap⁴ was positioned at 60%, normal value, (0% the air is entirely behind the hot plate; therefore, the heat transfer takes place only by irradiation; 100% entirely on the sample; therefore the heat transfer takes place by convection). Finally the measured data were recorded every 30 seconds.

The Innovative TAS component was tested in its passive thermal behaviour at stationary regime for a time of two and a half hours on heat flows distributed on the two external surfaces:

1. ceramic slab of a thickness of 6mm exposed to the hot side;
2. thermal insulation panel in Aerogel, of a thickness of 4 cm on the cool side.

Given the proximity of position between the thermocouples on the sample and those situated at the margin of the heat flowmeter, the stabilization of the variance of the thermocouples⁵ took place in a low time range equal to an hour and a half, after which the measurements of the data did not in general yield stable values.

The Tab. 3 shows the essential data of the measurements performed, reporting the values of temperatures, relative humidity, and flows (W/m²) at the start and end of monitoring.

The measurement tests done on the prototype that was made, which highlight the thermal behaviour at the component's stationary and dynamic regime, are just a first step in all the monitoring operations to be done in order to check and approve the stratigraphy and the thermo-hygrometric behaviour of the Innovative TAS module, by guiding

Una prova di monitoraggio del prototipo nel suo funzionamento termo-attivo potrebbe essere effettuata secondo il metodo di prova G del *Test Box* (trasmittanza termica dinamica delle chiusure opache, sulla base della norma UNI 13786) al fine di determinare la capacità del campione di attenuare e sfasare il flusso termico proveniente dall'esterno nell'arco di 24h, con cella caldo/freddo o cella calda e monitoraggio outdoor.

NOTE

¹ Temperatura esterna invernale per la località Roma secondo la UNI 5364: 0 (°C).

² La UNI 12831 stabilisce le temperature interne di progetto in funzione delle destinazioni d'uso dei locali. Per i locali adibiti ad abitazioni tale temperatura è fissata per 20 °C (max +2 gradi).

³ La temperatura interna di progetto degli ambienti secondo la UNI 11300 si assume pari a 20°C durante la stagione invernale e pari a 26°C durante quella estiva.

⁴ Elemento di deviazione dell'aria all'interno della TestBox.

future research developments towards perfecting additional tests to be done, and towards defining a 2.0 prototype that is larger in size and more accurate in developing the material layers of which it is composed, and in its details. The tests done on the basis of Test Box's test H method (thermal analysis in stationary regime) confirmed good behaviour of the multilayer system, reporting a thermal conductance value of 0,31 (W/m²-K).

After the first hour and a half of observation, the variance of the thermocouples both on the hot side and on the cool one began the stabilization process, reporting from that moment on variations under 0,1 °C.

The simulations on the virtual model jointly with the tests performed based on the Test Box's test G method (based on UNI 13786 regulations) allowed initial observations to be extrapolated

in terms of heat flows and hygrometric control of the multilayer component observed in its passive and active operation and in the absence and presence of the hygro-regulating layer, despite the presence of differences in the calculation and dimensional models used to perform the virtual tests and the tests on the prototype (Tab. 4).

Conclusions

To pursue the research, the main lines of action emerging from the problems found over the course of this applicative phase are listed:

1. it would be necessary to have a larger prototype in order to be able to obtain more detailed data regarding the times for reaching uniformity of surface temperatures along the entire module, and to have measured data on a component equal to the one of the virtual model;

Tab. 4 | Messa a confronto dei dati raccolti in fase di simulazione e monitoraggio del prototipo Innovative TAS
 Compared to the data collected during simulation and monitoring of the Innovative TAS prototype

Tab. 4 | Messa a sistema dati (Tsi) componente passivo (Pas) e componente attivo (Tas)

ore di osservazione	Dimensione componente: 50x50 cm metodo: UNI EN ISO 13786 variazione: Te da 3 a 19°C setpoint: Te 11°C			Dimensione componente: 300x300 cm metodo: Energy Plus variazione: da 3,5 a 18,1°C			SINTESI DEI DATI
	componente passivo			Componente attivo			
	Tsi (°C)	Ti (°C)	UR (%)	Tsi (°C)	Ti (°C)	UR (%)	
0,00 h	14,00	14,80	55,60	14,00	15,00	55,00	
1,00 h	14,58	14,51	51,12	16,24	17,79	37,92	
2,00 h	14,96	14,83	48,24	26,09	19,47	34,44	
3,00 h	15,29	15,08	47,32	28,95	21,60	30,01	
4,00 h	15,57	15,40	46,90	25,02	21,82	31,02	
5,00 h	16,03	16,34	46,51	21,82	21,75	32,66	
6,00 h	16,71	16,80	45,08	20,66	20,33	33,23	
7,00 h	17,14	17,22	44,92	20,22	20,02	33,21	
8,00 h	17,99	18,06	44,81	19,99	19,89	33,04	
9,00 h	18,48	18,59	45,63	19,77	19,60	32,97	
10,00 h	19,57	19,62	44,28	28,42	21,57	29,58	
11,00 h	20,36	20,48	46,79	28,92	22,78	26,86	
12,00 h	21,01	21,08	47,13	25,19	23,00	26,96	

Messa a sistema dati (Tsi) componente passivo (Pas) e componente attivo (Tas)

ore di osservazione	Dimensione componente: 50x50 cm metodo: UNI EN ISO 13786 variazione: Te da 3 a 19°C setpoint: Te 11°C			Dimensione componente: 300x300 cm metodo: Energy Plus variazione: da 3,5 a 18,1°C			SINTESI DEI DATI
	componente passivo			componente attivo			
	Tsi (°C)	Ti (°C)	UR (%)	Tsi (°C)	Ti (°C)	UR (%)	
13,00 h	20,88	21,05	50,62	22,41	22,13	28,44	
14,00 h	20,62	20,99	52,10	21,06	21,58	29,79	
15,00 h	19,31	19,67	54,16	20,28	21,31	31,13	
16,00 h	18,89	19,06	53,62	19,58	20,42	31,13	
17,00 h	18,22	18,43	51,37	18,95	20,07	33,45	
18,00 h	18,10	18,15	49,50	18,49	19,45	34,90	
19,00 h	17,37	17,42	49,66	17,99	19,04	35,89	
20,00 h	16,55	16,98	49,51	17,50	18,40	36,87	
21,00 h	16,08	16,34	48,12	17,10	18,02	38,66	
22,00 h	15,41	15,89	47,91	16,78	17,88	40,20	
23,00 h	14,62	15,53	47,62	16,46	17,50	39,47	
24,00 h	13,98	15,02	46,40	16,30	17,31	37,80	

- longer monitoring times should be defined in order to obtain more accurate data;
- additional observations must be done on the real component in order to be able to compare the data on the simulated thermal/hygro-metric behaviour of the Innovative TAS with the real data of heat flows and relative humidity.

A monitoring test of the prototype in its thermal active operation might be performed in accordance with Test Box's test G method (dynamic thermal transmittance of opaque closures, based on UNI 13786 regulations) in order to determine the sample's ability to attenuate and delay the heat flow originating from the outside over the course of 24 hours, with a hot/cold cell or hot cell and outdoor monitoring.

NOTES

- Winter outdoor temperature for Rome according to UNI 5364: 0 (°C).
- UNI 12831 establishes the indoor design temperatures as a function of the intended use of the premises. For locations destined for residential buildings, this temperature is set for 20 °C (max +2 degrees).
- The indoor design temperature of the environments in accordance with UNI 11300 is assumed as equalling 20°C during the winter season, and 26°C during the summer.
- Element of air deviation inside the TestBox.
- As variance of thermocouples is intended the difference between superficial temperatures, measured at the same time, in every point of the surface on which the thermocouples are placed.

INVOLVED SUBJECTS

The work of theoretical experimental research and virtual simulation of thermal behaviors of the Innovative TAS module was carried out by the PDTA Department of Sapienza of Rome (coordination and supervision of Professor Arch. Alessandra Battisti with the PhD student Egle Ministeri), with the AMA Composites industries S.R.L. and Laminam S.p.A. System group with the collaboration for the monitoring aspects of the Innovative TAS prototype of the TCLab Research Laboratory Advanced testing center of the building envelopes of Reggio Calabria.

⁵ Per varianza delle termocoppie si intende la differenza dei valori delle temperature superficiali, allo stesso momento di osservazione, in tutti i punti di una stessa superficie sulla quale sono posizionate le termocoppie.

SOGGETTI COINVOLTI

Il lavoro di Ricerca sperimentale teorico e di simulazione virtuale dei comportamenti termici del modulo Innovative TAS è stato condotto dal Dipartimento PDTA della Sapienza di Roma (coordinamento e supervisione della Professoressa Arch. Alessandra Battisti con la Dottoranda Egle Ministeri), con le industrie AMA Composites S.R.L. e Laminam S.p.A. System groupe con la collaborazione per gli aspetti di monitoraggio del prototipo Innovative TAS del Laboratorio di Ricerca TCLab centro di testing Avanzato degli involucri edilizi di Reggio Calabria.

REFERENCES

- Li, R., Yoshidomi, T., Ooka, R. and Olesen, B.W. (2015), "Field evaluation of performance of radiant heating/cooling ceiling panel system". *Energy and Buildings*, Vol. 86, pp. 58-65.
- Schuler, M. (2010), "Foreword. Tradition, comfort, and conservation in Thermally active surfaces in architecture", Princeton Architectural Press, pp. 24-25.
- Moe, K. (2010), *Thermally active surfaces in architecture*, Princeton Architectural Press, Hudson, NY, USA.
- Battisti, A. and Ministeri, E. (2017), "Thermal-Active Systems between innovation and research in architecture", *SCM*, No. 6, pp. 48-53.
- Olesen, B.W. (2002), "Radiant floor heating in theory and practice", *Ashrae journal*, Vol. 44, No. 7, pp. 19.
- Fiorito, F. and Santamouris, M. (2017), "Tecnologie ad alta prestazione e il futuro della progettazione architettonica", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 13, pp. 72-76.
- Ochoa, C.E. and Capeluto, I.G. (2008), "Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate", *Building and Environment*. Vol. 43, No. 11, pp. 1829-1839.
- Yannas, S. (1989), "Physics and architecture. Issues of knowledge transfer and translation to design", *Solar & Wind Technology*, Vol. 6, No 4, pp. 301-308.
- Ad van der Aa, Per Heiselberg and Perino, M. (2011), *Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings*, Designing with Responsive Building Elements, IEA-ECBCS, Annex 44, Published by Aalborg University, Aalborg, SE.
- Navarro, L., De Gracia, A., Colclough, S., Browned, M., McCormack, S., Griffiths, P. and Cabeza, L. (2016), "Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part I. active storage systems", *Renewable Energy*, Vol. 88, pp. 526-547.
- Hoes, P. and Hensen, J.L.M. (2016), "The potential of lightweight low-energy houses with hybrid adaptable thermal storage: comparing the performance of promising concepts", *Energy and Buildings*, Vol. 110, pp. 79-93.
- Gwerder, M., Lehmann, B., Tödtli, J., Dorer, V. and Renggli, F. (2008), "Control of thermally-activated building systems (TABS)", *Applied energy*, Vol. 85, No. 7, pp. 565-581.
- Gstoehl, D., Stopper, J., Bertsch, S. and Schwarz, D. (2011), "Fluidised glass facade elements for an active energy transmission control", World Engineers' Convention 2011, Genova.
- Gutai, M. (2014), *Trans structures: fluid architecture and liquid engineering*, Actar, New York, USA.
- Lehmann, B., Dorer, V. and Koschenz, M. (2007), "Application range of thermally activated building systems tabs", *Energy and buildings*, Vol. 39, No. 5, pp. 593-598.
- UNI EN 1264 (2003), *Riscaldamento a pavimento - Impianti e componenti - Installazione*.
- UNI 8290 (4), *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico*.
- Holmes, M.J and Hacker, J.N. (2007), "Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century", *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 7, pp. 802-814.
- Alenei, L., Brzezicki, M., Knaack, U., Luible, A., Perino, M. and Wellershoff, F. (2015), *Adaptive facade Network-Europe*, TU Delft Open, Delft, NL.
- UNI 12664 / UNI 12667 / UNI 12939 (2002), *Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termofluisimetro - Prodotti secchi e umidi con media e bassa resistenza termica*.
- UNI EN ISO 8990 (1999), *Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia*.
- UNI 13187 (2000), *Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso*.
- Standard ASHRAE 55 (2010), *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- UNI 5364 (1976), *Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Regole per la presentazione dell'offerta e per il collaudo*.
- UNI 10339 (1995), *Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura*.
- UNI EN 12831 (2018), *Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 1: Carico termico per il riscaldamento degli ambienti, Modulo M3-3*.
- UNI TS 11300 (4) (2016), *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria*.
- D.P.R. 59 (2009), *Attuazione del D. Lgs. 192/05. Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*.
- Clarke, J.A. (2001), *Energy simulation in building design*, Routledge, London, UK.
- UNI 13786 (2008), *Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo*.

Roberto Bolici^a, Carlo Micono^b,

^aDipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

^bAiStudio, Italia

roberto.bolici@polimi.it

cmicono@aigroup.it

Abstract. L'involucro edilizio dinamico in grado di variare le prestazioni in relazione alle sollecitazioni climatiche e alle esigenze dell'utenza, rappresenta una delle principali tendenze tecnologiche degli ultimi decenni, finalizzata a implementare l'efficienza energetica degli edifici e il confort ambientale interno. In questo scenario, una sfida ancora aperta è la realizzazione di sistemi dinamici di facile utilizzo, gestione e manutenzione con costi ridotti di fabbricazione e gestione. L'articolo intende descrivere il processo di ricerca che ha condotto alla progettazione di un sistema di schermatura esterno innovativo a lamelle orientabili e movimentabile in modo automatico, a basso costo e di facile produzione, consentendo dunque una gestione nel tempo semplice ed economica.

Parole chiave: Schermatura solare; Involucro edilizio; Simulazione energetica; Frangisole.

Introduzione

L'innovazione architettonica, di frequente, guarda alle tecniche costruttive tradizionali rivisitandole in chiave contemporanea. Infatti, la tradizione ci rammenta di ottenere il massimo rendimento dalle risorse naturali attraverso il concepimento di manufatti in grado di reagire efficacemente all'evoluzione delle condizioni climatiche esterne. Se un tempo questo avveniva unicamente grazie all'uso di forme e materiali specifici, ora la tecnologia consente di pervenire a risultati ancor più ottimizzati, grazie a modelli e sistemi che partendo dal concepimento di un involucro edilizio adattivo e dinamico¹ consentono da una parte il perfezionamento dell'apporto di luce e calore, dall'altro la riduzione dei consumi energetici degli edifici.

In particolare, l'involucro dinamico rappresenta una delle principali tendenze tecnologiche degli ultimi decenni, finalizzata a implementare l'efficienza energetica degli edifici e il confort ambientale interno (Tucci, 2014).

Tendenza peraltro incentivata dai recenti sviluppi legislativi² che

Shading dynamically.
Observation, feedback
and design

Abstract. The dynamic building envelope able to vary the performances in relation to the climatic stresses and to the user's needs, represents one of the main technological trends of the last decades, aimed at implementing the energy efficiency of the buildings and the internal environmental comfort. In this scenario, a challenge that is still open is the creation of dynamic systems that are easy to use, manage and maintain with reduced manufacturing and management costs. The article intends to describe the research process that led to the design of an innovative external shielding system that can be orientated and moved automatically, at low cost and easily produced, thus allowing simple and economic management over time.

Keywords: Solar shielding; Building envelope; Energy simulation; Sunscreen.

hanno gradualmente introdotto aiuti e detrazioni fiscali per tutti quegli interventi finalizzati alla riqualificazione energetica del patrimonio esistente e all'installazione delle schermature solari. A quest'ultime, viene dato grande rilievo come soluzione tecnologica e costruttiva efficace per evitare il surriscaldamento estivo, riconoscendo e confermando il ruolo fondamentale di questi componenti tecnologici nell'ambito dell'efficienza energetica. Inoltre, il frequente ricorso alla trasparenza delle superfici in vetro ha reso necessaria l'adozione di provvedimenti per un più adeguato controllo della luce naturale. Ancora, con l'ampliarsi di queste superfici le schermature hanno assunto una forte connotazione espressiva (Tatano, Rossetti, 2012) e dovendosi adattare ai continui cambiamenti delle condizioni ambientali non possono più essere statici. Conseguenza, l'integrazione con sensori esterni e sistemi di manovra elettromeccanici e un'attenzione al design della componentistica capace di esaltare l'efficacia del sistema schermante (Premier, 2012).

In questo scenario, una sfida ancora aperta è la realizzazione di sistemi dinamici di facile utilizzo, gestione e manutenzione. Sfida che la società "Infissi Alluminio Valtidone"³ ha voluto raccogliere, commissionando una ricerca dal titolo "Studi e ricerche per la definizione di un modello di schermatura frangisole – a lamelle orientabili-impacchettabili – utilizzabile in ambiente esterno" al Politecnico di Milano, Dipartimento di architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito (ABC), e alla Società di Ingegneria Ai Studio⁴.

Lazienda Infissi Alluminio Valtidone (IAV), posizionata sul mercato con una gamma di prodotti riferiti a sistemi oscuranti e

Introduction

Architectural innovation often looks at traditional building techniques through revising them in a contemporary way. In fact, tradition reminds us to obtain the maximum efficiency from natural resources through the creation of manufactured goods that are able to react effectively to the evolution of outdoor climatic conditions. Whereas in the past this was achieved solely through the use of specific shapes and materials, technology now allows for even more optimized results thanks to innovative models and systems. Such system and models, starting with the design of an adaptive and dynamic¹ building envelope, on the one hand allow the perfect contribution of light and heat and, on the other hand, reduce the energy consumption of buildings. In particular, the dynamic envelope that is able to perform actively and in

relation to climatic variations and user needs is one of the main technological trends of recent decades, aimed at implementing energy efficiency in buildings and indoor environmental comfort (Tucci, 2014).

The energy efficiency trend in buildings is encouraged by recent legislative developments² that have gradually introduced incentive and tax deductions for all interventions that aim at the energy requalification of existing assets and the installation of solar shading. The latter is prominent due to being effective as a technological and construction solution to avoid summer overheating, recognizing and confirming the fundamental role of technological components in the field of energy efficiency. In addition, the frequent use of transparency in glass surfaces has made it necessary to take measures to control natural light more effectively.

infissi performanti entrambi in alluminio, intuisce una tendenza in atto dell'architettura contemporanea che predilige grandi superfici vetrate e l'adozione di sistemi di schermatura efficaci. Sistemi oggi non presenti nel catalogo dell'azienda.

Con questi presupposti la IAV si è posta come obiettivo generale quello di penetrare nuovi mercati attraverso l'ampliamento della gamma prodotti, mentre come obiettivo specifico la progettazione esecutiva di una schermatura frangisole a lamelle orientabili e impacchettabili utilizzabile in ambiente esterno.

In questo contesto, a seguito di un confronto critico con gli effettivi bisogni della committenza e le ragioni della produzione, si è reso necessaria un'azione progettuale che ha trovato nella cultura tecnologica della progettazione, identificabile attraverso un campo di saperi, conoscenze, metodi e strumenti vasto e articolato (Campioli, 2017), un supporto di grande rilievo.

Di seguito, verrà descritto il processo di ricerca che ha condotto alla progettazione del sistema di schermatura, a basso costo e di facile produzione, resosi possibile tramite la riduzione del numero di componenti presenti e consentendo dunque una gestione semplificata nel tempo. Nello specifico, il processo di ricerca è stato sviluppato secondo tre fasi, la prima di "osservazione", la seconda di "riscontro" e la terza di "progetto".

Fase 1 - Osservazione

Questa fase ha preso avvio con l'analisi dello stato dell'arte delle tipologie di schermatura esterna a lamelle mobili, successivamente l'analisi dei principali indicatori prestazionali che la caratterizzano e infine la verifica del mercato attraverso un'indagine dei produttori presenti a livello nazionale. Questo percorso ha consentito l'analisi della componentistica del sistema frangisole,

Furthermore, with the expansion of glass surfaces, shielding has taken on a strong expressive connotation (Tatano, Rossetti, 2012) and, since it has to adapt itself to the continuous changes in environmental conditions, it can no longer be a static element. As a result, shading is integrated with external sensors and electromechanical control systems and the design of components that enhance the effectiveness of the shielding system has become necessary (Premier, 2012).

In this scenario, a challenge still open is the creation of dynamic systems that are easy to use, manage and maintain, so as to make modulation of performance easy for any type of user, with reduced manufacturing and management costs.

The company "Infissi Alluminio Valtidone (IAV)"³ has conducted a challengeable research⁴ entitled "Research

for the definition of a new model of sunscreen – adjustable-printable lamellae – usable for outdoors" at the Polytechnic of Milan, Department of Architecture, Building Engineering and Built Environment (ABC), and with the assistance of Engineering Firm Ai Studio⁵.

The company Infissi Alluminio Valtidone, IAV offers a range of products for shading systems and high performance windows, both in aluminum. With the attention to the market request, IAV understands the current trend of contemporary architecture that prefers large glass surfaces and that consistently forces the adoption of effective shielding systems (maximizing thermal gains in winter, control of thermal radiation in summer and improvement of visual comfort in the interior). The mentioned systems are not currently present in the company catalogue.

l'individuazione delle specifiche funzioni di ciascuna schermatura e i relativi punti di forza e criticità legati alla produzione e alla gestione durante la vita utile del sistema.

In particolare, per l'analisi dello stato dell'arte si è proceduto attraverso una ricognizione bibliografica tecnico-documentaria, il riconoscimento della normativa specifica per le schermature (UNI EN 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici, UNI EN 12216 "Chiusure oscuranti, tende interne ed esterne. Terminologia, glossario e definizioni", UNI EN 14501, Tende e chiusure oscuranti. Benessere termico e visivo. Caratteristiche prestazionali e classificazione, UNI EN 13561, Tende esterne. Requisiti prestazionali compresa la sicurezza, UNI EN 12464/1, Luce e illuminazione. Illuminazione dei posti di lavoro. Parte 1: Posti di lavoro in interni e UNI EN 13659 "Chiusure oscuranti e tende alla veneziana esterne. Requisiti prestazionali compresa la sicurezza") e l'identificazione dei prodotti in commercio, attraverso la selezione delle principali aziende del mercato italiano, classificate per volume di vendita⁵ e specializzate nella produzione di schermature solari.

In seguito, si è proceduto con l'analisi dei principali requisiti prestazionali rilevati all'interno delle schede dei sistemi a frangisole impacchettabili esterni manifesti nel panorama produttivo nazionale. Requisiti che hanno consentito al gruppo di lavoro di predisporre un *format* di scheda prodotto. La schedatura si è posta come obiettivo, quello di raccogliere in modo uniforme i dati e fornire uno scenario delle soluzioni perseguite dalle principali aziende di schermature rispetto la tipologia di schermatura tipo frangisole metallico orientabile e impacchettabile. I requisiti⁶ presi in considerazione sono stati molteplici e derivanti da un attento confronto con la committenza, tra cui: la presenza dalla funzione

Having in mind the above-mentioned, IAV's goal is conquering new markets through the expansion of its product range, while a specific objective of the Company is the executive design of a sunscreen with adjustable and packaged slats that can be used outdoors.

In this context, following a critical comparison with the actual needs of the client and the reasons for production, a design action based on knowledge, vast and articulated methods and tools became necessary. (Campioli, 2017)

In present document, we will describe the research process that led to the design of the shielding systems that are low-cost and easy to produce and more effective through reducing the number of present components and thus allowing a simplified management over time. Specifically, the research process was developed in three phases, the first

is "observation", then there is "feedback" phase and finally we enter in "project" phase.

Phase 1 - Observation

This phase began with the analysis of the state of the art of the types of external shading devices with moving slats, then the analysis of the main performance indicators that characterize it and finally the verification of the market through a survey of national producers. This process allowed the analysis of the components of the shading system, the identification of the specific functions of each screen and the relative strengths and critical points related to production and management during the useful life of the system.

In particular, the analysis of the state of the art was carried out through a technical-documentary bibliographic sur-

di controllo, la posizione, il tipo di azione, il tipo di movimentazione, la tipologia di sistema di manovra, il tipo di sistema di controllo, i tipi di materiali, finiture e caratteristiche dei componenti, il tipo di orientamento delle lame e il loro dimensionamento. Infine, attraverso la selezione delle aziende principali del mercato italiano produttrici di schermature solari, si è proceduto all'individuazione dei prodotti schermanti espressione di un'avanzata innovazione tecnologica. Fra le aziende individuate, una cinquantina circa, si è proceduto successivamente nella selezione di quelle in linea con le esigenze della committenza. In particolare la Abba, la Griesser, la Hella Italia, la Lupack, la Model System Italia, la Rollplast, la Sunbreack e la Vanin (Fig. 1).

Fase 2 - Riscontro

L'individuazione dei requisiti tecnologici e prestazionali del progetto, le tipologie di componenti da impiegare e i materiali con le rispettive finiture, erano gli obiettivi di questa seconda fase, raggiunti grazie a una matrice di confronto (Fig. 2) che ha permesso peraltro di definire un "modello progettuale" condiviso con l'azienda Infissi Alluminio Valtidone: una schermatura frangisole utilizzabile in ambiente esterno a lamelle in alluminio estruso, assistito da un sistema motorizzato elettricamente per l'impacchettamento e cordoncini⁷ per l'orientamento delle lamelle.

Di seguito si è deciso di focalizzare l'attenzione sullo studio della componente "lamella" come elemento caratterizzante e innovativo in termini di forma e finitura, della schermatura frangisole. In particolare, si sono trasferiti gli esiti dell'analisi svolta su questa componente all'interno di un modello di calcolo dinamico, consentendo l'ottimizzazione del disegno del profilo delle lame

vey, the recognition of the specific regulations for shading (UNI EN 10349, Heating and cooling of buildings. Climatic data, UNI EN 12216 "Shutters, interior and exterior blinds. Terminology, glossary and definitions", UNI EN 14501, Blinds and shutters. Thermal and visual wellbeing. Performance characteristics and classification, UNI EN 13561, External blinds. Performance requirements including safety, UNI EN 12464/1, Light and lighting. Illumination of workplaces. Part 1: Indoor work places and UNI EN 13659 "Shutters and external venetian blinds. Performance requirements including safety") and the identification of commercial products, representative of the adjustable and mechanically packaged shields, through the selection of the main companies on the Italian market, classified by sales volume, specialized in the production of solar shading.

Then, we proceeded with the analysis of the main performance requirements detected within the data sheet of the outdoor packaged sunshade systems in the national production scenario. Requirements that have allowed the working group to prepare a format of the product sheet. The objective of the cataloguing was to collect data in a uniform manner and provide a scenario of the solutions pursued by the main shading companies with respect to the type of shading such as adjustable and packaged metal sun blinds. The requirements⁶ taken into consideration were numerous and derived from a careful comparison with the client, including: the presence of the control function, the position, the type of action, the type of movement, the type of manoeuvring system, the type of control system, the types of materials, finishes and characteristics of the

e ottenendo di conseguenza le migliori prestazioni energetiche e luminose. Mediante simulazioni iterative tra *software* parametrici e comportamento energetico degli edifici si è ottenuto, per un ambiente tipo la valutazione della correlazione tra forma delle lame, prestazioni energetiche e comfort visivo degli utenti.

Studio della componente "lamella"

Lo studio è stato avviato a partire dall'analisi delle due principali tipologie di profilo di lamella attualmente disponibili sul mercato, profilo "tipo a C" e profilo "tipo a Z" (Fig. 3), e, per ciascuna tipologia si sono svolte tre simulazioni con finalità specifiche: valutazione qualitativa della radiazione solare entrante in ambiente, analisi quantitativa di illuminamento naturale sul piano di lavoro (lux), verifica del rischio di abbagliamento (DGP) per l'utente.

Per le valutazioni è stato assunto come "ambiente-tipo" il modulo proposto dalla IEA TASK 27 (Dijk, 2003) e le variabili modificate sono state:

- la posizione del sole, considerando i due solstizi alle ore 12.00;
- l'inclinazione della lamella, considerando 0° e 30°;
- il colore della lamella, valutando i coefficienti di riflettanza superficiale massimo e minimo corrispondenti ai colori bianco e grigio scuro.

Per le analisi delle prestazioni luminose è stato usato il *software Rhinoceros*, con la piattaforma di modellazione parametrica *Grasshopper*, che permette la connessione e la modifica dei dati di *input*, permettendo un beneficio nell'integrazione tra analisi e progetto. Attraverso i *plug-in Ladybug e Honeybee* (Sadeghipour Roudsari and Pak, 2013) è stato possibile importare i dati clima-

components, the type of orientation of the blades and their sizing. Finally, through the selection of the main companies in the Italian market producing solar shading, has been carried out the identification of shielding products expression of advanced technological innovation. Among the companies identified, about fifty were selected those in line with the needs of the client. In particular, Abba, Griesser, Hella Italia, Lupack, Model System Italia, Rollplast, Sunbreack and Vanin (Fig. 1).

Phase 2 - Feedback

The identification of the technological and performance requisites of the project, the types of components to be used and the materials with the respective finishes, were the objectives of the second phase. They were achieved thanks to a comparison matrix (Fig. 2) which also made it possible to de-

fine a "design model" shared with the company Infissi Alluminio Valtidone: an external shading device made of extruded aluminium lamellas, assisted by an electrically powered system for packaging and cords⁷ for the orientation of the slats.

Afterwards it was decided to focus on the study of the "lamella" as a characterizing component and innovative element of the shading screen in terms of shape and finish. In particular, the results of the analysis carried out on this component were transferred to a dynamic calculation model, allowing the optimization of the design of the lamella profile and consequently obtaining the best energy and visual performance. Through iterative simulations between parametric software and energy modelling tools, it has been possible to assess the correlation between the shape of the lamella, energy

DITTA PRODUTTRICE			HELLA ITALIA SRL
NOME PRODOTTO			AR 92 ECN M
FUNZIONI CONTROLLO	calore		X
	freddo		
	rumore		
	sole		X
	condizioni climatiche		
	vista		
	luce		X
	accesso		X
	vandalismo		
	insetti		
	urto		
	incendio		
	POSIZIONI	interna	
integrata			
TIPO DI AZIONE	esterna		X
	regolabile		X
MOVIMENTI	estensibile		
	fissa		X
	aperta/chiusa		X
	impilamento		X
SISTEMI DI MANOVRA	orientamento orizzontale		X
	rotazione		
	sollevamento		
	combinazione di movimenti		
SISTEMI DI MANOVRA	motorizzato	catena	X
		cavo	
SISTEMI DI MANOVRA	manuale		
SISTEMA DI CONTROLLO	controllo di motore individuale		X
	controllo di motore di gruppo		X
	controllo programmato		X
	controllo solare		
	controllo dal vento		
	controllo orario		
	controllo della temperatura		
	controllo da pioggia		
MATERIALE	controllo del ghiaccio		
	controllo del fumo		
	controllo a distanza		X
FINITURA	lama	alluminio	X
		altro	
FINITURA	guide	alluminio	X
		altro	
FINITURA	lama	verniciatura	X
		altro	
FINITURA	guida	verniciatura	X
		ricoperta in PVC	
CARATTERISTICHE	antirumore su lame (con guarnizione)		X
	sistema anticaduta lame		
	sistema antisollevamento		
ORIENTAMENTO LAME	in discesa		
	in fase di arresto		
DIMENSIONI (in mm)	luce architettonica	larghezza massima ¹	5000
		altezza massima ²	5200
		profondità	140
	superficie massima (mq)		8
	lama	larghezza	92
	spessore	0,44	
GUIDE E MECCANISMI	Guida laterale in alluminio estruso con inserto in plastica per lo smorzamento del rumore. Le guide laterali possono essere montate con distanziali regolabili/fissi o lateralmente nella luce della muratura. Niplo di guida delle lamelle in zinco, alternato in ogni lamella, collegato in maniera antiurto con la lamella. Sollevamento e abbassamento del telo e regolazione lamelle tramite motore elettrico 230 V/AC. Azionamento con rotismo epicicloidale, fine corsa sopra e sotto, interruttore termico contro sovraccarico del motore. Orientamento lamelle tramite leggera spinta nella rispettiva direzione. Se dovessero essere azionati più motori con un solo interruttore, serve un dispositivo di comando.		



DITTA PRODUTTRICE		HELLA ITALIA SRL	MODEL SYSTEM ITALIA	ROLLPLAST	GRIESSER SRL	ABBA	LUPAK	YANN	SUNBREAK	ANALISI DATI	
NOME PRODOTTO		AR 92 ECA M	MODEL PAK MD500	Z90	METALLIC V	TVB-Z	LUME	FR200	METALPAK SB 200		
FUNZIONI CONTROLLO	solare	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	freddo									0 %	
	sanora		X	X	X	X	X	X	X	87,5 %	
	sole	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	condizioni climatiche									0 %	
	vista									0 %	
	luna	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	accanto	X	X		X		X	X	X	87,5 %	
	condensato									0 %	
	insetti									0 %	
	urto									0 %	
	rumore									0 %	
	POSIZIONI	interna									0 %
integrata										0 %	
esterna		X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
TIPO DI AZIONE	regolabile	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	potenziabile									0 %	
	flava									0 %	
	aperchiatura	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
MOVIMENTI	regolamento	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	orientamento orizzontale	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	posizione									0 %	
	sollevamento									0 %	
SISTEMI DI MANOVRA	combinazione di movimenti									0 %	
	motorizzato		X		X		X	X	X	82,5 %	
SISTEMA DI CONTROLLO	manuale	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	controllo di motore individuale	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
	controllo di motore di gruppo		X		X	X	X	X	X	75 %	
	controllo programmato	controllo solare	X	X	X	X	X	X	X	X	82,5 %
		controllo dal vento		X		X					17,5 %
		controllo orario		X		X					17,5 %
		controllo della temperatura				X					0 %
		controllo da pioggia									0 %
		controllo del ghiaccio									0 %
		controllo del fumo									0 %
	controllo a distanza	X			X			X	X	37,5 %	
	MATERIALE	acciaio	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %
		alluminio	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %
guida		X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	
altro										0 %	
FINITURA	verniciatura	X	X	X	X	X	X	X	X	87,5 %	
	finitura lino legno		X							12,5 %	
	impulverizzata in legno		X							12,5 %	
	guida	X	X	X	X	X	X	X	X	87,5 %	
CARATTERISTICHE	ordinazione su lame (con guarnizione)	X	X	X	X	X	X	X	X	87,5 %	
	soluzione articolata lame		X		X		X			12,5 %	
	soluzione autoaddebiamento		X		X		X			82,5 %	
ORIENTAMENTO LAME	in diagona		X		X		X		X	50 %	
	in fase di arresto	X	X	X	X	X	X	X	X	100 %	

02 | Matrice di confronto tra i prodotti e i requisiti tecnologici

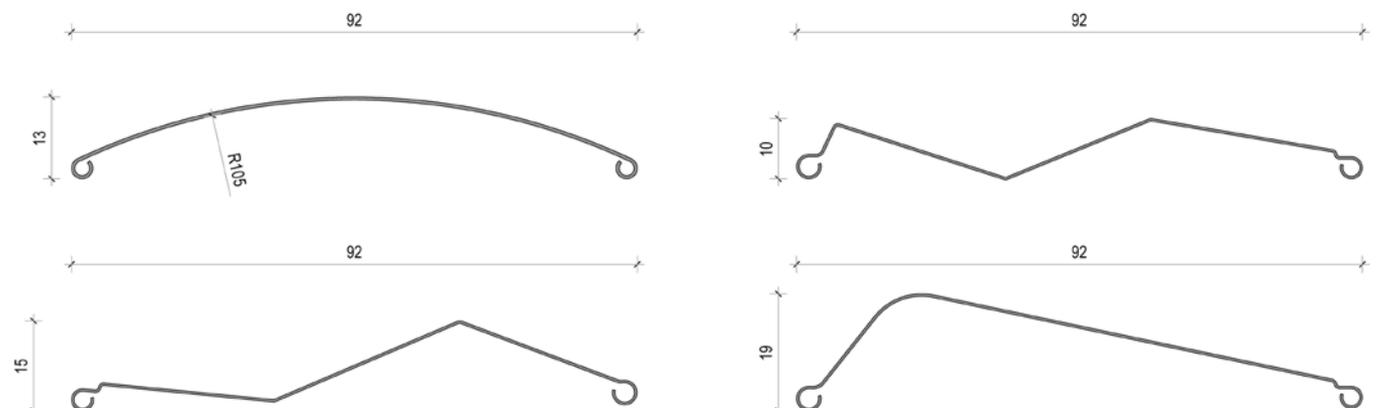
Comparison matrix between products and technological requirements

tici da anno tipo ed elaborarli con il motore di calcolo *Radiance*, visualizzando i risultati delle analisi attraverso *Rhinoceros*.

La valutazione qualitativa della radiazione solare entrante in ambiente è stata condotta tramite l'analisi di *ray tracing*: una procedura di calcolo che si basa sulla costruzione geometrica di vettori rappresentanti i raggi solari, con direzione definita dalla posizione del sole, che collegano una griglia di punti con la superficie vetrata. Le superfici schermanti, interposte tra la griglia di punti e la geometria di destinazione riflettono i vettori specularmente, consentendo una lettura grafica del numero di inter-riflessioni di ciascun raggio. Attraverso il motore di calcolo *Radiance*, si calcola per l'ambiente tipo, la distribuzione dei valori di illuminamento sul piano di la-

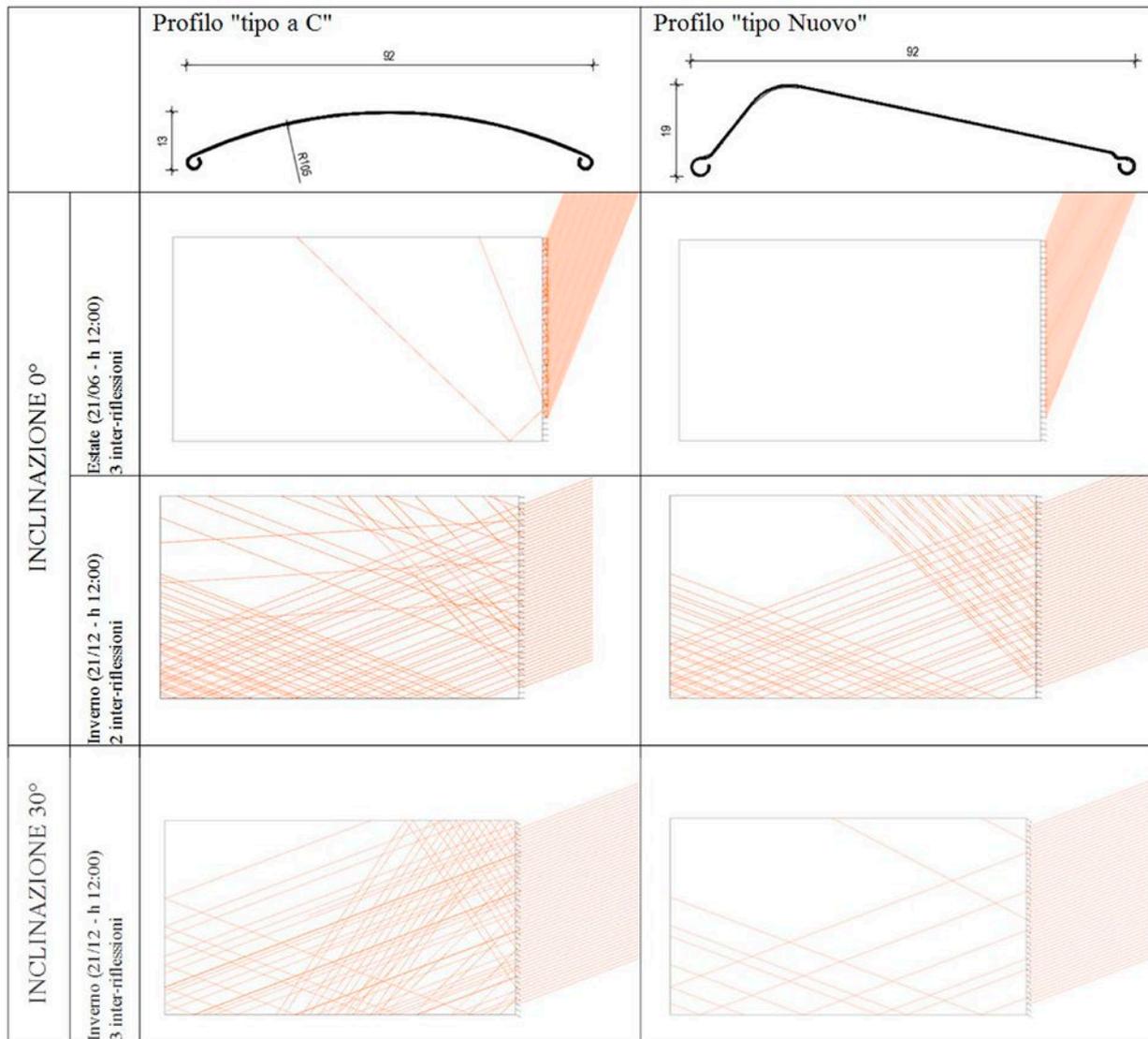
voro. Data la complessità geometrica del profilo delle lamelle, si è resa necessaria la definizione di un set specifico di parametri per ottenere una risoluzione inferiore al centimetro (Reinhart, 2001). Attraverso lo strumento *Evalglare* si sono valutate le fonti di abbagliamento e i valori del *Daylight Glare Probability DGP*, indice di stima del livello di abbagliamento in ambienti chiusi. Questo indice può essere interpretato come la percentuale di persone che, in un determinato istante, avvertono una sensazione di *discomfort*.

Di seguito, vengono riportati i risultati relativi alle analisi del profilo "tipo a C" e alla soluzione del profilo ottimizzato "tipo Nuovo" (Fig. 4). Si può osservare che durante il solstizio estivo,



03 | Profilo lamella tipo C e profilo lamella tipo Z

Lamella profile type C and Lamella profile type Z



performance and visual comfort of users for a typological room.

Study of the "lamella" component

The study was started by analyzing the two main types of lamella profiles currently available on the market, a "C-shaped" profile and a "Z-shaped" profile (Fig. 3), and, for each typology, three different simulations with three specific purposes were carried out: qualitative assessment of the solar radiation entering the environment, quantitative analysis of daylight on the working plane of the typological room (lux), verification of the risk of glare (DGP) for the user.

For the evaluations, the module proposed by the IEA TASK 27 (Dijk, 2003) was assumed as "environment-type" and the modified variables were:

- the position of the sun, considering the two solstices at 12.00;

- the inclination of the lamella, considering 0° and 30°;
- the colour of the lamella, by evaluating the maximum and minimum surface reflectance coefficients corresponding to the white and dark grey colours.

For the analysis of the luminous performances, the Rhinoceros software was used, with the Grasshopper parametric modeling platform, which allows the connection and the modification of the input data, allowing a benefit in the integration between analysis and project. Through the Ladybug and Honeybee plug-ins (Sadeghipour Roudsari, Pak, 2013) it was possible to import the climatic data from a standard year and process them with the Radiance calculation engine, displaying the results of the analyses through Rhinoceros.

The qualitative assessment of the solar radiation has been carried out through

the ray tracing analysis: a calculation procedure based on the geometric construction of parallel vectors representing the sun's rays, with direction defined by the position of the sun, connecting a grid of points with the glazed surface. The surfaces characterizing the shields interposed between the grid of points and the target geometry reflect the vectors mirroring, allowing a graphical reading of the number of inter-reflections of each ray.

Using the *Radiance* calculation software, the distribution of illuminance values on the working plane for the typical room was evaluated. Given the geometric complexity of the lamella profile, an analysis was carried out with a high degree of detail, which made it necessary to define a specific set of parameters to obtain a resolution lower than one centimeter (Reinhart C. F., 2001).

Through the *Evalglare* tool, applied to the images generated by *Radiance*, for estimating the amount of daylight entering the room, the glare sources and values of the *Daylight Glare Probability DGP* (an index for estimating the glare level indoor) were evaluated. This index can be interpreted as the percentage of people who, at a given moment, feel a sense of discomfort.

The results of the analyses for the "C-type" lamella profile and for the optimized "new type" profile are shown below (Fig. 4). It is possible to observe that during the summer solstice, in which the solar height is maximum and in the case study equal to 68° with an inclination of the lamella equal to 0°, the direct incident solar radiation is totally shaded by both types. The difference between the two profiles is perceptible regarding the reflected radiation in the room and allows to as-

in cui l'altezza solare è massima e nel caso studio pari a 68° con un'inclinazione della lamella di 0°, la radiazione solare incidente diretta viene totalmente schermata da entrambe le tipologie. La differenza tra i due profili è percepibile riguardo la radiazione riflessa in ambiente e permette di asserire che il profilo "tipo Nuovo" ha una capacità schermante leggermente superiore. Durante il solstizio invernale l'altezza solare, nel caso studio pari a 21° (IWEC, 2001) in combinazione con l'inclinazione della lamella pari 0°, permette l'ingresso di gran parte della radiazione diretta per entrambi i casi. Agendo sull'inclinazione della lamella, portandola a 30°, gran parte della radiazione solare viene schermata per entrambi i profili. Riguardo la radiazione solare riflessa, considerando fino alla terza interriflessione⁸, il profilo "tipo Nuovo" scherma maggiormente la radiazione diretta che potrebbe generare *discomfort*.

L'analisi quantitativa di luce naturale (Fig. 5) conferma le prestazioni considerate nelle precedenti valutazioni qualitative. Nell'analisi di illuminamento durante il solstizio estivo si nota che la radiazione diffusa si distribuisce in maniera analoga, con valori pressoché simili. Analizzando i valori calcolati per il solstizio invernale, con lamella inclinata di 30° si sottolinea la maggiore uniformità di illuminamento riguardante l'analisi con il profilo "tipo Nuovo".

I valori di probabilità di abbagliamento (DGP) risultanti dalle analisi di calcolo (Fig. 6) fanno riferimento alla vista dell'utente rivolto verso la superficie vetrata, schermata dall'esterno. Alle ore 12:00 del solstizio estivo, in cui la radiazione entrante è unicamente di tipo diffuso, i valori di DGP sono leggermente inferiori per il profilo "tipo Nuovo", pari al 33%, rispetto al profilo "tipo a C", pari al 35%. Per entrambi i casi si può affermare

sert that the "new type" profile has a slightly higher shielding capacity. During the winter solstice, the solar height, in the case study equal to 21° (IWEC, 2001) in combination with the inclination of the lamella equal to 0°, allows the entry of a large part of the direct radiation for both cases analysed. By tilting the lamella to 30°, most of the direct solar radiation is shielded for both profiles. As for the reflected solar radiation, considering up to the third inter-reflection (8), the "new type" profile shields more the direct radiation that could generate discomfort.

The quantitative analysis of daylight within the room (Fig. 5) confirms the performances considered in previous qualitative assessments. In the daylight analysis during the summer solstice, it is noted that the diffused radiation is distributed in a similar way, with almost similar values. Analysing the

calculated values for the winter solstice, with lamella inclined at 30°, there is a greater uniformity of illumination with the "new type" profile.

The daylight glare probability values (DGP) resulting from the calculation analyses (Fig. 6) refer to the user's view facing the glazed surface, shaded from the outside. At 12:00 during the summer solstice, in which the incoming radiation is only diffuse, the values of DGP are slightly lower for the "new type" profile, 33%, compared to the "C-type" profile, 35%. For both cases the glare is imperceptible. At 12:00 during the winter solstice, with horizontal lamella, with the "C-type" profile there is a glare classifiable as "intolerable" with a DGP index value of 49%, while with the "new type" profile glare is in a better class, even if it remains "annoying". By tilting the lamella at 30° for both profiles, the probability of glare is

che l'abbagliamento è impercettibile. Alle ore 12:00 del solstizio invernale, a lamella orizzontale, con il profilo "tipo a C" si ha un abbagliamento classificabile come "intollerabile" con un valore di DGP pari a 49%, mentre con il profilo "tipo Nuovo" l'abbagliamento è in una classe migliore, pur restando "fastidioso". Inclinando la lamella a 30°, per tutti e due i profili, la probabilità di abbagliamento si definisce "impercettibile", in quanto il DGP è pari a 36%.

Sono state quindi condotte analisi riguardo l'incidenza nella variazione di colore per il solo profilo "tipo Nuovo", alle ore 12:00 del solstizio invernale, con lamella inclinata di 30°. Dai risultati (Fig. 7) si evince che la riflettanza della lamella incide sui valori di illuminamento dell'ambiente incrementando i valori con il colore più chiaro (RGB 0.8; 0.8; 0.8). Allo stesso modo, all'aumentare della riflettanza si generano riflessioni che aumentano la probabilità di abbagliamento da 33% a 36% restando comunque non in valori di *discomfort*. Tali attività di analisi, miravano ad un'ottimizzazione delle prestazioni della schermatura, ottenendo come risultato la definizione delle caratteristiche per lo sviluppo del progetto.

Fase 3 - Progetto

Il sistema frangisole è costituito da componenti di produzione standard e facilmente reperibili sul mercato (Fig. 8).

È caratterizzato da lamelle in alluminio impacchettabili all'interno di un cassonetto con forma ad U con funzione di involucro esterno per tutti gli elementi che compongono il sistema di schermatura. Viene inoltre utilizzato come appoggio per la posa dell'isolamento e dell'intonaco esterno. All'interno del cassonetto è alloggiato il sistema di movimentazione del frangisole, co-

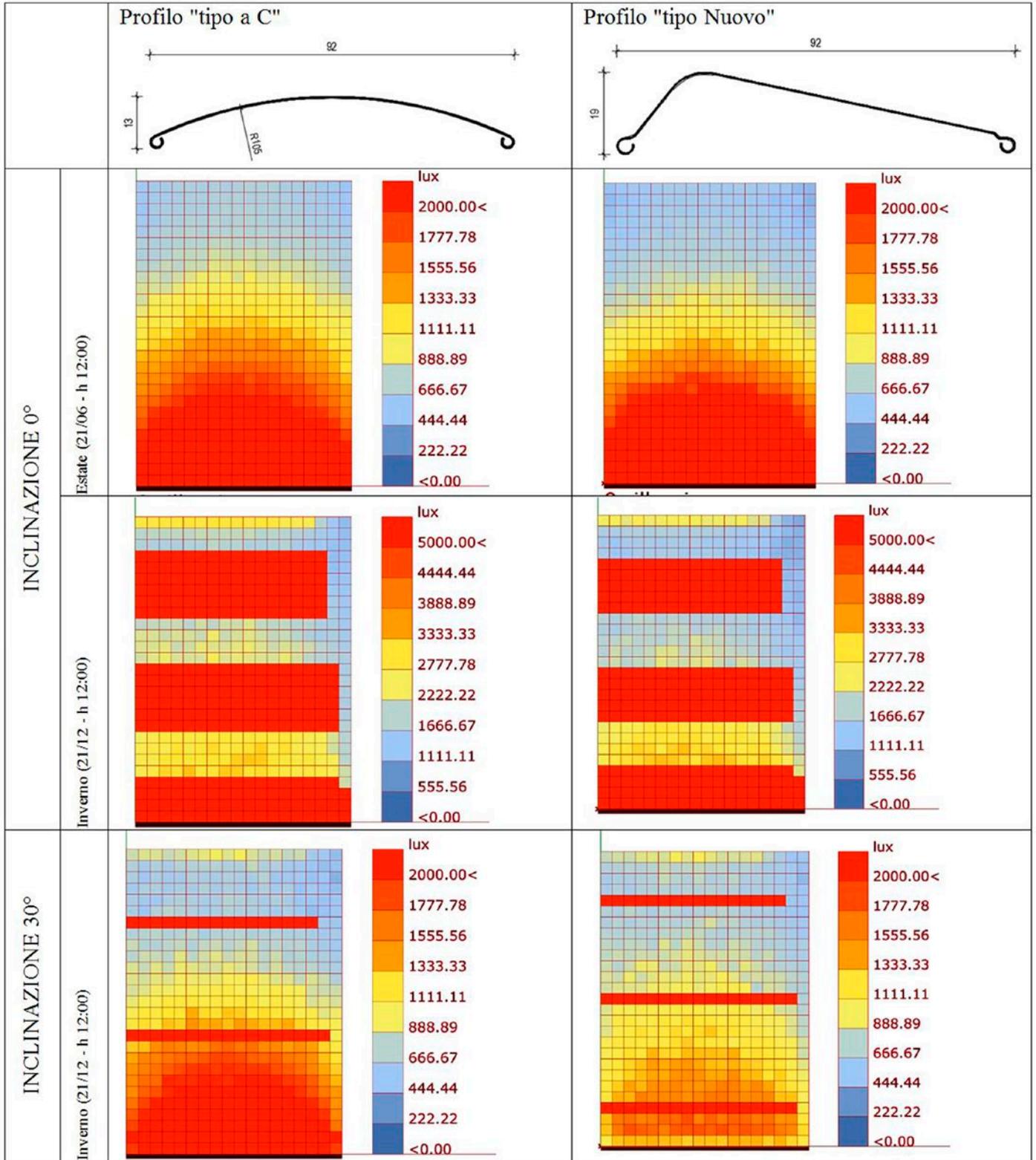
defined as "imperceptible", as the DGP index is equal to 36%.

Other analysis were then carried out to investigate the incidence of colour variation for the "new type" profile only, at 12:00 on the winter solstice, with a 30° lamella. The results (Fig. 7) show that the lamellar reflectance affects the illumination values of the environment by increasing the values with the lighter color (RGB 0.8; 0.8; 0.8). Similarly, as the reflectance increases, reflections are generated and increase the probability of glare from 33% to 36%, remaining however not in discomfort values. These analysis aimed at optimizing the shading performance, obtaining the definition of the features for the development of the project as a result.

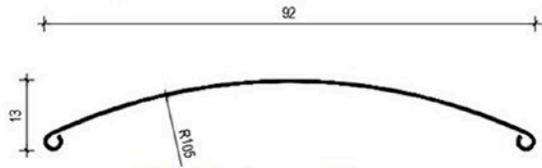
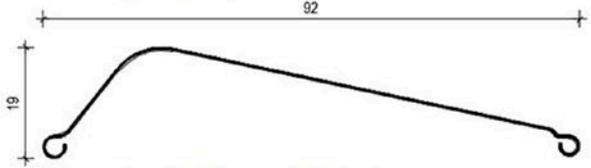
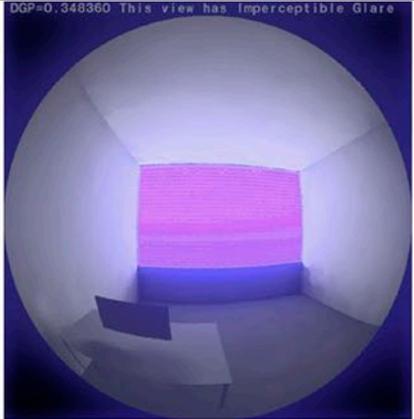
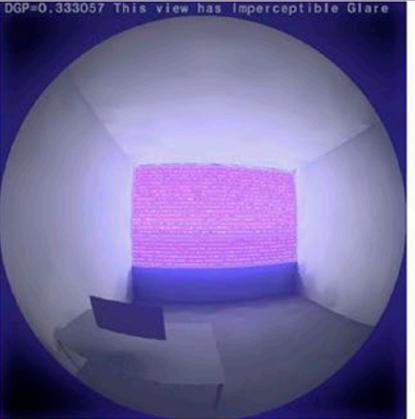
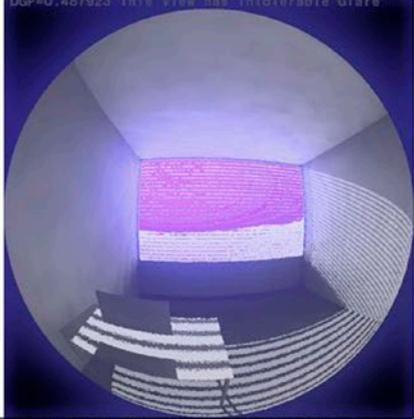
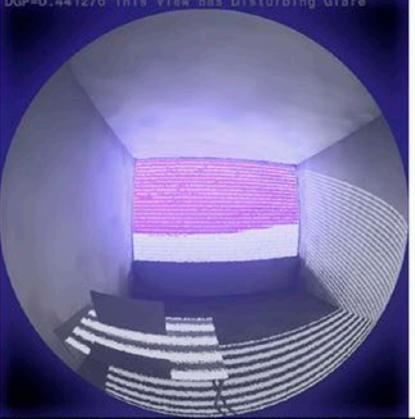
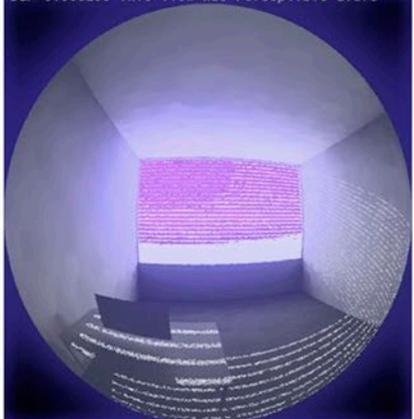
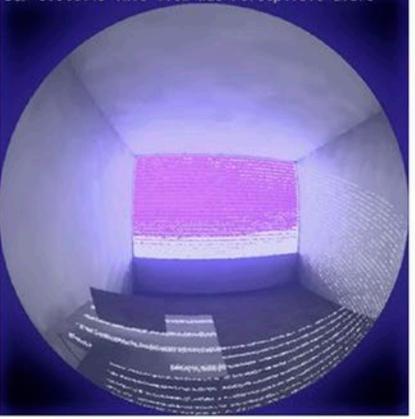
Phase 3 - Design

The designed shading device consists of standard production components

that are easily available on the market (Fig. 8). It is characterized by packable aluminium lamellas inside an U-shaped box that acts as an outer casing for all the elements that make up the shading system. It is also used as a support for the installation of insulation and external plaster. Inside the box is placed the movement system of the solar shading. It consists of the drive shaft for the transmission of the rotational motion, an electric motor for lifting, lowering and adjusting the lamellas, two encapsulated bearings for orientation of the slats. These components are embedded in a horizontal top guide, open at the bottom for housing the motorized system. In order to attenuate the noises deriving from the sliding of the various components, an EPDM component is placed between the supports and the brackets.



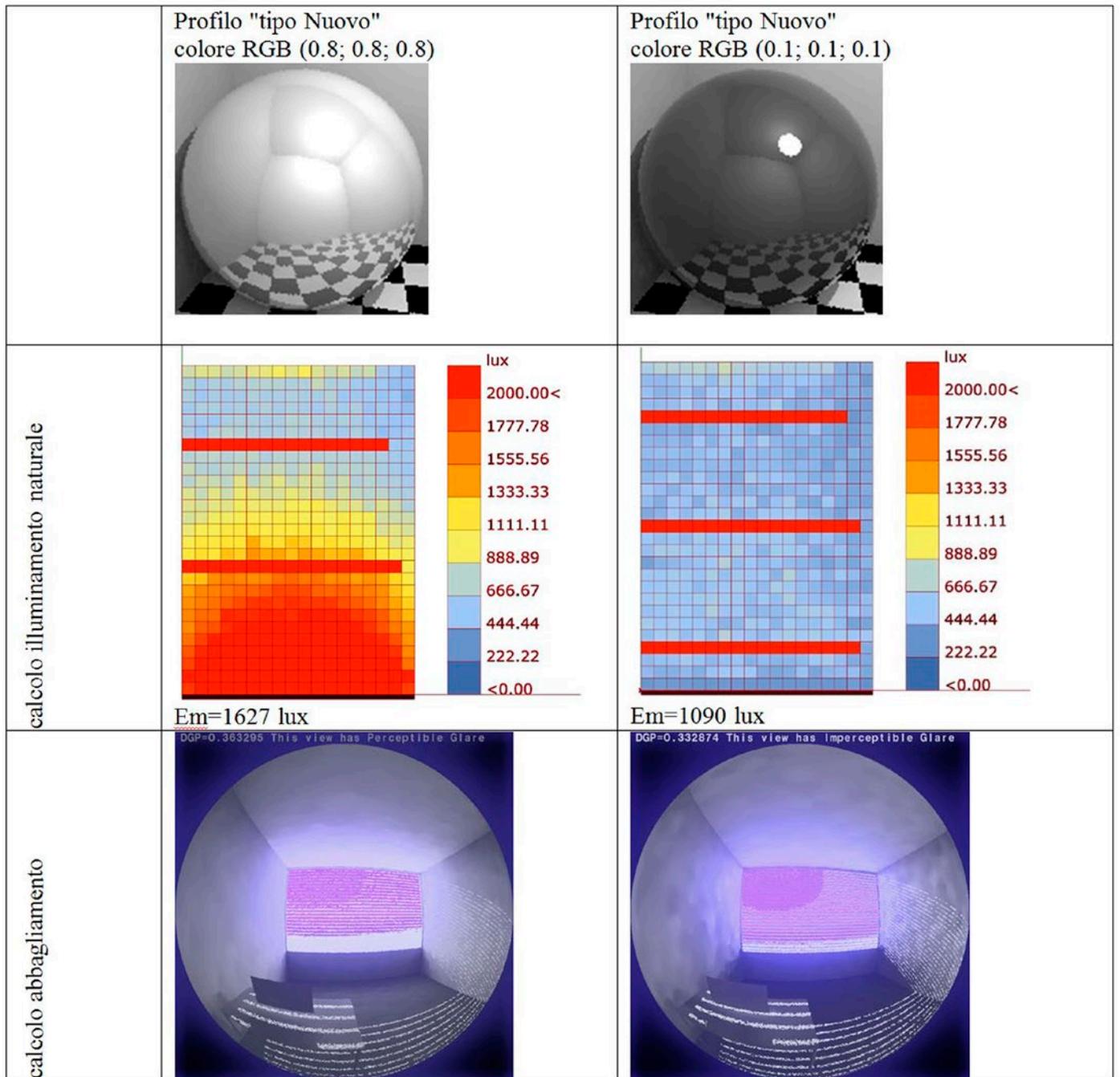
06 |

		Profilo "tipo a C" 	Profilo "tipo Nuovo" 
INCLINAZIONE 0°	Estate (21/06 - h 12:00)		
	Inverno (21/12 - h 12:00)		
INCLINAZIONE 30°	Inverno (21/12 - h 12:00)		

stituito dall'albero motore per la trasmissione del moto rotatorio, un motore elettrico per il sollevamento, la discesa e la regolazione delle lamelle, due cuscinetti di orientamento incapsulati per l'orientamento delle lamelle. Questi componenti sono incassati in una guida superiore orizzontale, aperta nella parte inferiore

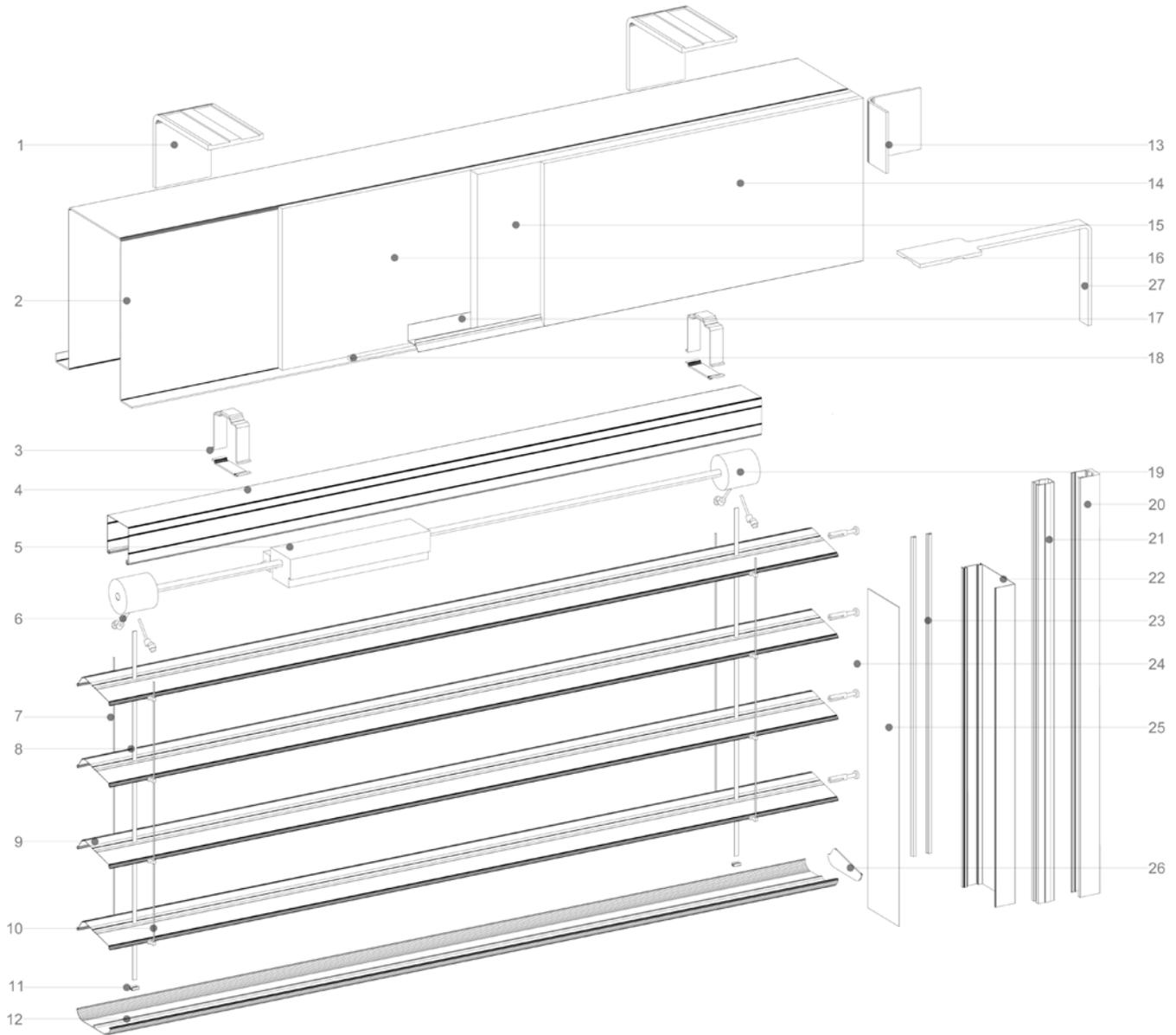
per l'alloggiamento del sistema motorizzato. Lo scorrimento verticale delle lamelle avviene attraverso guide verticali, ancorate al controltaio.

La lamella, costituita da un profilo in alluminio bordato su entrambi i lati, di lunghezza pari a 92 mm e con uno spessore di



08 | Esploso assometrico del sistema (1. Staffa metallica – 2. Canale a U – 3. Supporto puntuale guida superiore – 4. Guida superiore in alluminio – 5. Motore elettrico e albero di azionamento 6. Raccordo metallico dei cordoncini – 7. Cordoncini in terylene per orientamento lamelle – 8 Nastro texband per sollevamento lamelle – 9. Lamelle in alluminio – 10. Clips di fissaggio dei cordoncini – 11. Giunti a scatto per texband – 12 Spiaggiare in alluminio estruso – 13 Profilo in acciaio per fissaggio cassonetto – 14. Intonaco – 15. Pannello isolante – 16. Piastra porta intonaco – 17. Profilo in PVC – 18. Nastro sigillante precompresso – 19. Cuscinetto orientabile – 20. Guida laterale in alluminio estruso – 21. Inserto guide in EPDM – 22. Profilo aggiuntivo guida laterale in alluminio – 23. Labbri di tenuta in EPDM – 24. Perni guida in poliammide – 25. Profilo di chiusura in alluminio 26. Calotta di chiusura dello spiaggiare
 Exploded axonometric system (1. Metal bracket - 2. U-channel - 3. Upper guide point support - 4. Aluminium upper guide - 5. Electric motor and drive shaft 6. Lanyard connector - 7. Terylene lanyards for slat orientation - 8 Texband tape for slat lifting - 9. Aluminium slats - 10. Lanyard fixing clips - 11. Snap-on couplings for texband - 12 Extruded aluminium profile - 13 Steel profile for fixing the metal box - 14. Plaster - 15. Insulating panel - 16. Plastering tray - 17. PVC profile - 18. Prestressed sealing tape - 19. Swivel bearing - 20. Extruded aluminium side guide - 21. Guide insert in EPDM - 22. Additional aluminium side rail profile - 23. Sealing lips in EPDM - 24. Polyamide guide pins - 25. Aluminium closing profile 26. Closing cap.

08 |



The vertical sliding of the slats takes place through vertical guides, anchored to the subframe.

The lamella, consisting of an aluminium profile edged on both sides, with a length of 92 mm and a thickness of approx. 0.40 mm, is characterized by the optimised shape resulting from the analysis previously illustrated. The new profile also offers a higher degree

of maintainability compared to other standard profiles because, thanks to its shape, it tends to drain the water only outside the lamella. A plastic sealing element is attached to the front edge of the profile to increase dimming and reduce noise. For sliding inside the side rails, the slats are fitted with lightweight, acoustically efficient polyamide guide pins. The ver-

tical movement of the sipes is handled by lifting strips in texband, anchored to the sipes with snap joints fixed inside the beach by means of the metal ribs present. The adjustable blades are guaranteed by terylene polyester strips with Kevlar inserts. These are fixed to the louvers by means of printed clips for acoustic attenuation, with anti-UV treatment.

To maintain continuity with the insulation on the façade, insulating panels are provided to be laid on the upper side and on the back side. To complete the process, a plaster support plate is placed on the outer side of the metal box to prevent the formation of cracks. The lower part of the box is completed with a PVC profile and a pre-stressed polyurethane foam tape to finish the

ca. 0,40 mm, è caratterizzata dalla forma ottimizzata frutto delle analisi precedentemente illustrate. Il nuovo profilo offre anche un grado di manutenibilità più elevato rispetto ad altri profili perché, grazie alla sua forma, tende a far defluire l'acqua solo all'esterno della lamella. Sulla bordatura anteriore del profilo viene fissato un elemento di tenuta in plastica per incrementare l'oscuramento e ridurre la rumorosità. Per lo scorrimento all'interno delle guide laterali, le lamelle sono provviste di perni di guida in poliammide, leggeri e performanti dal punto di vista acustico. Il movimento verticale delle lamelle è demandato a nastri di sollevamento in *texband*, ancorati alle lamelle con giunti a scatto fissati all'interno dello spiaggiante tramite le nervature metalliche presenti. L'orientabilità delle lamelle è garantita da nastri in poliestere di terylene con inserti in Kevlar. Questi sono fissati alle lamelle tramite clip stampate per l'attenuazione acustica, con trattamento anti raggi UV.

Per mantenere la continuità con l'isolante in facciata, vengono previsti dei pannelli isolanti da posare sul lato superiore e sul lato posteriore. Per completare la lavorazione, sul lato esterno del cassonetto viene posata una piastra porta intonaco per evitare la formazione di fessurazioni. La parte inferiore del cassonetto viene completata con un profilo in PVC e un nastro sigillante precompresso in schiuma poliuretana per rifinire l'angolo tra il cassonetto a U ripiegato e l'intonaco.

Lo sviluppo del progetto tecnologico della schermatura esterna a lamelle orientabili e impacchettabili, consentirà, in una fase successiva, la realizzazione del prototipo, su cui saranno poi condotte specifiche prove finalizzate alla valutazione dei requisiti tecnologici e delle prestazioni energetiche ed illuminotecniche. Dall'esito di questi controlli si procederà, quindi, alla successiva

produzione a scala industriale, con l'obiettivo di avere un processo efficiente ed economico, nell'ottica di coniugare al meglio i costi ridotti con le alte prestazioni.

NOTE

¹ Sistema che si adegua alle condizioni ambientali per ottimizzare e ridurre i consumi energetici. Le componenti energeticamente attive che lo compongono sono due: gli strati funzionali mobili (layer) e la parete termoattiva.

² Si è partiti con il D.P.R. 59/2009, poi il D.M. 28/12/2012 - Conto Termico, a seguire la legge 23/12/2014, n. 190 nota come "Legge di Stabilità 2015", per arrivare alla legge di Bilancio 2018 (Legge 27/12/2017 n. 205) che integra e in parte modifica le condizioni di accesso ai benefici fiscali per l'efficienza energetica degli edifici, in relazione alle spese sostenute dal 1° gennaio al 31 dicembre 2018.

³ Infissi Alluminio Valtidone è un'azienda situata a Borgonovo Val Tidone (PC) che vanta un'esperienza di oltre 30 anni nel campo dei sistemi oscuranti tecnologici in alluminio e nella costruzione di infissi performanti in alluminio. Nata nel 1980, occupa oggi un segmento di riferimento costante nel panorama nazionale dei sistemi oscuranti e serramentistica in alluminio dedicata all'edilizia residenziale.

⁴ Ai Studio, assieme ad Ai Engineering s.r.l., con sede principale a Torino, operano dagli inizi degli anni '70 nei vari settori dell'ingegneria e lavorano in modo integrato con competenze multidisciplinari, fornendo una completa assistenza tecnica nell'impostazione, progettazione e realizzazione di opere complesse.

⁵ La ricerca ha considerato come riferimento le norme UNI EN 12216 e UNI EN 13659.

⁶ I valori e le descrizioni riportate fanno riferimento alle banche

corner between the folded U-bin and the plaster.

The development of the detailed technological design of the external shading with adjustable and packable lamellas, will allow, in a later stage, the realization of the prototype, on which specific tests will be carried out in order to evaluate the main technological, energy and visual performances. The outcome of these controls will then lead to subsequent production on an industrial scale, with the aim of having an efficient and economical process, in order to combine the reduced costs with high performance.

NOTES

¹ System that adapts to environmental conditions to optimise and reduce energy consumption. It is composed of two energy-active components: the

mobile functional layers and the thermo-active wall.

² It has been started with D.P.R. 59/2009, then D.M. 28/12/2012- Conto Termico, following L. 190 of 23/12/2014, known as the "Legge di Stabilità 2015", to arrive at Budget Law 2018 (L. 205 of 27/12/2017) which integrates and partly modifies the conditions of access to tax benefits for the energy efficiency of buildings, in relation to expenses incurred from 1 January to 31 December 2018.

³ Infissi Alluminio Valtidone is a company located in Borgonovo Val Tidone (PC) that boasts over 30 years' experience in the field of technological shading systems in aluminium and in the construction of high performance aluminium windows. Founded in 1980, today it occupies a constant reference segment in the national panorama of aluminum blinds and shutters for residential buildings.

⁴ Ai Studio, together with Ai Engineering s.r.l., with head office in Turin, have been working since the early 1970s in the various engineering sectors and work in an integrated manner with multidisciplinary skills, providing complete technical assistance in the setting up, design and construction of complex works.

⁵ The research considered as a reference the UNI EN 12216 and UNI EN 13659 standards.

⁶ The values and descriptions reported refer to the company databases and to the declarations made by the manufacturing companies themselves (CCIAA Companies Register).

dati relative alle imprese e a quanto dichiarato dalle stesse aziende produttrici (Registro Imprese della CCIAA).

⁷ Il sistema a catena è stato escluso per la sua complessità realizzativa, gli alti costi di produzione e la frequente richiesta di manutenzione.

⁸ L'illuminazione di un oggetto dalla luce riflessa da altri oggetti che non siano fonti di luce.

GRUPPO DI RICERCA

Politecnico di Milano, Dipartimento di architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito (ABC) (Prof. Roberto Bolici - Responsabile scientifico della ricerca e Arch. Paola Morisi - collaboratore). Ai Studio (Arch. Carlo Micono - Responsabile scientifico della ricerca e Archh. Luciano Laffranchini e Roberto Le Serre - collaboratori).

REFERENCES

Alagna, A. (2007), *Tecnologie per le forme dell'architettura contemporanea*, Alinea Editrice, Florence.

Brivio, S.F. (2009), "Schermature Solari e risparmio energetico", *Arketipo*, No. 33.

Campioli, A. (2017), "Il carattere della cultura tecnologica e la responsabilità del progetto", *Technè*, n.13, FUP (Firenze University Press), Florence.

Ceccherini Nelli, L., D'Audino, E., Trombadore, A. (2007), *Schermature solari*, Alinea, Firenze, IT.

Dick van Dijk (2003), *Thermal and solar modelling and characterisation; the role of IEA SHC Task 27*, TNO Building and Construction Research, Delft, NL.

Mottura, G. and Pennisi, A. (2014), *Serramenti e schermature solari*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, Rimini.

Nastri, M. (2008), *Involucro e architettura*, Maggioli editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Pennisi, A. and Mottura, G. (2006), *Progettare sistemi di protezione solare degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini.

Premier, A. (2012), *Superfici dinamiche: le schermature mobile nel progetto di architettura*, Franco Angeli, Milan.

Reinhart C.F. and Walkenhorst, O. (2001), "Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds", *Energy and Buildings*, Vol. 33, No. 7, pp. 683-697.

Sadeghipour Roudsari, M. and Pak, M. (2013), "Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design", in *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference Held, Lyon, France Aug 25-30th*.

Tatano, V. and Rossetti, M. (2012), *Schermature solari: evoluzione, progettazione e soluzioni tecniche*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Tucci, F. (2008), *Involucro ben temperato*, Alinea Editrice, Florence.

Tucci, F. (2014), *Involucro, clima, energia*, Altralinea Edizioni, Florence.

BLOCK_PLASTER: involucro in laterizio a elevate prestazioni energetico-ambientali

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Corrado Carbonaro^a, Silvia Tedesco^a, Stefano Fantucci^b,

^aDipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

^bDipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Italia

corrado.carbonaro@polito.it

silvia.tedesco@polito.it

stefano.fantucci@polito.it

Abstract. L'innovazione tecnologica nel settore dell'edilizia deve affrontare oggi una sfida importante: individuare soluzioni che non solo consentano di massimizzare i risparmi energetici in fase d'uso ma che permettano anche di ridurre l'impatto ambientale, nell'intero ciclo di vita, di materiali e componenti. L'articolo illustra un'attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale - finanziata su fondi europei - svolta in sinergia tra enti di ricerca e imprese, finalizzata alla progettazione, prototipazione e monitoraggio di un sistema di involucro eco-efficiente in laterizio, denominato BLOCK_PLASTER. Con un approccio multidisciplinare e multi-obiettivo sono state individuate configurazioni alternative del sistema e verificate prestazioni tecnologico-ambientali nelle diverse fasi del ciclo di vita.

Parole chiave: Prodotti eco-sostenibili; Involucro in laterizio; LCA; Approccio multidisciplinare.

Introduzione

L'attività di progettazione e di realizzazione dei manufatti architettonici deve rispondere oggi ad alcuni requisiti cogenti previsti da leggi e decreti nazionali, in recepimento di direttive europee, il cui obiettivo è di garantire da un lato l'efficienza energetica del sistema edificio, dall'altro l'ecocompatibilità di elementi e componenti. In riferimento al panorama normativo sempre più attento ai principi di sostenibilità e, più in generale, al crescente interesse legato all'acuirsi della questione ambientale, le scelte dei produttori nel settore dell'edilizia devono confrontarsi con l'innalzamento dei livelli di prestazione richiesti dal mercato. Tali prestazioni non si risolvono con i soli consumi energetici dell'edificio in fase d'uso, ma sono associati ad aspetti ambientali che caratterizzano l'intero processo edilizio.

L'articolo illustra un'attività di ricerca finalizzata alla progettazione, prototipazione e monitoraggio di un sistema di involucro opaco eco-efficiente, denominato BLOCK_PLASTER. Il sistema

è stato sviluppato a partire da materiali da costruzione largamente impiegati - in particolare nella tradizione costruttiva di alcuni Paesi come l'Italia - e a più alta intensità energetica, come il laterizio, con l'obiettivo di ridurre l'impatto grazie all'ottimizzazione del processo produttivo, all'impiego di materie prime a basso consumo di risorse non rinnovabili e alla realizzazione di sistemi costruttivi disassemblabili in fase di dismissione.

Infatti, come emerge nell'analisi degli impatti ambientali dei materiali da costruzione condotta da Haapio e Viitaniemi (2008) la fase di produzione è stata identificata come la fase più impattante per gli edifici di nuova costruzione e gli elementi opachi d'involucro ne sono i maggiori responsabili.

Gargari, Hamans e Torricelli (2013) evidenziano come tutto il comparto della filiera edilizia, italiana e europea, nell'ultimo decennio abbia investito sullo sviluppo di nuovi sistemi per l'edilizia valutandone la sostenibilità sull'intero ciclo di vita. Tuttavia, come rilevano Rouwette (2010), Bribián et al. (2011), Murmu e Patel (2018), i prodotti in laterizio necessitano di miglioramenti in un'ottica di riduzione degli impatti nel ciclo di vita e di sostenibilità ambientale.

Utilizzabile sia in interventi di nuova costruzione sia di riqualificazione dell'esistente, BLOCK_PLASTER ha tenuto conto di un quadro normativo ampio e articolato. In particolare ha fatto riferimento a norme, nazionali e sovranazionali, relative all'efficienza energetica degli edifici (Direttiva 2010/31/UE, D. Lgs. 192/05, D. Lgs. 311/06), alla valutazione di materiali e prodotti nel ciclo di vita (Direttiva 2009/125/CE, ISO 14040, ISO 14020), ai re-

BLOCK_PLASTER: high energy/environmental performance brick building envelope

Abstract. Today, technological innovation in the construction field faces an important challenge: the identification of solutions that may not only allow to maximize energy saving in the use phase, but that may also reduce environmental impact throughout the entire life cycle of materials and components. The paper illustrates a research activity and experimentation - funded by the European Union - carried out in synergy by research centres and private companies. Its end purpose was the design, prototyping, and monitoring of an eco-friendly brick envelope named BLOCK_PLASTER. Alternative configurations to the system have been identified and technological-environmental performances in the different phases of the life cycle have been verified through a multidisciplinary and a multi-objective approach.

Keywords: Eco-friendly products; Brick envelope; LCA; Multidisciplinary approach.

Introduction

Today, design and manufacturing activity related to architectural construction must satisfy a number of compelling requirements in accordance with national laws and decrees in adoption of EU directives, with the purpose of guaranteeing - on one hand - the energy efficiency of the building system and - on the other hand - the eco-compatibility of its elements and components. In reference to a legal framework that is growingly respectful towards the principles of sustainability and, more in general, to the growing public interest related to the severity of environmental issues, choices made by manufacturers in the construction sector must face the rise of the performance levels demanded by the market. Such performance concerns not only the energy consumption of the building in its use phase but is also related to

environmental aspects that distinguish the entire building life cycle.

The paper illustrates an industrial research and experimental development activity targeted towards the design, prototyping, and monitoring of an eco-friendly opaque envelope named BLOCK_PLASTER. The system was developed based upon widely utilized construction material - particularly in the building tradition of countries similar to Italy - and materials with a high energy intensity, such as brick, with the aim to reduce their impact thanks to the optimization of the manufacturing process, the use of raw material with a low consumption of non-renewable energy, and the creation of dismantlable construction systems for the disposal phase. In fact, as described in the environmental impact analysis of construction material carried out by Haapio and Viitaniemi (2008), the production phase

quisiti di marchiatura CE (Regolamento UE n. 305/2011), alle prestazioni legate alle esigenze di salute e benessere degli utenti (D.P.C.M. 5/12/97, UNI EN ISO 16000-9), ai requisiti specifici relativi ai prodotti in laterizio riportati nelle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Il progetto BLOCK_PLASTER: obiettivi e metodologia

Il progetto BLOCK_PLASTER, realizzato nell'ambito di attività di ricerca industriale e sviluppo sperimentale finanziate dalla Regione Piemonte su Fondi Europei POR-FESR 2007-2013, è stato sviluppato in collaborazione tra centri di ricerca e imprese sulla base di un approccio multidisciplinare e multi-obiettivo. I centri di ricerca coinvolti afferiscono al Politecnico di Torino (DAD – Dipartimento di Architettura e Design; DENERG – Dipartimento di Energia); le aziende comprendono una fornace di laterizi (Vincenzo Pilone s.p.a.), un produttore di intonaci (Vimark S.r.l.) e una società di progettazione e sviluppo di materiali innovativi (Nova Res S.r.l., spinoff dell'Università del Piemonte Orientale).

L'obiettivo generale del progetto (durata: 2013 -2015) è stato quello di realizzare un sistema di involucro in laterizio a elevata sostenibilità ambientale, sia in termini di prestazioni in fase d'uso (di tipo termico, acustico e di diluizione degli inquinanti), sia in termini di energia inglobata nei materiali e componenti. Tale sistema è caratterizzato da flessibilità costruttiva e da modalità di assemblaggio che consentono facilità di posa e riduzione dei rifiuti prodotti in fase di cantiere e, a fine vita, la completa separabilità e riciclabilità dei componenti.

Il sistema BLOCK_PLASTER si basa su quattro elementi: il blocco portante, il blocco leggero con funzione di ventilazione o

(in alternativa) di isolamento, l'intonaco interno in argilla, calce e paglia con funzione di assorbimento degli inquinanti indoor, l'intonaco esterno in argilla, perlite e calce con funzione termoisolante. Differenti configurazioni degli elementi che lo compongono consentono non solo la realizzazione di involucri portanti ma anche di facciate ventilate, pareti di tamponamento e cappotti esterni. Ecocompatibilità e flessibilità (di posa e di configurazione) differenziano e qualificano il sistema rispetto ai prodotti attualmente sul mercato, pensati generalmente per rispondere a un numero ridotto di requisiti ambientali (prevalentemente termici in fase d'uso) e assolvere una sola funzione.

L'approccio metodologico ha seguito un processo iterativo: in ogni fase le ipotesi progettuali sono state verificate attraverso analisi empiriche o di laboratorio (energetiche, tecnologiche, meccaniche, ambientali) e i feed-back ottenuti sono diventati strumento e guida per l'implementazione e il miglioramento del progetto. La Fig. 1 mostra la metodologia di iterazione-implementation e le fasi principali della ricerca: dalla selezione delle materie prime, al progetto tecnologico dei diversi componenti e del sistema nel suo insieme.

Individuazione dei requisiti tecnologici, termofisici e ambientali del sistema di involucro

Nell'iter progettuale è stato necessario individuare prioritariamente i requisiti che il sistema doveva soddisfare. Tali requisiti fanno riferimento al framework utilizzato nell'ambito del Life Cycle Design (Van Hemel and Brezet, 1997) e si riferiscono a cinque macro-obiettivi di progetto: minimizzazione delle risorse materiche ed energetiche; scelta di risorse e processi a basso impatto ambientale; ottimizz-

has been identified as the one with the highest environmental impact for newly built construction, and opaque elements are the major cause of such impact.

Gargari, Hamans, and Torricelli (2013) emphasize how the entire Italian and European construction supply chain has invested in the last decade on the development of new building systems with an assessment of their sustainability throughout the entire life cycle. However, as Rouwette (2010), Bribián et al. (2011), Murmu and Patel (2018) point out, that brick products need improvement in order to reduce life cycle impacts and increase environmental sustainability.

BLOCK_PLASTER, which may be used both in new construction and in renovation operations of existing buildings, has taken into account a broad and complete legal framework. In particular, they have referred to na-

tional and supranational legislation and standards related to energy efficiency of buildings (EU Directive 2010/31, Italian Decree-Law n° 192/05 and n° 311/06), the assessment of materials and products throughout their life cycle (EC Directive 2009/125, ISO 14040, ISO 14020), CE marking requirements (EU Regulation n° 305/2011), as well as performance related to the health and well-being demands of the users (Italian Ministerial Decree issued on 5/12/97, UNI EN ISO 16000-9), and specific requirements of brick products, as defined in the new technical standards for construction (Italian Ministerial Decree 14/01/2008).

The BLOCK_PLASTER project: objectives and method

The BLOCK_PLASTER project – carried out within the scope of industrial research and experimental develop-

ment funded by the regional office of Piedmont and, in turn, by European Regional Development Funds (POR-FESR 2007-2013) – has been developed in cooperation between research centres and companies on the basis of a multidisciplinary and a multi-objective approach. Research centres involved are both within the Turin Polytechnic (DAD – Department of Architecture and Design; DENERG – Department of Energy), while companies involved include a brick factory (Vincenzo Pilone S.p.A.), a plaster manufacturer (Vimark S.r.l.), and a company for design and development of innovative materials (Nova Res S.r.l., a spinoff of the University of East Piedmont).

The general goal of the project, lasting three years (2013 -2015), was to create a highly sustainable brick building envelope system, both in terms of performance during the use phase (thermal

performance, acoustic performance, and dilution of pollutants) and in terms of energy consumption of the materials and components. The system is distinguished by a construction flexibility and a mode of assembly that allow an ease of laying and a reduction in construction site waste, as well as the full disassembly and recyclability of the components at the end of their life cycle.

The BLOCK_PLASTER system is based on four elements: the load bearing block; the lightweight block – with a ventilation or (alternatively) an insulation function; the internal plaster made of clay, lime, and straw to absorb indoor pollutants; and the external plaster made of clay, perlite, and lime, with a thermal insulation function. The different configurations of the elements comprising it allow not only the creation of load bearing envelopes, but also ventilated façades, infill walls, and

zazione della vita utile dei prodotti; estensione della vita dei materiali (riciclabilità e riuso); facilitazione nel disassemblaggio. A ogni requisito sono stati associati indicatori prestazionali, sviluppati sulla base di vincoli normativi e di analisi di mercato (performance prodotti esistenti). Il risultato è stato uno strumento di progettazione e di verifica, una check list per guidare e orientare le scelte progettuali ma anche per valutare la sostenibilità ambientale del prodotto nell'intero ciclo di vita (Fig. 2).

Progettazione e prototipazione dei componenti

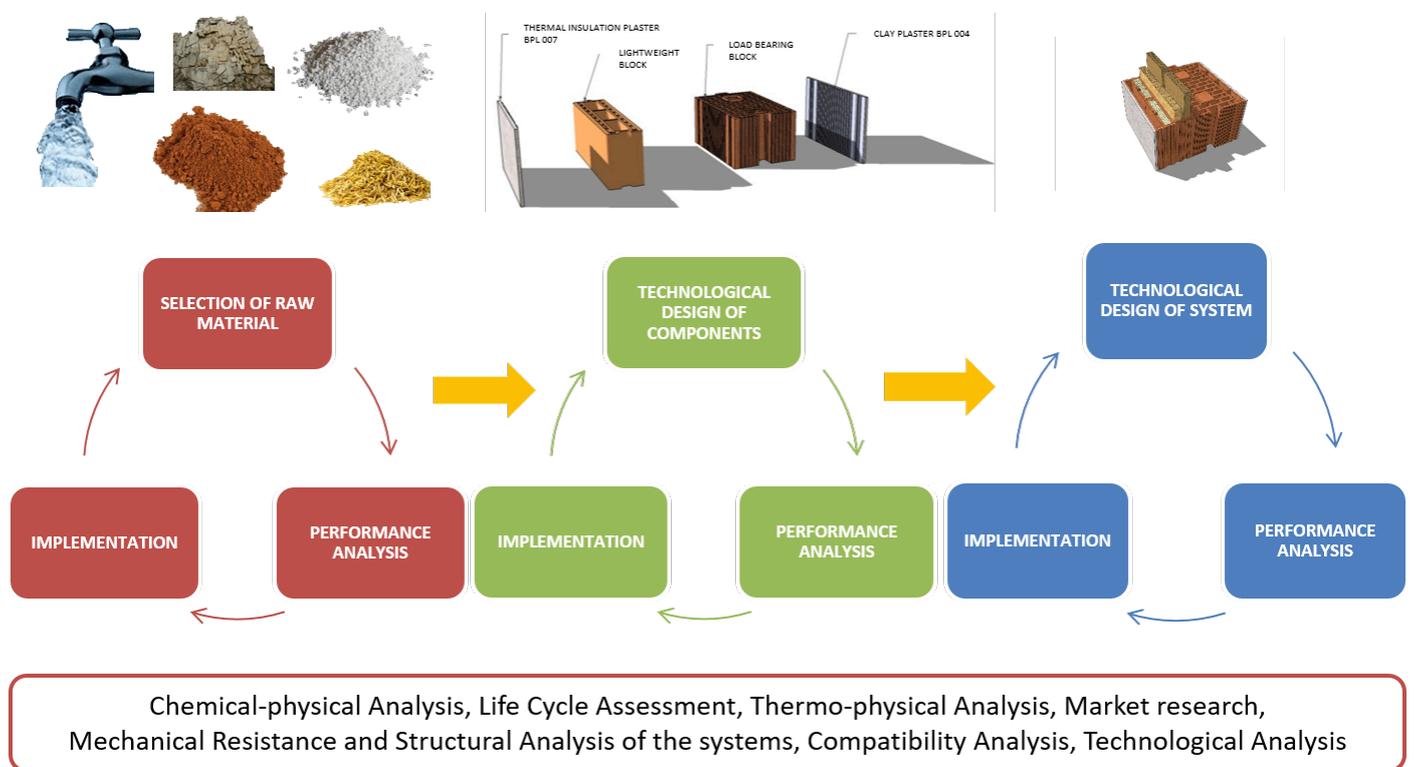
La definizione dei requisiti ha guidato le fasi di studio dei materiali e sviluppo dei componenti, nonché di progettazione e di prototipazione del sistema di involucro nel suo insieme. Requisiti prioritari sono stati: peso e dimensioni ridotte degli elementi costituenti, possibilità di posa sia a secco sia a umido, versatilità del sistema (differenti configurazioni possibili e diverse modalità di posa), elevate prestazioni energetico-ambientali (termiche, acustiche, qualità dell'aria), disassemblabilità e riciclabilità a fine vita. Il sistema è costituito da differenti elementi in laterizio (un blocco portante e uno leggero), da un intonaco interno e da uno esterno, come mostrato in Fig. 3.

Il blocco base può avere funzione portante o di tamponamento; il blocco leggero esterno può avere funzione di isolamento o, con eventuale cavità libera, funzionare come una facciata ventilata. Il progetto del blocco portante in laterizio ha tenuto conto di requisiti geometrici e dimensionali finalizzati a facilitarne la movimentazione (e.g. spessore e larghezza non superiori a 30 cm, peso inferiore a 15 kg), garantirne la compatibilità dimensionale rispetto all'edilizia civile, ottimizzarne lo stoccaggio e il trasporto (Fig. 4).

Il blocco leggero è stato progettato in modo da massimizzare la compatibilità con il blocco portante. Le caratteristiche dimensionali e geometriche del blocco leggero sono state inoltre studiate per poterlo utilizzare autonomamente sia come muratura sottile di tamponamento sia come completamento, in caso di retrofit, di un involucro esistente.

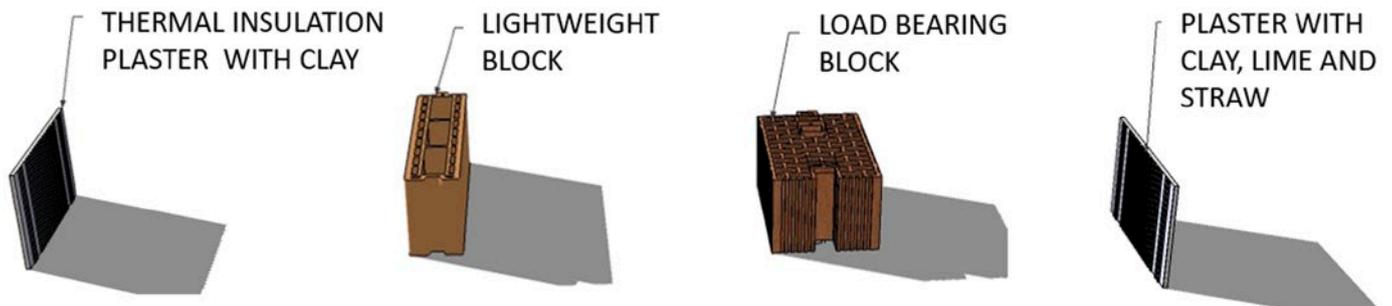
Il termointonaco esterno è stato realizzato con una miscela di argilla, calce e perlite, con resistenza meccanica e superficiale in linea con gli intonaci premiscelati sul mercato, ma con capacità termoisolanti superiori ($\lambda=0,12$ W/mK). La miscela è stata formulata con triplice obiettivo: utilizzare l'argilla come legante, massimizzare la resistenza all'acqua con l'aggiunta di calce e minimizzare la conducibilità dell'intonaco.

Per l'interno è stato formulato un intonaco in argilla, calce e fibre



AIM MINIMIZE THE RESOURCE EXPLOITATION					
DEMAND CLASS	REQUIREMENT CLASS	LIFE CYCLE PHASE	STRATEGY	DESIGN ACTIONS	FULFILLED
ENVIRONMENTAL PROTECTION	CONTROL OF ENERGY AND MATERIAL FLOW	PRE-PRODUCTION AND PRODUCTION, DISTRIBUTION, USE, AND DISMANTLING	Minimize material content	Priority is given to solutions optimizing material quantity	<input type="checkbox"/>
				The value of clay content per metric ton is less than 1185 kg	<input type="checkbox"/>
				The value of sand content per metric ton is less than 150 kg	<input type="checkbox"/>
			Minimize swarf and waste	The value of additive content per metric ton is less than 5 kg	<input type="checkbox"/>
				Water consumption is ≤ 140 lt./metric ton of brick produced	<input type="checkbox"/>
				The percentage of rain water used in production is $\geq 2\%$ of the total amount	<input type="checkbox"/>
			Optimize energy consumption for production	The percentage of sewage water used is $\leq 8\%$ of the total amount	<input type="checkbox"/>
				High-performance products that optimize mass and volume are used	<input type="checkbox"/>
				The design has minimized the thickness of the components	<input type="checkbox"/>
The Block_Plaster system does not include components that are not strictly functional	<input type="checkbox"/>				
The subsystems are designed to perform complementary functions	<input type="checkbox"/>				
Choosing production processes that minimize material consumption	<input type="checkbox"/>				
The quantity of waste is ≤ 5 kg/metric ton of brick produced	<input type="checkbox"/>				
Adopting systems for the simulation and optimization of transformation processes	<input type="checkbox"/>				
The reuse of semi-finished plate goods (e.g. plastics, metal alloys, etc.) or manufacturing swarf is favoured	<input type="checkbox"/>				
The subsystem supply chains have a low energy consumption compared to standard supply chains	<input type="checkbox"/>				
The natural materials used imply a reduced energy consumption compared to the industry standard	<input type="checkbox"/>				
The energy consumption for the production of finished product is ≤ 48 kg. of petrol/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
The thermal energy used in the production phase is ≤ 1.68 GJ/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
The expected recovery of thermal energy in the drying phase is $\geq 30\%$	<input type="checkbox"/>				
The expected recovery of thermal energy in the firing phase is $\geq 45\%$	<input type="checkbox"/>				
The thermal energy used in the drying phase is $\leq 230,000$ kcal/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
The thermal energy used in the firing phase is $\leq 320,000$ kcal/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
The electrical energy used in the production phase is ≤ 47 kWh/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
The self-produced renewable electrical energy from cogeneration plants is ≥ 6.5 kWh/metric ton of brick	<input type="checkbox"/>				
Efficient manufacturing tools and equipment are used	<input type="checkbox"/>				
Dispersed heat is used for pre-heating in other processes	<input type="checkbox"/>				
Smart shutoff and management systems for tools in the subsystem supply chain are planned	<input type="checkbox"/>				
The engines for the manufacturing systems are sized to maximise efficiency	<input type="checkbox"/>				
A maintenance schedule for the engines and supply chain systems exists	<input type="checkbox"/>				
Strategies for the optimization of purchased batch volumes functional to productivity exist	<input type="checkbox"/>				
An inventory management system exists	<input type="checkbox"/>				
Strategies applied to optimize material transportation systems by minimizing transported mass exist	<input type="checkbox"/>				

02 | Check-list relativa all'obiettivo di minimizzazione dell'uso delle risorse
Checklist related to the resource use minimization objective



03 | Elementi che costituiscono il sistema BLOCK_PLASTER
Elements included in the BLOCK_PLASTER system

insulation layers. Ecocompatibility and flexibility differentiate and qualify the system with respect to the products currently on the market, generally designed to respond to a reduced number of environmental requirements and perform only one function. The project method has followed a repeating sequence by which, at every stage, the design hypotheses have been verified through empirical or lab-based (energy, technological, mechanical, environmental) analyses, and the feedback

obtained has become the tool and guide for the implementation and improvement of the project itself. Fig. 1 shows the repeating methodology and implementation of the main project phases: from raw material selection to the technological development of the different components of the system as a whole.

Identification of the technological, thermo-physical, and environmental requirements of the envelope system
Throughout the project design phase,

it has been necessary to identify a priority of requirements that the system needed to satisfy. The requirements correspond to those present in the Life Cycle Design framework (Van Hemel and Brezet, 1997).

In particular, the requirements are related to five macro-goals of the project: minimization of material and energy resources; selection of resources and processes with low environmental impact; optimization of the useful life of products; lengthening of the material

life cycle (recyclability and reuse); facilitation of the disassembly phase. Each requirement has been paired with performance indices, developed on the basis of standards and market analyses (existing product performance). The result obtained was a design and assessment tool in the form of a checklist to guide and influence design choices, but also to assess the environmental sustainability of the product throughout its entire life cycle (Fig. 2).

di paglia, per sfruttare la capacità di adsorbimento e diluizione degli inquinanti indoor da parte dell'argilla e, in un'ottica di circular economy, per valorizzare l'uso della paglia come materia prima seconda.

Progettazione e prototipazione del sistema

Il sistema BLOCK_PLASTER prevede l'utilizzo dei quattro componenti a formare sistemi murari flessibili con performance energetiche e ambientali.

Il blocco portante può essere combinato con uno o due blocchi leggeri a formare un sistema d'involucro che, a seconda della tipologia e del numero di pannelli isolanti inseriti, può fornire un grado progressivamente implementabile di resistenza termica del sistema (Fig. 5).

La disposizione dei blocchi portanti e dei blocchi leggeri isolati e le relative geometrie sono state studiate per ottenere la riduzione dei ponti termici (giunti sfalsati nel blocco portante, nel blocco leggero, tra blocco portante e leggero).

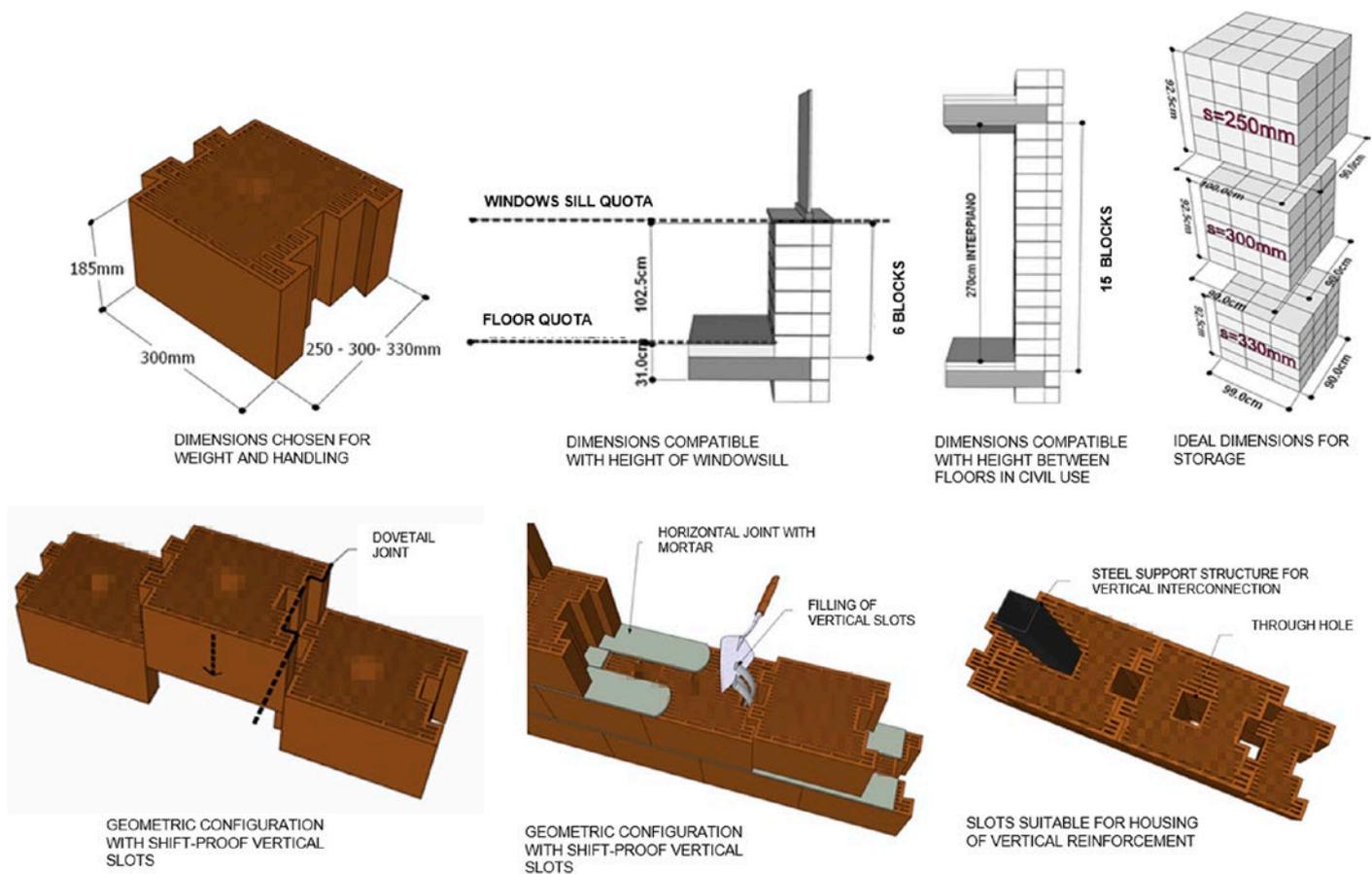
In particolare, per edifici di nuova costruzione, sono state studia-

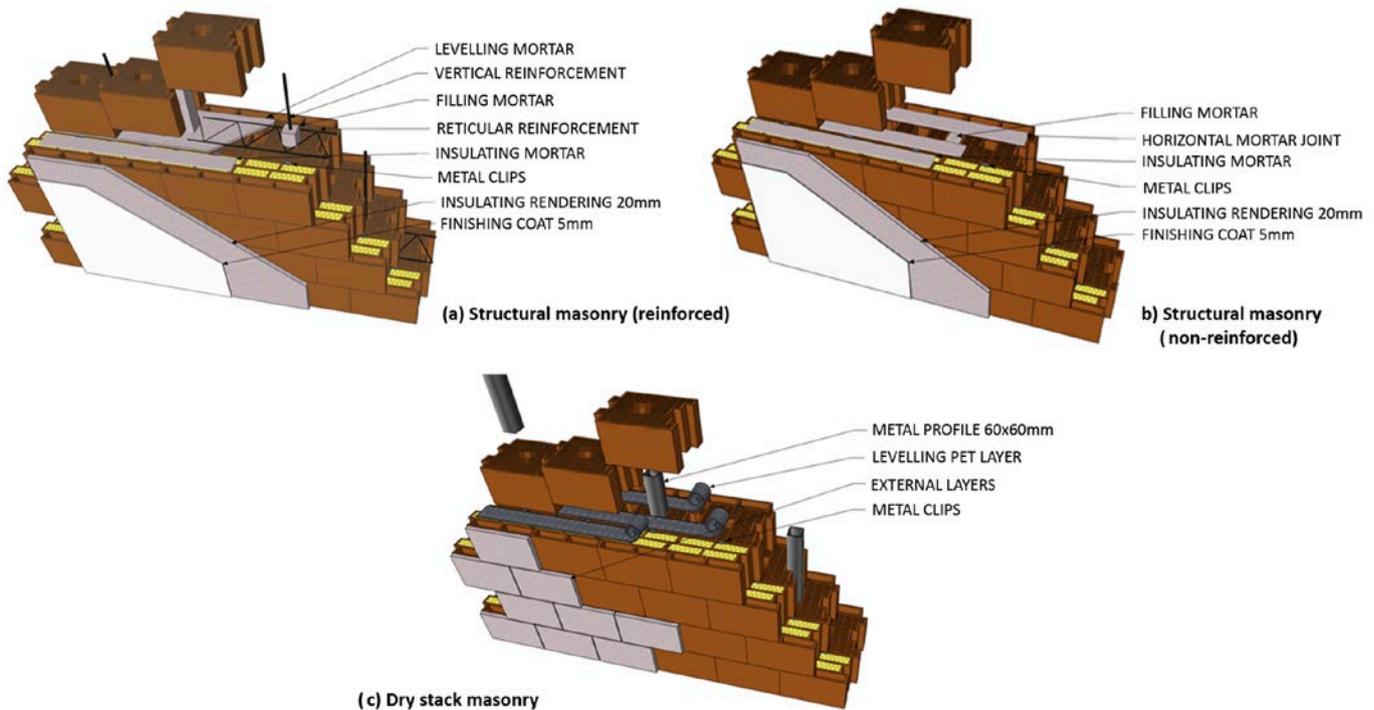
te 9 differenti configurazioni in relazione alle condizioni climatiche e alla performance termica richiesta (rif. D.Lgs. 192/2005 e D.G.R. 46/2009 della Regione Piemonte). I risultati mostrano che cinque configurazioni soddisfano i requisiti di trasmittanza per tutte le fasce climatiche compresa la F, mentre 7 soddisfano i requisiti per le fasce climatiche fino alla D (Fig. 5).

In caso di retrofit sono state analizzate altre configurazioni: a un muro esistente (con $R = 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$) è stato accoppiato il blocco leggero isolato, cavo o ventilato.

La flessibilità del sistema è data inoltre dalle modalità di assemblaggio. BOLOCK_PLASTER può essere impiegato come:

- sistema costruttivo con muratura portante armata. Il sistema prevede l'utilizzo del blocco portante nel quale l'armatura verticale è inserita nei fori di presa e l'armatura orizzontale è inserita tra i corsi dei blocchi portanti. I blocchi leggeri sono fissati a quelli portanti con apposite clips in acciaio. La malta è inserita nei corsi orizzontali tra le file dei blocchi in laterizio;
- sistema costruttivo con muratura non armata. Tale soluzione è da utilizzarsi come tamponamento in caso di strutture por-





05 | Nove configurazioni del sistema BLOCK_PLASTER (edifici di nuova costruzione) in relazione alle condizioni climatiche al contorno e alla performance termica richiesta
 Nine configurations of the BLOCK_PLASTER system (in newly erected buildings) in relation to the respective climate conditions and the thermal performance required

tanti a travi e pilastri in cemento armato; è simile alla configurazione precedente, ma senza l'utilizzo di armatura;

- sistema costruttivo con posa a secco. In sostituzione della malta, si ricorre a fasce di allettamento in materiale polimerico. L'incastro degli elementi viene garantito orizzontalmente dal particolare profilo a coda di rondine del blocco, mentre verticalmente vengono adottati dei profili metallici cavi. I blocchi leggeri sono fissati al blocco portante tramite clips in acciaio. L'assemblaggio a secco garantisce una più elevata sostenibilità ambientale (riduzione di rifiuti C&D, risparmio di acqua, totale disassemblabilità) (Fig. 6).

Component design and prototyping

The definition of requirements has led the research to successive study of the material and component development, as well as the design and prototyping of the building envelope as a whole. The requirements considered essential were: reduced weight and dimensions of the founding elements, possibility of both dry and wet laying, system versatility (different possible configurations and laying modes), high energy/environmental performance (in terms of thermal insulation, acoustic insulation, and air quality), ease of disassembly and recyclability upon end of life. The system includes different brick elements (one load bearing block and one lightweight block), an internal plaster layer, and an external plaster layer, as shown in Fig. 3.

The design of the load bearing block has taken into account geometric and

dimensional requirements aimed at facilitating handling (i.d. thickness and width not exceeding 30 cm, weight less than 15 kg), ensuring dimensional compatibility with respect to civil construction, optimizing the storage and transportation (Fig. 4).

The lightweight block has instead been designed to maximise compatibility with the load bearing block, in order to form the BLOCK_PLASTER wall system. Its dimension and geometric characteristics have been designed so that the block may be used both independently as a thin infill wall, and as a complement – in case of a retrofit – of an existing building.

The external thermal insulation plaster is a mixture of clay, lime, and perlite, with a mechanical and surface resistance in line with the pre-mixed plasters on the market, but with a lower thermal conductivity ($\lambda=0.12$ W/mK).

Analisi e risultati a livello di componenti e di sistema

- analisi termofisiche in laboratorio (e.g. misure termoflussimetriche di conduttività termica equivalente, misure di portata d'aria in camera climatica, misure termoflussimetriche e di velocità dell'aria svolte su dimostratore costituito da facciate ventilate in laterizio allestite presso il laboratorio LaSTIn del Dipartimento DAD) e tramite simulazioni con modelli numerici;
- analisi del ciclo di vita (LCA) secondo le norme ISO 14040:2006;

The mixture has been produced with three objectives: to use clay as a binder; to maximise water resistance with the addition of lime; and to minimise the plaster conductivity.

For indoor spaces, a plaster including clay, lime, and straw fibres has been developed, in order to take advantage of the absorption and indoor pollutant dilution properties of clay and – in the scope of a circular economy – to promote the use of straw as a secondary raw material.

Design and prototyping of the system

The BLOCK_PLASTER system involves the use of four components to form flexible wall systems with a good energy consumption and environmental performance.

The load bearing block may be combined with one or two lightweight blocks to form an envelope system that

In relazione alla natura multidisciplinare del progetto sono state effettuate:

- depending on the type and number of insulating panels inserted – may provide a progressively implementable degree of thermal resistance to the system (Fig. 5).

The lay-out of the load bearing blocks and the insulating lightweight blocks, as well as their related geometric structures, have been designed to obtain a reduction in thermal bridges (joints out-of-axis in the load bearing block, the lightweight block, and between the two).

In particular, for new buildings, 9 different configurations have been developed in relation to the weather conditions and the thermal performance required, in accordance with Decree-Law 192/2005 and Decree 46/2009 for the Piedmont region. Results show how 5 configurations satisfy the thermal transmittance requirements for all climate categories including category E, while 7 satisfy the requirements for

A+D		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,329	D YES	
			E YES	
F YES				
A+D+D		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,238	D YES	
			E YES	
F YES				
A+ins+D		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,159	D YES	
			E YES	
F YES				
A+Dvent		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B NO
		$[W/m^2K]$	C NO	
		0,493	D NO	
			E NO	
F NO				
A+ins+Dvent		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,19	D YES	
			E YES	
F YES				
A+D+Dvent		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,314	D YES	
			E YES	
F YES				
A+Dcav		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B NO
		$[W/m^2K]$	C NO	
		0,415	D NO	
			E NO	
F NO				
A+ins+Dcav		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,177	D YES	
			E YES	
F YES				
A+D+Dcav		U_{lim} (d.lgs 26/6/2015)	CLIMATIC ZONE	A/B YES
		$[W/m^2K]$	C YES	
		0,281	D YES	
			E YES	
F YES				

06 | Schema delle tre tipologie di posa dei prototipi del sistema BLOCK_PLASTER: a) muratura armata, b) muratura non armata, c) muratura a secco
Diagram of the three BLOCK_PLASTER system laying types: a) reinforced masonry; b) non-reinforced masonry; c) dry-set masonry

- analisi delle emissioni di Composti Organici Volatili (VOC) dell'intonaco in argilla e calce secondo le norme della serie ISO 16000 e analisi della sua capacità di adsorbimento degli inquinanti indoor;
- analisi tecnologiche e meccaniche sui provini di muratura BLOCK_PLASTER (prove a compressione e taglio) e sui prototipi di intonaco (prove granulometriche, di assorbimento all'acqua, di ritiro, prove a taglio, flessione e compressione).

In questa sede si riportano i risultati più significativi per il settore della Tecnologia dell'Architettura, relativamente a: 1) analisi del ciclo di vita dei diversi componenti; 2) prestazioni termiche dei componenti e del sistema, in particolare nella configurazione a facciata ventilata; 3) analisi VOC relative all'intonaco per interni. 1) L'ecocompatibilità dei blocchi in laterizio e dei due intonaci a base argilla è stata valutata attraverso l'analisi del ciclo di vita (software Sima Pro v.7.1). Per i blocchi in laterizio le analisi condotte hanno evidenziato che l'impatto ambientale della produzione di 1 kg di laterizio è in linea con i dati di letteratura, ma

che con la sostituzione degli additivi derivanti da materie prime non rinnovabili con lolla di riso si otterrebbe una riduzione del 15% della CO₂ equivalente emessa (Carbonaro, Thiebat, 2017). Il ricorso a processi industriali per la rettifica dei blocchi aumenta il consumo di risorse energetiche non rinnovabili di circa il 5% e produce una riduzione dell'embodied energy non significativa, mentre la porizzazione del laterizio con lolla di riso produce il miglior risultato in virtù del basso costo ambientale delle materie prime e dell'alto valore di resistenza termica del laterizio, che si riflette sulla fase d'uso. Per quanto riguarda i dati derivanti dalle analisi LCA dei termointonaci, il confronto con il benchmark (intonaco con EPS prodotto da Vimark S.r.l.), ha evidenziato come i formulati a base di argilla abbiano valori migliori in termini di consumo di risorse non rinnovabili riferite alla produzione di 1 kg di miscela (1,87 MJ/kg contro i 1,8-4,6 MJ/kg).

2) Le misure di conduttività termica, attraverso il metodo del termoflussimetro, dei diversi prototipi hanno evidenziato buone prestazioni di isolamento termico sia del blocco in laterizio sia del termointonaco.

climate categories up to category D (Fig. 5).

In case of retrofits, different configurations has been analysed: an existing wall ($R = 0.9 \text{ m}^2\text{K/W}$) has been paired with insulated, hollow, or ventilated lightweight blocks.

Moreover, the assembly methods provide flexibility to the system. BLOCK_PLASTER may be used as:

- a building system with a reinforced load bearing masonry. The system includes the use of load bearing blocks with the vertical reinforcement inserted in the lifting cavities, and the horizontal reinforcement inserted between the slots of the load bearing slots. The lightweight blocks are fixed to the load bearing blocks by means of specific steel clips. The mortar is inserted in the horizontal slots between the rows of brick blocks;

- a building system with a non-reinforced masonry. This solution shall be used as a buffer in case of load bearing structures with reinforced concrete beams and pillars: it is similar to the previous configuration, but without the use of reinforcement;

- a building system with dry laying. This system uses polymer bed strips to replace the mortar. The connections are guaranteed horizontally by the special dovetail profile of the block, while metallic hollow profiles are used for the vertical joints. The lightweight blocks are fixed to the load bearing blocks by means of steel clips. The dry assembly guarantees a higher environmental sustainability thanks to a decrease in construction site waste, water usage, as well as total disassembly in case of dismantling (Fig. 6).

Component and system analysis and results

In relation to the multidisciplinary nature of the project, the following were carried out:

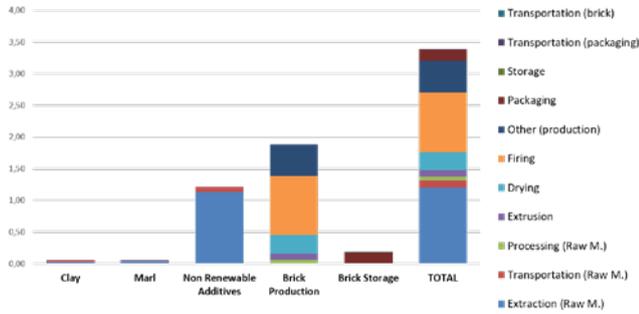
- thermophysical analyses in the laboratory and through simulations with numerical models;
- life cycle assessment (LCA) through modelling in accordance with ISO 14040:2006 standards;
- analysis of volatile organic compound (VOC) emissions of the clay and lime plaster in accordance with the ISO 16000 series standards, and analysis of the indoor pollutant absorption capacity;
- technological and mechanical testing of the BLOCK_PLASTER prototype blocks and of the plaster prototypes.

To this regard, the most significant results in terms of the Architecture Tech-

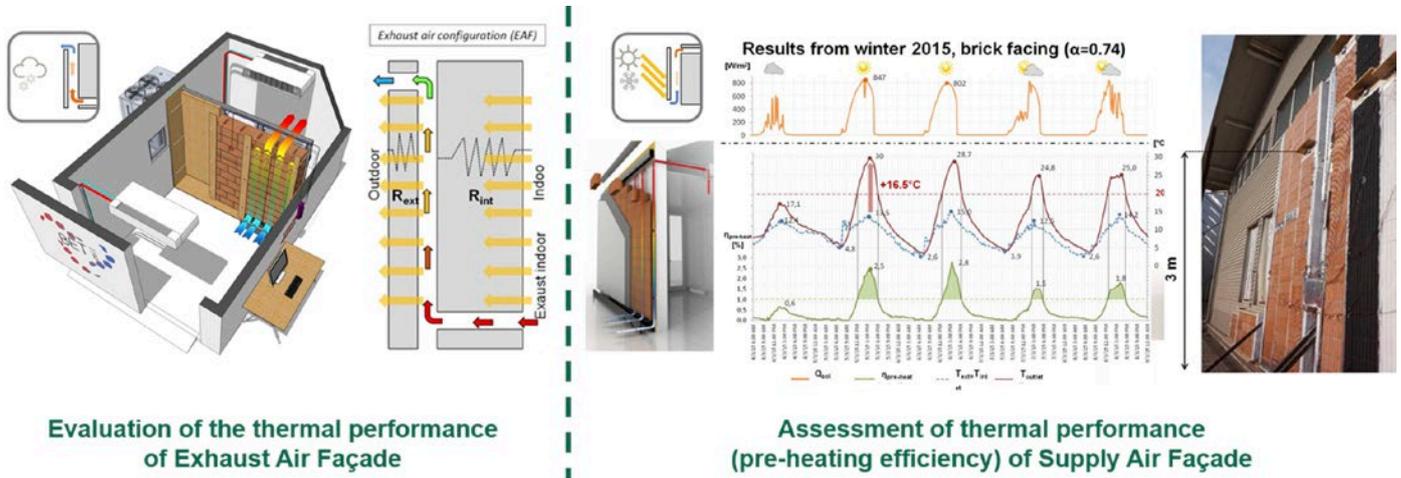
nology scientific disciplinary sector, are presented: 1) the life cycle analysis of different components; 2) thermal performance of the components and the system as a whole, and in particular of the ventilated façade configuration; 3) VOC analyses related to the plaster for indoor use.

1) The eco-compatibility of the brick blocks and the two clay-based plasters has been assessed by means of a life cycle analysis (software used: Sima Pro v.7.1). The analyses performed on the brick blocks have highlighted how the environmental impact of the production of 1 kg of brick is in line with the data provided in scientific literature. Nevertheless, replacing the additives made of non-renewable raw material with rice husk would grant a 15% reduction in CO₂ equivalent (Carbonaro, Thiebat, 2017). Resorting to industrial processes for the

Consumption of non-renewable resources of 1 kg of brick
($M_{eq}/metric\ ton$)



LCA for the production of 1 kg of brick (C. Carbonaro and F.Thiebat elaboration)



Oltre a tali analisi di laboratorio, sono stati condotti due esperimenti sull'utilizzo del blocco leggero come elemento di ventilazione da accoppiare ad una parete esistente (in caso di retrofit). Il primo esperimento, condotto in camera climatica, ha avuto l'obiettivo di determinare la capacità del blocco ventilato di extra isolare una muratura perimetrale durante la stagione di riscaldamento, sfruttando la cavità come canale di estrazione dell'aria

improvement of the blocks increases consumption of non-renewable energy sources by about 5%, with a negligible corresponding embodied energy reduction, whilst the increase in porosity of the brick with the rice husk offers a better result in virtue of the low environmental cost of the raw material, and of the high thermal resistance of the brick, which positively impacts its use in a wall system. In terms of the data resulting from LCA of the experimental thermal insulation plaster, the comparison with a benchmark thermal insulation plaster (plaster with EPS manufactured by Vimark S.r.l.) has highlighted how the clay-based mixtures have lower non-renewable resource values in the production of 1 kg of mixture (1.87 MJ/kg versus 1-8-4.6 MJ/kg).

2) Measurements of the thermal conductivity – using the Heat flow

method – of the different prototypes have highlighted a good performance in terms of thermal insulation, both of the brick block and of the thermal insulation plaster.

Along with such lab analyses, we have conducted two experiments concerning the use of the lightweight block as a ventilation element to be paired with an existing wall (in case of retrofit). The first experiment, carried out in a double climatic chamber, had the purpose of establishing the ability of the ventilated block to provide dynamic insulation features during the heating season, by using the cavity as an exhaust air extraction channel from the indoor environment (Fig. 8, left). The thermal flow measurements have allowed to establish a correlation between the number of exchanges per hour from the environment and the average thermal flow reduction of a

esauata dall'ambiente interno (Fig. 8, a sinistra). Attraverso misure termoflussimetriche è stato correlato il numero di ricambi orari in estrazione dall'ambiente con la riduzione media di flusso termico tra una parete monostrato in laterizio usata come riferimento ed una parete con ventilazione. La riduzione media di flusso termico rispetto alla parete di riferimento varia da un 12% nel caso di tiraggio fornito dal solo effetto camino su un'altezza di

single-layer brick wall used as a reference and a wall with an internal ventilation system. The average thermal flow reduction compared to the reference wall changed from 12% – given by the chimney effect alone across a 2.4 m height – to over 60%. It is important to highlight that considering a 1-1.5 air changes per hour, lead to a reduction in the heat losses between 27% and 38% (Fantucci, Serra, Perino, 2015).

The second experiment was conducted at the LaSTIn lab of the Turin Polytechnic. Its aim was to assess the reduction in energy consumption in the winter in case of pre-heating of the air by means of the ventilated lightweight block used as supply air façade (Fig. 8, right). To monitor the phenomenon, the researchers have built three testing walls, plus the benchmark wall, against the wall of the laboratory. The speed of

the internal air of the ventilated block, the surface temperatures of the block (both internal and external), the thermal flows, and the air capacity were all monitored. Measurements refer to 4 days in March, 2 sunny and 2 overcast. The results highlight how the entering air undergoes a pre-heating up to 16.5 °C in sunny weather, and 11° C in overcast weather, thus providing energy savings when used in combination with heating systems in Air Handling Units.

3) In order to guarantee the satisfaction of the health and well-being demands of the users in relation to air quality, transmission and absorption testing of indoor pollutants on the clay plasters were performed. In fact, the related scientific literature includes a number of experiments that identify clay as a material with the ability to dilute indoor pollutants (Darling et

2,4 m ad oltre il 60% con 3,5 vol/h di ricambio. Si sottolinea che per mantenere le condizioni di qualità dell'aria in un ambiente residenziale è necessario ricambiare mediamente 1-1,5 vol/h cui corrisponderebbe una riduzione di flusso termico disperso compresa tra il 27% e il 38% (Fantucci, Serra, Perino, 2015).

La seconda esperienza è stata condotta nel laboratorio LaSTIn del Politecnico di Torino, per verificare la riduzione dei consumi energetici invernali in caso di preriscaldamento dell'aria attraverso il blocco leggero ventilato (Fig. 8, a destra). Per il monitoraggio sono state costruite tre pareti sperimentali più quella di benchmark, in aderenza alla parete del laboratorio. Sono state monitorate le velocità dell'aria interna ai blocchi ventilati, le temperature superficiali del blocco, sia interne sia esterne, i flussi termici, le portate d'aria. Le misurazioni si riferiscono a quattro giorni di marzo, due soleggiati e due nuvolosi. I risultati evidenziano che l'aria in ingresso subisce un preriscaldamento fino a 16,5 °C con tempo soleggiato e 11 °C con tempo nuvoloso, determinando un risparmio energetico se utilizzata in associazione ad impianti di riscaldamento con Unità di Trattamento Aria.

3) Al fine di garantire esigenze di salute e benessere degli utenti in relazione alla qualità dell'aria, sono stati effettuati test di cessione e adsorbimento di inquinanti indoor sugli intonaci in argilla. La letteratura, infatti, riporta alcune esperienze sperimentali che individuano l'argilla quale materiale capace di diluire gli inquinanti in ambiente indoor (Darling et al. 2012). I test, condotti secondo le norme della serie ISO 16000, sono stati svolti in collaborazione con l'Istituto Giordano di Rimini (IT). L'esperienza sperimentale ha previsto l'inserimento di una vernice (artificialmente caricata di VOC e aldeidi) in una camera di prova, e della stessa vernice (con uguale peso e area) in una

al., 2012). The tests – conducted in accordance with ISO 16000 series standards – have been carried out in cooperation with the Istituto Giordano of Rimini (IT). The experiment involved the introduction of paint (artificially charged with VOCs and aldehydes) in a testing chamber, and the same paint (with equal weight and surface area) in a second chamber, identical to the first, in which a clay and lime plaster sample had also been inserted; the same plaster, in an equivalent amount, was also introduced in a third chamber to assess its emissions. Interesting results, in line with scientific literature related to the absorption potential of VOCs by clay materials, have been obtained: formaldehyde emitted by the paint had dropped by 79%, acetaldehyde had dropped by 19%, and total VOCs (C6-C16, such as toluene) had dropped by 75%.

Conclusions

Despite the wall system is yet to be implemented and optimized, certain products (such as plasters) have already been commercialized by the project's partner companies in the green building business: the only currently growing business in the building sector. The need to implement the system also depends on certain recent changes in legislation (i.e. Ministerial Decree issued on June 26th 2015 concerning minimum requirements for buildings), which implies a new assessment phase of the system and its components. The activities described, carried out by means of a multidisciplinary synergy, have seen the involvement of a number of actors, and have resulted in the development of new solutions. These solutions have as main elements of innovation the characteristics of environmental sustainability in the life cycle

seconda camera, identica alla prima, nella quale è stato inserito un campione di intonaco in argilla e calce; lo stesso intonaco in uguale proporzione, è stato inserito in una terza camera per valutare le sue emissioni. In linea con la letteratura scientifica relativa alle potenzialità di assorbimento dei VOC da parte delle argille, sono stati ottenuti risultati interessanti: la formaldeide emessa dalla vernice è ridotta del 79%, l'acetilaldeide del 19% e il totale dei VOC (C6-C16 come toluene) del 75%.

Conclusions

Sebbene il sistema parete debba ancora essere implementato e ottimizzato, alcuni prodotti (come gli intonaci) sono già stati messi in produzione dalle aziende partner del progetto per il mercato del green building, l'unico, nel settore dell'edilizia, attualmente in crescita. La necessità di implementazione del sistema dipende anche dalla recente variazione di alcune norme (es. D.M. 26 giugno 2015 sui requisiti minimi energetici degli edifici), che implica una nuova fase di verifica del sistema e dei suoi componenti.

Le attività descritte, svolte attraverso sinergie interdisciplinari, hanno previsto il coinvolgimento di diversi attori e hanno avuto come esito lo sviluppo di nuove soluzioni. Tali soluzioni hanno come principali elementi di innovazione le caratteristiche di sostenibilità ambientale nel ciclo di vita e la flessibilità di configurazione e di posa.

La fattiva collaborazione tra enti di ricerca e imprese ha innescato un trasferimento di conoscenze in termini di metodi e approcci all'innovazione. Grazie ad un processo progettuale basato su un approccio iterativo e multicriteria, sulla condivisione di risorse materiali (strumenti e attrezzature) e immateriali (know

ledge and the flexibility of configuration and installation.

The concrete cooperation between research centres and companies has sparkplugged a knowledge transfer of methods and approaches to innovation. Thanks to a design process involving a repeating and multi-criteria approach based upon sharing of tangible resources (tools and equipment) and intangible resources (know-how), significant results in terms of product evolution were obtained, even in the Italian context linked to SMEs with limited in-house research and development resources.

Given such considerations, the need emerges for national and local policies that may stimulate the industrial development even of small but ambitious projects, which may support the industry and its shared research with the related centres and universities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the project partners, and in particular: DAD (Department of Architecture and Design) at the Turin Polytechnic (F. Thiebat); DENERG (Department of Energy) at the Turin Polytechnic (V. Serra); VIMARK S.r.l. (M. Dutto); Vincenzo Pilone S.p.A. (N. Bessone) and Nova Res S.r.l. (L. Palin).

how), è stato possibile ottenere risultati significativi sul piano dell'evoluzione dei prodotti, anche in un contesto, come quello italiano, legato a piccole e medie imprese, con limitate capacità di ricerca e sviluppo interne all'azienda.

Da queste considerazioni, emerge la necessità di una politica nazionale e locale che stimoli lo sviluppo industriale anche per piccoli ma ambiziosi progetti, in grado di sostenere l'industria e la ricerca condivisa con centri di ricerca e Università.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i partner del progetto: DAD (Dipartimento di Architettura e Design) - Politecnico di Torino (F. Thiebat), DENERG (Dipartimento di Energia) - Politecnico di Torino (V. Serra), VIMARK S.r.l. (M. Dutto), Vincenzo Pilone S.p.A. (N. Bessone), Nova Res S.r.l. (L. Palin).

REFERENCES

Bribián, I.Z., Capilla, A.V. and Usón A.A. (2011), "Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential", *Building and Environment*, No. 46, pp. 1133-1140.

Carbonaro, C. and Thiebat, F. (2017), "Analisi del ciclo di vita del laterizio: un caso studio in Piemonte", *Proceedings of XI conference of Italian LCA Network - "Resource Efficiency e Sustainable Development Goals: il ruolo del Life Cycle Thinking"*, Siena, 22-23 June, pp. 62-69.

Darling, E.K., Cros, C.J., Wargocki, P., Kolarik, J., Morrison, G. C. and Corsi, R.L. (2012), "Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements", *Building and Environment*, No. 57, pp. 370-376.

Fantucci, S., Serra, V. and Perino, M. (2015), "Dynamic insulation systems: experimental analysis on a parietodynamic wall", *Energy Procedia*, No. 78, pp. 549-554.

Gargari, C., Hamans, C. and Torricelli, M.C. (2013), "L'impegno dell'industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto", *Techné Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 5, pp. 101-109.

Haapio, A. and Viitaniemi, P. (2008), "Environmental effect of structural solutions and building materials to a building", *Environmental Impact Assessment Review*, No. 28, pp. 587-600.

Murmu, A.L. and Patel, A. (2018), "Towards sustainable bricks production: An overview", *Construction and Building Materials*, Vol. 165, pp. 112-125.

Rouwette, R. (2010), "LCA of Brick Products: Life Cycle Assessment Report - Final Report after Critical Review", Think Brick Australia, available at: <http://www.thinkbrick.com.au> (accessed: 6 July 2018).

Van Hemel, C.G. and Brezet, J.C. (1997), *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*, UNEP IE, Paris, FR.

Progetto di un sistema di rivestimento metallico per l'involucro edilizio

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Massimiliano Condotta, Valeria Tatano,

Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

massimiliano.condotta@iuav.it

valeria.tatano@iuav.it

Abstract. Il contributo presenta il percorso di ricerca e sperimentazione che ha portato allo sviluppo di un elemento di rivestimento metallico, parte di un sistema costruttivo a secco, utilizzabile per coperture e facciate, ideato per offrire al mercato un prodotto da impiegare nella nuova edificazione e nella riqualificazione. Il progetto prende avvio dalla richiesta che un'azienda italiana ha rivolto all'Università Iuav di Venezia con l'obiettivo di innovare la propria offerta commerciale e i processi di produzione per rispondere alle nuove esigenze tecniche ed espressive del mercato. Nel testo viene descritta la metodologia di lavoro utilizzata, che attraverso un percorso progettuale supportato da tecniche digitali e 3D prototyping ha condotto alla realizzazione del sistema.

Parole chiave: Involucro; Rivestimento metallico; Riqualificazione; 3D prototyping; Custom-built.

Architettura in metallo

Utilizzati nei secoli per ricoprire i tetti di campanili, palazzi pubblici e nobiliari, i materiali metallici hanno vissuto negli ultimi decenni un'evoluzione che ne ha ampliato le possibilità di impiego spostando la loro collocazione in facciata.

Dell'utilizzo originario, dalle tradizionali lavorazioni artigianali dei lattonieri ai primi prodotti industrializzati, nulla è andato perso in un passaggio che ha esteso l'ambito di applicazione confermando la tendenza del mercato edilizio a procedere attraverso innovazioni adattive più che con reali invenzioni. I metalli impiegati come rivestimenti verticali sono infatti identici a quelli utilizzati nelle coperture e nella fase iniziale del loro nuovo impiego simili sono state anche le tipologie commercializzate, la cui offerta si è andata ampliando in una fase successiva. Alle piccole scandole in rame o alle lastre in zinco e in piombo che aggraffate alle pareti conferiscono ritmo alle facciate, si sono aggiunti negli anni nuovi prodotti che hanno accompagnato l'evoluzione dei linguaggi del progetto di architettura, assecondando in particolare le conformazioni curvilinee degli involucri (Tatano, 2007).

Design of a metal cladding system for building envelopes

Abstract. This paper presents the research and experimentation that led to the development of a metal cladding element, part of a dry construction system for roofing and facades, designed to offer the market a product for use in new constructions and renovation. The project was initiated by a request from an Italian business for the Università Iuav di Venezia to assist in innovating the company's products and production processes to meet the new technical and aesthetic demands of the market. The report describes the working methodology used to create the system through a design process using digital methods and 3D prototyping.

Keywords: Envelope; Metal cladding; Renovation; 3D prototyping; Custom-built.

Sono state le sperimentazioni di Buckminster Fuller e Jean Prouvé negli anni Trenta del Novecento ad aprire l'orizzonte a nuove visioni che sono risultate fondamentali per lo sviluppo della produzione industriale dei componenti metallici, costituendosi quali archetipi delle realizzazioni successive. La Dymaxion House e la Maison du Peuple a Clichy costituiscono infatti le premesse dei progetti di Frank Gehry o Daniel Libeskind, per citare gli autori di alcune tra le opere contemporanee rivestite in metallo più iconiche: il Guggenheim Museum a Bilbao e il Museo Ebraico a Berlino.

L'attenzione dei progettisti verso le potenzialità espressive dei metalli ha sollecitato le aziende del settore verso lo studio di soluzioni in grado di offrire maggiori possibilità di azione, adattabili anche all'architettura diffusa attraverso la semplificazione del processo di realizzazione del prodotto, senza perdere le peculiarità tecniche e formali dei metalli.

L'offerta commerciale si è orientata in più direzioni operando in particolare nell'ambito delle tecniche di lavorazione, dei trattamenti superficiali, dei sistemi di fissaggio e incastro tra gli elementi, questi ultimi responsabili, in modo maggiore rispetto a quanto avviene con altri materiali di rivestimento, dei risultati che si possono ottenere sul piano formale, dal momento che aggraffature, rivetti, listelli e giunzioni sono in grado di 'disegnare' le facciate secondo le scelte dei progettisti.

Scenari e obiettivi

All'interno di questo scenario di riferimento si colloca un programma di ricerca e sviluppo che un'importante azienda italiana produttrice di lavorati e semilavorati in metallo¹ ha intrapreso nel 2016 per innovare i propri prodotti e processi di produzione

The Use of Metal in Architecture

For centuries employed to cover the roofs of bell towers, public buildings and aristocratic mansions, over the last few decades metal materials have evolved and extended their possible uses, including on facades.

The original uses, from the traditional craftsmanship of tinsmiths and copersmiths to the first industrial products, have not been lost in the move that extended the scope of applications, confirming the building trade's tendency to go ahead through adaptive innovation rather than actual invention. Metals used as vertical cladding are identical to those employed as roof covering. When they began to be used for new purposes the types marketed were also similar, demand extending later. In addition to the small copper shingles and zinc or lead sheets that clipped to walls provide facades with

rhythm, over the years new products have appeared to advance the language of architectural projects, particularly favouring curvilinear envelope conformations (Tatano, 2007).

Experimentation by Buckminster Fuller and Jean Prouvé in the 1930s opened the horizon to new visions fundamental for developing the industrial production of metal elements, becoming archetypes for later artefacts. Dymaxion House and Maison du Peuple at Clichy are the premises for projects by Frank Gehry or Daniel Libeskind, to cite the authors of some of the most iconic contemporary metal clad buildings: the Bilbao Guggenheim Museum and the Berlin Jewish Museum.

Designers' attention to the expressive potential of metal encouraged companies in the trade to study solutions that could offer greater opportunities, also adaptable to 'everyday' architecture, by

al fine di migliorare l'offerta commerciale e rispondere alle nuove esigenze tecniche ed espressive del mercato.

Con queste intenzioni l'azienda, di grandi dimensioni, localizzata nel nord-est e con una rete di vendita nazionale ed europea², si è rivolta all'Università Iuav di Venezia, e in particolare al gruppo di ricerca di ArTec³ cui appartengono gli autori, affidando lo sviluppo di un prodotto innovativo attraverso un contratto di ricerca applicata conto terzi⁴.

Sebbene il settore delle costruzioni abbia attraversato anni difficili, particolarmente in Italia, il rapporto annuale del Cresme presentato nel 2017 individua comunque una ripresa⁵, legata in particolare alla riqualificazione del patrimonio esistente, ambito di interesse dell'azienda soprattutto per quanto riguarda il mercato interno.

Le richieste per il nuovo prodotto sono state molto precise: integrare l'offerta commerciale con un sistema metallico costituito da elementi modulari da ottenere mediante tecniche di produzione automatizzate, utilizzabile per il rivestimento di coperture e di facciate, ideato per proporsi come un prodotto innovativo da impiegare sia nella nuova edificazione che nella riqualificazione. L'obiettivo consisteva nell'ottenere un prodotto idoneo a soddisfare e aggredire una domanda proveniente dal nord Europa ma che si sta allargando verso l'Europa dell'est, guardando a future espansioni verso il mercato asiatico: un prodotto 'facile', ma dotato nel contempo di una forte caratterizzazione espressiva.

Questi motivi hanno evidenziato da subito una serie di caratteristiche che il sistema doveva possedere.

La prima era legata alla materia prima: il prodotto da sviluppare doveva essere realizzabile nei vari metalli commercializzati dall'azienda (rame, acciaio, zinco, ecc.) comunque pensato

simplifying product manufacturing, without losing the metal's technical and formal features.

Products on the market are orientated in a number of directions, particularly regarding processing methods, surface treatments, and systems for fixing and wedging the elements, responsible to a greater degree than other cladding materials for formal results, as clamps, rivets, battens and joints can be used by architects to 'design' a façade.

Scenarios and Objectives

This scenario includes a research and development plan undertaken in 2016 by an important Italian company producing finished and semi-finished metal products¹. Its aim was to innovate its products and production processes for the purpose of improving its business proposal and meeting the market's new technical and aesthetic needs.

This was the intention of a large company located in north-east Italy with a domestic and European sales network² when it approached the Università Iuav di Venezia, in particular the ArTec³ research group to which your authors belong, entrusting it with the development of an innovative product by means of an applied research agreement⁴.

Although the building trade has been through years of difficulty, especially in Italy, the 2017 Cresme annual report acknowledged an upturn⁵, linked mainly to the renovation and refurbishment of existing buildings, an area in which the company is interested, above all in Italy.

The request for a new product was precise: to integrate business proposals with a metal system comprising modular elements to be made by automated production methods, for use as clad-

soprattutto per l'alluminio verniciato che attualmente offre un buon rapporto prezzo-prestazioni.

L'economicità era un altro requisito, dipendente dalla velocità e semplicità nell'installazione, che non doveva quest'ultima necessitare di manodopera specializzata, molto costosa nei paesi del nord Europa e quasi del tutto assente nei paesi dell'est e asiatici. Un'ulteriore peculiarità era legata agli aspetti architettonici e al *brand identity* aziendale: era fondamentale la possibilità di personalizzazione della composizione finale del rivestimento, collegata all'originalità del sistema che doveva offrire una riconoscibilità dello stesso.

Infine, il sistema doveva risultare flessibile, cioè utilizzabile in più situazioni (nuove costruzioni, ristrutturazioni, rigenerazione-restyling di edifici industriali e commerciali) e in più collocazioni (sia in facciata che in copertura), rispondendo in ogni caso e soprattutto al requisito di tenuta all'acqua.

Uno sguardo sui competitor

Il lavoro ha preso avvio dall'analisi dello stato dell'arte che il gruppo di ricerca ha svolto in parte in autonomia e in parte seguendo le considerazioni dell'azienda, in questo caso orientate soprattutto all'offerta dei competitor. Lo sfondo di riferimento ha consentito di costruire un quadro del mercato nei suoi punti di forza e negli elementi critici che costituiscono la sfida cui dare risposta.

In particolare, si è evidenziato come le aziende, soprattutto nord-europee, si stiano orientando verso un prodotto personalizzabile e con caratteristiche di estrema versatilità e flessibilità, proprie di un lavoro artigianale pur utilizzando elementi modulari derivati da una produzione di serie. In questo modo si ottiene un sistema

ding for roofs and facades, designed as an innovative product suitable for new buildings and renovation alike. The aim was to achieve a product that could aggressively meet demand from northern Europe, but which is extending toward Eastern Europe and looking to future expansion onto the Asian market: an 'easy' product with strong expressive characteristics.

This immediately highlighted a series of features essential to the system.

The first was linked to raw materials: it had to be possible to make the product in question in the different metals marketed by the company (copper, steel, zinc, etc.), although it was primarily designed for pre-painted aluminium, which currently has a good price-performance ratio.

Another requisite was an economical product, depending on the speed and simplicity with which it could be fitted.

Installation had to be possible without the need for skilled labour, expensive in northern Europe and inexistent in eastern and Asian countries.

A further feature was linked to architectural aspects and corporate brand identity: it was essential to be able to customise the final composition of the cladding, linked to the originality of a system and making it identifiable.

Finally, the system had to be flexible, that is to say adaptable to various situations (new constructions, renovations, regeneration-restyling of industrial and commercial buildings) and different applications (facades and roofs), and above all fulfil the requirement for a weathertight and watertight product.

An Eye on Competitors

Initially an analysis of the state of the art was carried out, partly independently by the group and partly to the

composto da vari elementi tra loro uguali ma con proporzioni, finiture e trattamenti superficiali diversi e differentemente assemblabili tra loro. Concettualmente si tratta di un'idea alquanto semplice che tuttavia, dal punto di vista tecnico, pone dei problemi rilevanti.

I sistemi tradizionali di rivestimento di coperture (coppi, tegole, ecc.) sono infatti basati su elementi di dimensioni standardizzate tutti uguali tra loro e proprio per questa omogeneità determinano sul piano formale uno schema regolare e univoco in cui la posizione delle connessioni reciproche (i sormonti) è stabilita a priori, garantendo pertanto un aggancio tra gli elementi sicuro e soprattutto impermeabile.

L'introduzione di moduli con misure diversificate e con posizioni di connessioni variabili, implica dunque la necessità di sviluppare sistemi di aggancio capaci di garantire flessibilità e allo stesso tempo tenuta all'acqua.

Questa doppia funzione è risultata essere il punto debole dei sistemi analizzati, che se da un lato offrono elementi con una certa libertà di aggancio, dall'altro, proprio a causa di questa possibilità, presentano dei rischi di infiltrazione, risultando idonei per una collocazione in facciata, ma necessitando tuttavia dell'integrazione di sistemi di impermeabilizzazione se posti in copertura.

In altri casi si è notato come la strada intrapresa dal mercato sia stata quella del prodotto "firmato". Ne è un esempio un'azienda francese che nel suo catalogo ha inserito una *Gamme Architectural* il cui prodotto di punta è un sistema di rivestimento metallico per facciate disegnato da Philippe Starck⁶. Si tratta di una soluzione di grande impatto che garantisce riconoscibilità all'edificio, ma che rischia di divenire autoreferenziale, riducendo la

company's specifications, in this case orientated particularly toward competitors. This made it possible to build a picture of the market, its strong points and critical elements.

In particular, it was clear that companies, especially northern European ones, were orientated toward a customisable product, extremely versatile and flexible, typical of artisan work, albeit using mass produced modular elements. This provides a system comprising several elements that are the same but have different proportions, treatments and surface finishes and are assembled in different ways. The concept is extremely simple but poses significant problems from the technical point of view.

Traditional roofing systems (tiles, bent tiles, etc.) are based on standard sized elements that are all the same and this very homogeneous nature creates a

univocal, regular pattern in which the position of the overlaps is established, ensuring secure, watertight engagement between the elements.

Therefore, the use of different sized modules and variable connections implies the need to develop engagement systems that will guarantee flexibility and weather-tightness.

This double function is the weak point in the systems we analysed. If on the one hand they provide elements with a certain amount of freedom for engagement, on the other hand, just because of this possibility, there are risks of infiltration. They are suitable for facades, but still need to be integrated by waterproofing systems if used on roofs.

In other cases, the market has been seen to go in the direction of 'signature' products. An example is a French company that has included a *Gamme Architectural* in its catalogue. The star

potenzialità espressiva del singolo progettista a favore di un'immagine identificabile con il designer dell'elemento di rivestimento piuttosto che con l'artefice del progetto architettonico.

Dall'idea al progetto

La caratterizzazione espressiva di un sistema personalizzabile, *custom-built*, dotato di connotati figurativi e percettivi originali, andava quindi ricercata nel disegno del prodotto e nei sistemi di connessione, con la sfida di dover trovare una soluzione che garantisse le prestazioni di tenuta all'acqua necessarie senza la necessità di predisporre particolari sottostrutture o sistemi impermeabilizzanti in base alle condizioni di impiego.

Partendo da questo presupposto, l'approccio metodologico scelto ha affrontato contemporaneamente entrambe le tematiche: connotati figurativi e *performace* funzionali.

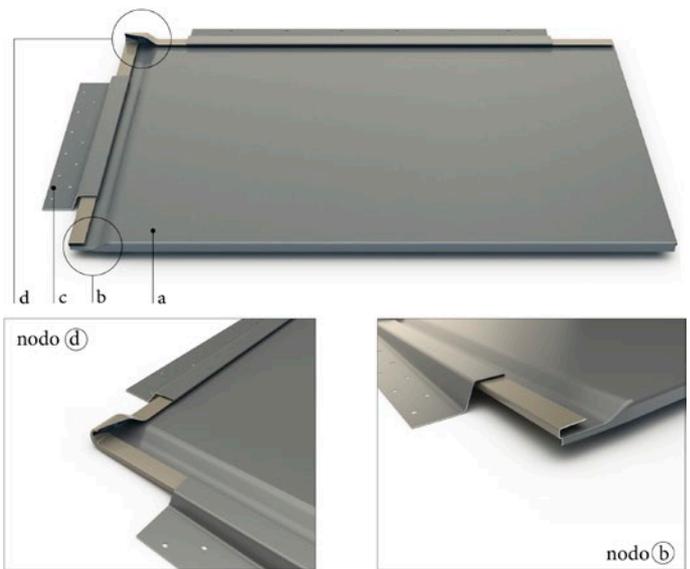
Come spesso avviene in un processo creativo ci si è affidati a un'idea principale, emersa negli incontri di *brainstorming* con l'azienda: la scelta di operare attraverso un segno dominante in grado di determinare un disegno sia orizzontale che verticale, enfatizzato dalla presenza delle ombre create dal sistema stesso. La presenza dell'ombra è stata ottenuta come risultato di una "piega" che ha assunto il ruolo di generatore dei disegni possibili, seguendo la «tendenza ad usare un principio organizzatore o un'idea dominante di partenza come un dettaglio che viene sviluppato in uno stile, oppure un concetto astratto o un'immagine» (Arielli, 2003). È iniziato così un processo creativo che dall'osservazione e dall'astrazione dell'esistente – «la creatività è ristrutturazione» (Legrenzi, 2005) – ha portato dapprima a riconoscere l'elemento generatore, la piega appunto, per individuare poi una metodologia di sviluppo che legasse tecnica ed espres-

sive connotations and functional performance. As often happens in the creative process, we adopted the main idea put forward in brainstorming sessions with the company: to operate through a dominating sign that could determine both horizontal and vertical design, emphasised by shadows created by the system. Shadows were created by a 'fold' that became a generator of possible patterns, following the «tendency to start from an organising principle or dominating idea as a detail developed into a style, abstract concept or image» (Arielli, 2003). This began a creative process that from observation and abstraction of the existing – «creativity is restructuring» (Legrenzi, 2005) – led to acknowledging the generating element, that is to say the fold, in order to identify a methodology that linked

From an Idea to a Project

The expressive features of a custom-built system with original figurative and perceptive connotations were therefore to be sought in the product's design and connection systems, rising to the challenge of finding a solution that ensured watertight performance without the need to place special substructures or waterproofing systems based on conditions of use. Starting from this point, our methodological approach dealt simultaneously with

01 | Rappresentazione digitale del modulo sviluppato. Legenda: a) piega verso l'interno del pannello; b) abbassamento per accogliere l'elemento adiacente; c) sistema di fissaggio; d) nodo d'angolo per innesto dell'elemento adiacente
 Digital representation of the module. Legend: a) fold toward the inside of the panel; b) lowering to receive the adjacent element; c) fixing system; d) corner node for engaging the adjacent element



sione formale, usata come spunto di avvio del processo ideativo. Come se si trattasse di un moderno origami, il disegno individuato è stato trasposto sul foglio di metallo per raggiungere attraverso diverse piegature una pluralità di configurazioni e nel contempo le prestazioni tecniche necessarie.

Il sistema sviluppato è pertanto composto da un modulo base generato da una serie di pieghe realizzate su un singolo foglio di metallo (Fig. 1), in cui il segno dominante che determina il disegno dell'intero sistema è generato dall'ombra che il lembo inferiore proietta sull'elemento a cui si sovrappone. Lo stesso lembo, costituito da una serie di pieghe, svolge anche la funzione di aggancio dei moduli superiori su quelli inferiori evidenziando nel loro sormonto la trama principale della composizione.

La connessione nel senso opposto è stata al contrario studiata in modo da generare ombre minime e garantire complanarità tra gli elementi adiacenti. Tale modalità di collegamento è resa possibile da una serie di pieghe continue che determinano dapprima un abbassamento della superficie (Fig. 1, nodo b) generando un

technical aspects and formal expression, used to trigger the design process. Like a modern origami, the design proposed was transferred to a sheet of metal folded in different ways to achieve several configurations that provided the necessary technical performance.

The system comprises a basic module generated by a series of folds in a single sheet of metal (Fig. 1), where the dominating sign that determines the design of the entire system is generated by the shadow projected by the lower element onto the overlapping one. The same element, comprising a series of folds, also acts as the connection of the upper modules to the lower ones, showing the main pattern of the composition in its overlap.

Connection in the opposite direction was instead studied to generate minimum shadow and guarantee co-

planarity between adjacent elements. This connection method is made possible by a series of continuous folds that initially lower the surface (Fig. 1, node b), generating a housing for the adjacent module, and then by means of another fold in the sheet metal create a watertight connection element (Fig. 1, node d).

A special technical expedient is adopted in the top corner of the module, where the curves described above are turned again along the top edge to create a pocket so shaped as to create an effective water barrier in the corner, which is the critical point of most systems on the market today. The joint created allows a certain freedom in positioning the upper element, which can slide along the curve recess (Fig. 2, step 6) during installation (Fig. 2) to be positioned with the required offset from the other modules.

alloggiamento per il modulo adiacente e successivamente, tramite un ulteriore risvolto della lamiera, conformano un elemento di connessione a tenuta d'acqua (Fig. 1, nodo d).

Un particolare accorgimento tecnico è adottato nell'angolo superiore del modulo dove le curve appena descritte, attraverso un'ulteriore rotazione parametrica lungo le forme del lembo superiore, vanno a conformare una tasca la cui particolare conformazione crea un'efficace barriera all'acqua nell'angolo, punto critico nella maggior parte dei sistemi oggi in commercio, mentre la giunzione che si viene a creare permette una certa libertà nel posizionare l'elemento superiore che può quindi scorrere lungo la curvatura di incastro (Fig. 2, step 6) durante le operazioni di montaggio (Fig. 2) per essere posizionato con lo sfasamento desiderato rispetto agli altri moduli.

Le caratteristiche appena descritte costituiscono anche l'origine delle peculiarità di flessibilità del prodotto, quali: la possibilità di essere installato sia in copertura che in facciata (Fig. 3); di essere disposto sia orizzontalmente (Fig. 3) che verticalmente (Fig. 4,

The characteristics described above also make the product flexible, providing the possibility for fitting to roofs and facades (Fig. 3); placing horizontally (Fig. 3) or vertically (Figs. 4, 5) due to the continuous curvature that also allows the water to flow perpendicularly to the main direction; producing in different dimensions deriving from geometrical proportions of the basic module, to create numerous patterns (Fig. 6).

With regard to designing an 'easy' product, laying is simple due to two pre-drilled upper and side edges through which the system can be screwed directly onto the support. Finally, the varied module dimensions are suitable for different needs and ensure rapid covering of any surface, be it a small house roof or the façade of a commercial building or office block. The market will tell us in the future

whether our work also achieved its target in the field of satisfaction and sales.

Operating Method

Designing such a complex system, in which individual folds in a 0,7 mm thick sheet of metal affect the result of the entire cladding, was made possible using innovative technologies at all stages: 3D parametric modelling software at the product conception stage, 3D prototyping for checking and refining working drawings, computer-aided production methods for the manufacturing stage.

This was an innovative way to use these methods, as up to recently regular use of digital technologies in architecture was limited to increasing efficiency, productivity and the formal output of drawings. Very often modelling by computer took place at the end of the project and added only second-

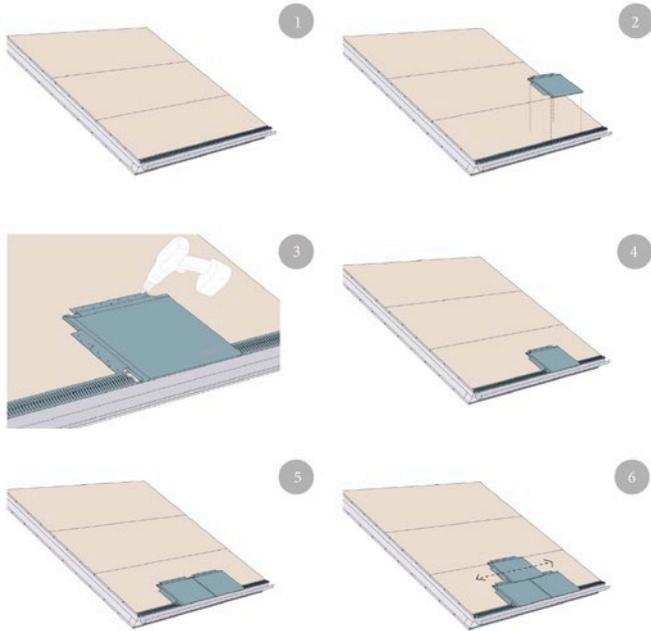


Diagram of system assembly operations

Render simulating fitting the module on a roof and on a facade, with modules arranged horizontally

Render of system fitted to a facade, with modules arranged vertically

5) grazie all'andamento continuo delle curvature che permettono all'acqua di scorrere anche nella direzione ortogonale a quella principale; di essere prodotto in diverse dimensioni derivate da una proporzione geometrica con il modulo base offrendo innumerevoli pattern compositivi (Fig. 6).

In merito alla necessità di progettare un prodotto 'facile', la semplicità di posa è garantita dai due lembi preforati superiori e laterali attraverso i quali, tramite viti, è possibile fissare il sistema direttamente al supporto; infine, le dimensioni dei moduli, varie e adeguate alle diverse esigenze, assicurano velocità nel rivestire e ricoprire qualsiasi superficie, sia essa il piccolo tetto di un'abitazione residenziale o la facciata di un edificio commerciale o direzionale.

Il mercato dirà nei prossimi anni se il lavoro ha raggiunto l'obiettivo anche sul piano commerciale del gradimento e delle vendite.

La metodologia di lavoro

La progettazione di un sistema così complesso, nel quale il disegno delle singole pieghe di una lamiera metallica spessa 0,7 mm si ripercuote sull'esito finale dell'intero rivestimento, è stata possibile grazie al supporto di tecnologie innovative utilizzate in tutti gli stadi del processo progettuale: software di modellazione tridimensionale e parametrica nella fase di concezione del prodotto, *3D prototyping* nella fase di verifica e affinazione dei disegni costruttivi, tecniche di produzione *computer-aided* per il momento della produzione.





Si è trattato di un modo innovativo di utilizzare queste tecniche dato che fino a poco tempo fa l'uso abituale delle tecnologie digitali in architettura si limitava a incrementare l'efficienza, la produttività e la resa formale dei disegni di progetto. Il più delle volte, la modellazione tramite computer avveniva a progetto ultimato e vi apportava solo modifiche di carattere secondario. Si enfatizzava soprattutto la possibilità di utilizzare i sistemi CAAD per la descrizione dettagliata e la modellazione di singole idee progettuali, anziché per l'opportunità di esplorare le alternative (Pongratz e Perbellini, 2000).

La concezione/progettazione del modulo attraverso software di modellazione ha reso invece il processo ideativo più dinamico offrendo la capacità di valutare in tempo reale i potenziali esiti prestazionali attraverso sistemi di simulazione e di rappresentazione del *concept* di prodotto (Di Nicolantonio, 2017) e potendo valutare come variazioni minime delle pieghe del singolo modulo influissero sull'esito finale del sistema nel suo complesso.

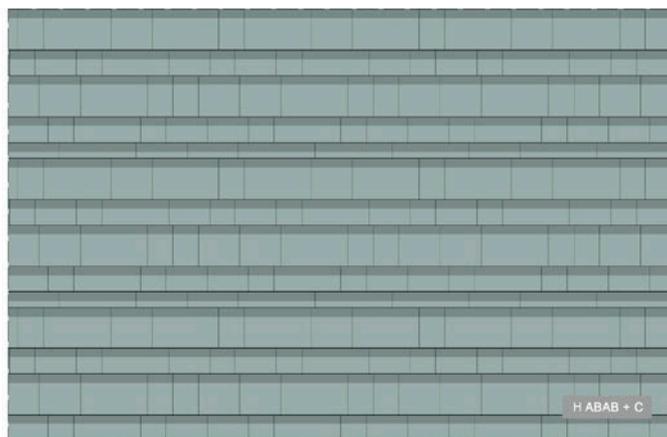
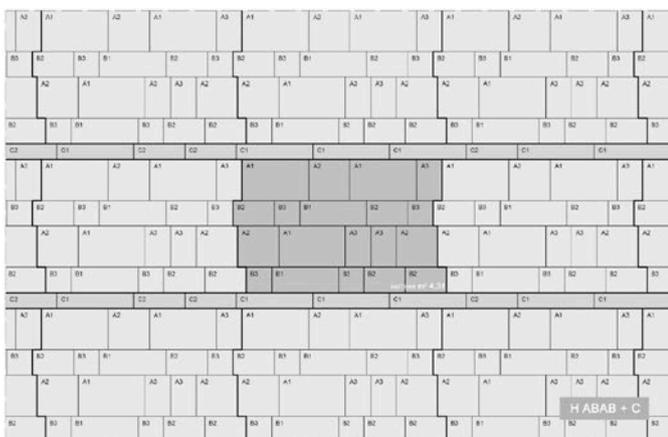
Un ulteriore vantaggio è consistito nell'aver reso possibile la proposizione di forme continue e complesse, che partendo dall'adozione di descrizioni di curve e superfici basate su algoritmi parametrici (Di Nicolantonio, 2017), ha permesso l'ideazione di un sistema di connessione tra i moduli che garantisse le prestazioni di tenuta all'acqua richieste.

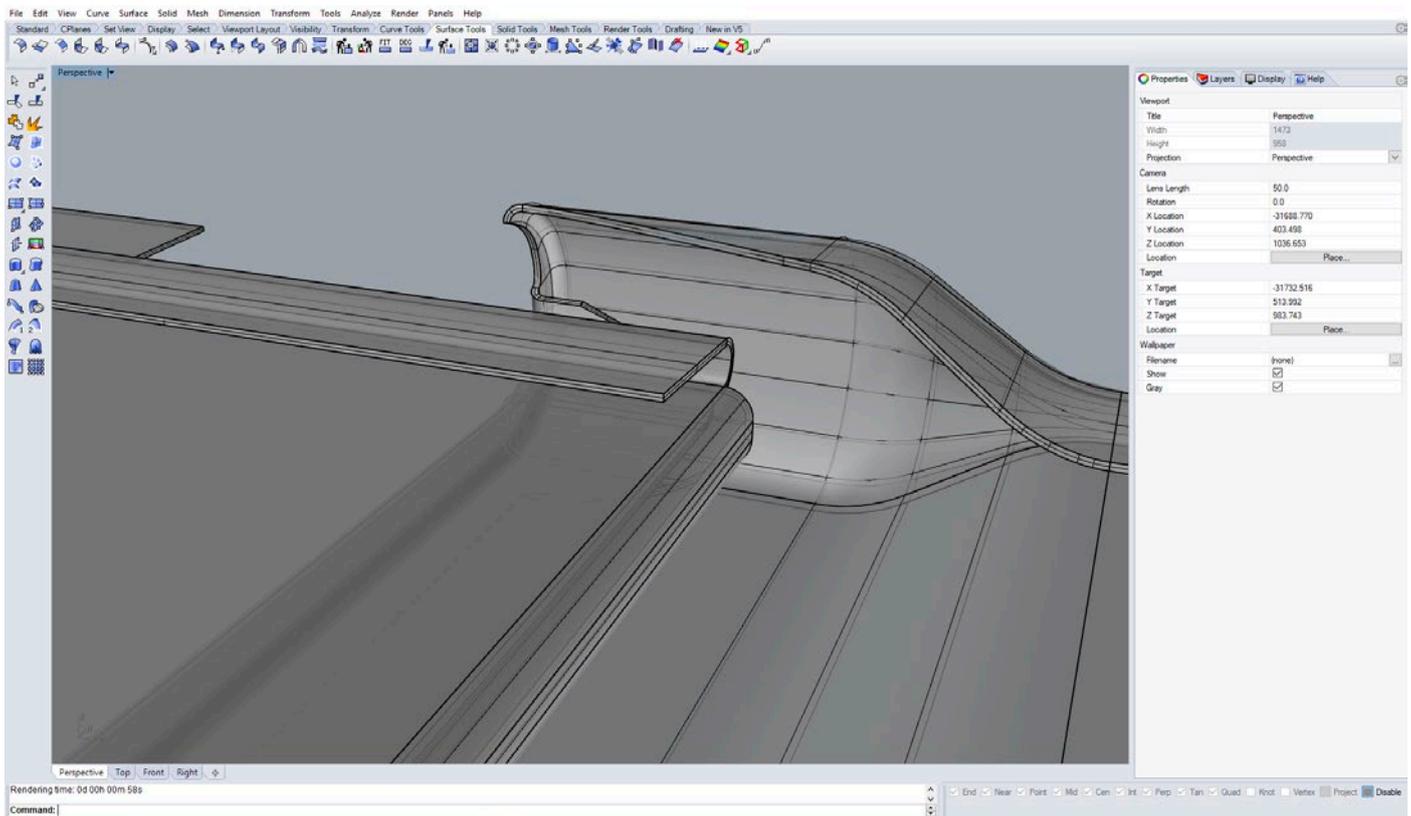
In un percorso progettuale come questo basato sul rielaborare, adattare e plasmare l'elemento attraverso sistemi digitali in

un processo di "digipolazione"⁷ del modello virtuale (Fig. 7) è nondimeno importante anche poter "manipolare" l'oggetto che si sta progettando, in una sorta di processo *blended* che ibrida elaborazione virtuale e materiale, soprattutto quando si lavora sulle forme dei componenti edili e con la duttilità del metallo. Il *3D prototyping*, che dal modello virtuale realizza un oggetto in resina (Fig. 8b), è stato quindi un passaggio fondamentale che ha permesso di verificare la correttezza del sistema ideato attraverso un prototipo in scala reale condiviso con i tecnici dell'azienda, con i produttori di macchine e presse *computer-aided* che dovranno realizzare l'elemento, oltre che con gli installatori di fiducia per verificare le risposte dell'elemento durante il percorso che va dalla produzione alla messa in opera. A questa fase di prototipazione automatizzata si è affiancata la realizzazione di campioni in metallo prodotti artigianalmente (Fig. 8a) che hanno consentito una ulteriore verifica di montaggio delle diverse soluzioni e di resa finale del prodotto, suggerendo modifiche e miglioramenti da riportare al modello virtuale.

Ecco quindi che questa esperienza di ricerca, attraverso una ridefinizione del processo di progettazione, rielabora il concetto di "digipolazione" intendendolo in un modo più originale come quel processo *blended* che ibrida modellazione virtuale con modellazione artigianale in un continuo *loop* di ridefinizione reciproca di entrambi i prototipi.

L'apparente semplicità formale che il sistema determina in fac-





07 | Screenshot della fase di lavorazione al computer, attraverso un software di modellazione tridimensionale, per simulare e quindi verificare il sistema aggancio tra due moduli adiacenti
 Screenshot of the computer 3D modelling stage to simulate and check the engagement system between two adjacent modules

ciata è in realtà ottenuta attraverso articolate variazioni di piegatura e messa in opera del modulo base.

La versatilità di questo modulo, garantita dal particolare sistema di incastro, insieme alle tecniche di produzione automatizzate previste, permettono la realizzazione in vari formati e con una diversità di trattamenti superficiali, mettendo a disposizione del progettista più elementi diversamente combinabili tra loro, andando a definire una serie di pattern compositivi quasi infinita.

ary changes. Above all, the opportunity was seen to use CAAD systems for detailed descriptions and modelling of individual design ideas, rather than just to explore alternatives (Pongratz and Perbellini, 2000).

The conception/design of modules by modelling software has made the creative process more dynamic by providing the ability to assess potential performance in real time through simulation and product concept representation (Di Nicolantonio, 2017) and to assess how minimum variations in the folds on individual modules affect the overall result of the system.

A further advantage was the proposal of continuous, complex shapes. Starting with the adoption of descriptions of curves and surfaces based on parametric algorithms (Di Nicolantonio, 2017), it was possible to design a module connection system that ensured the

required water tightness.

In a project like this, based on the re-elaboration, adaptation and formation of an element by means of digital systems in a “*digipolazione*” process⁷ of a virtual model (Fig. 7), it is also important to be able to “manipulate” the object being designed, in a sort of blended process that mixes virtual and actual processing, particularly when working on the shapes of building components involving the pliancy of metal. 3D prototyping, which makes a resin model from a virtual one (Fig. 8b), was a fundamental step that made it possible to check the accuracy of the system designed by means of a full-scale prototype shared with the company’s engineers, manufacturers of the computer-aided machinery and presses to be used in manufacturing the element, as well as trusted fitters to check the response of the element

Si viene così a configurare quel sistema personalizzabile, *custom-built*, dotato di connotati figurativi e percettivi originali che lo avvicina alla qualità dei prodotti artigianali quale esito di un processo in cui «industria ed artigianato finiscono con l’identificarsi, per effetto di una reale de-standardizzazione del prodotto, dovuta all’affrancamento della produzione in serie, dato che una produzione organizzata e regolata da una elaborazione automatica dell’informazione consente una variazione continua

from production to use. At this automated prototyping stage metal samples were made by hand (Fig. 8a) to further check assembly of the several solutions and the product final performance in order to identify alterations and improvements to apply to the virtual model.

By redefining the design process, this research experience re-develops the concept of “*digipolazione*”, considering it in a more original way as a blended process that mixes virtual and artisan modelling in a loop that reciprocally redefines both prototypes.

The system’s apparent simplicity on facades arises from variations in the folds and application of the basic module.

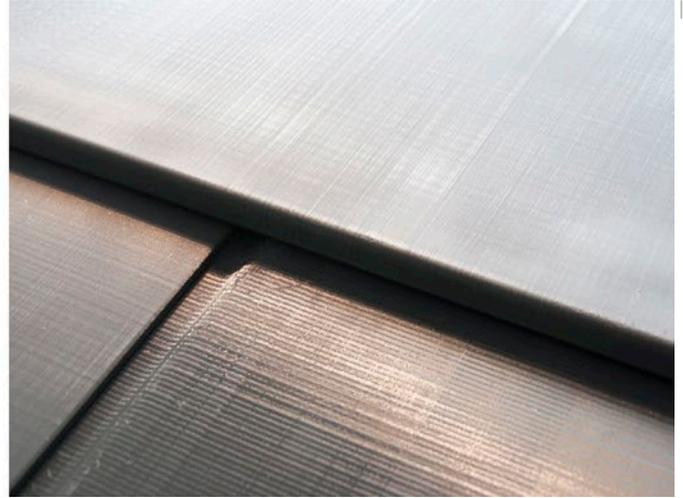
The versatility of the modules, which is ensured by the special engagement system and the automated production methods involved, makes it possible to

manufacture several formats with different surface treatments, providing designers with a number of elements that can be combined to give an almost infinite series of patterns.

This configures a custom-built system with original figurative and perceptive connotations similar to the quality of artisan products in which «industry and craftsmanship are identified due to the effect of real product de-standardisation arising from the enfranchisement of mass production, because production organised and regulated by automatic data processing makes continuous variations in products possible, the quantity factor no longer being an issue, in favour of the product’s intrinsic quality» (Morabito, 1990).

Conclusions

Patent has been applied for regarding the product and the process should be



08 | a) prototipo realizzato in alluminio verniciato (l'immagine mette in risalto l'effetto cromatico e delle ombre ottenuto grazie al sistema delle pieghe).
 b) prototipo ottenuto da stampa 3D (particolare delle connessioni tra i vari elementi)
 a) prototype in pre-painted aluminium (the image underlines the effect of colouring and shadow given by the system of folds).
 b) 3D printed prototype (detail of the connection between several elements)

del prodotto, legata alla vanificazione del fattore quantitativo, per privilegiare la qualità intrinseca del prodotto stesso» (Morabito, 1990).

Conclusioni

Il prodotto è stato sottoposto a procedura di brevetto la cui conclusione è prevista per l'estate del 2018, mentre la messa in produzione e commercializzazione è in corso di avvio⁸. L'obiettivo del progetto, teso a ottenere una differenziazione dell'offerta senza aumentare troppo i costi, è stato raggiunto. Il catalogo verrà integrato da un sistema che consentirà al progettista di poter scegliere tra un'ampia gamma di finiture, trattamenti e misure che garantiranno un elevato grado di libertà espressiva, coniugando la versatilità con la personalizzazione e le prestazioni funzionali. Il percorso è durato un anno e mezzo e ha consentito di costruire

concluded by summer 2018, whereas production and marketing are currently being set up⁸.

The aim of the project, which was to achieve differentiation of business proposals without unduly increasing costs, has been reached. The catalogue will be integrated by a system that provides designers with a wide choice of finishes, treatments and sizes that will bring together versatility, customisation and functional performance to give them extensive freedom of expression.

The project lasted one and a half years and built up increasingly greater interaction between the design team and the company, with reciprocal collaboration from the design to the production stages. The new "designed" characteristics are driving innovation for other applications and sales development for a company whose

product design is orientated to but not overwhelmed by the market. The company believed and invested in co-design activities with the university, to "go beyond" those simple technological advances by trial and error, or the adaptive innovations typical of most corporate innovation. The objective was to trigger a brainstorming process founded on the gestalt idea of restructuring, intertwined with micro-insight (Legrenzi, 2005) to ideate a challenging product in all its conception, design, development and production aspects⁹.

NOTES

¹ The commissioning company is Mazzonetto S.p.A., Loreggia, Padua.

² Due to its global turnover, the company is third in a list of the 25 main sheet metal manufacturers in Italy. Cf. C. Lorenzini, "Classification of the

una interazione sempre maggiore tra il team di progettazione e l'azienda, con compenetrazioni tra le fasi di ideazione e produzione. Le nuove caratteristiche "progettate" stanno divenendo motore di innovazione per ulteriori ambiti applicativi e sviluppi commerciali dell'azienda, che ha fatto proprio un approccio al design di prodotto che guarda al mercato senza farsene sopraffare. Un'azienda che ha creduto e investito in una attività di co-progettazione con l'università, intendendo con questo "andare oltre" quei semplici avanzamenti tecnologici per prove ed errori, o innovazioni adattive che caratterizzano gran parte dell'innovazione aziendale, con l'obiettivo di innescare un processo di brainstorming fondato essenzialmente sull'idea gestaltica della ristrutturazione, ma intessuto di momenti di *micro-insight* (Legrenzi, 2005) per ideare un prodotto sfidante in tutti i suoi aspetti di concezione, progettazione, sviluppo e produzione⁹.

Trading Accounts of Metal Working Companies", in *Lattoneria Numero 5*, November 2017, pp. 18-25.

³ ArTec (Archive of Methods and Materials for Architecture and Industrial Design) is part of the Università Iuav di Venezia Laboratory System.

⁴ The company had worked in the past with another group from the same university to develop a product then placed in production, testifying the importance certain companies that believe in innovation attribute to relationships with universities, taking advantage of the third mission, often uncompleted, but not in our case.

⁵ XXV CRESME Report on the Economic Situation and Forecast, *Il mercato delle costruzioni 2018. Lo scenario di medio periodo 2017-2022*, November 2017, 3-49.

⁶ The company referred to is Bacacier, a leading French industrial group pro-

ducing metal cladding for buildings.

⁷ The word "*digipolazione*" was coined and used for the first time by Massimiliano Condotta in his research into computer-aided design systems carried out in Italian and European research programmes.

⁸ Patent title "Modular Metal Element for Weathertight Cladding of Roofs and Facades" by Mazzonetto S.p.A., Loreggia (Padua) applied for on 23 February 2017 with application number 102017000020762. Inventors: Massimiliano Condotta, Valeria Tatano and Jacopo Mazzonetto.

⁹ This article is the result of the close collaboration of the two authors. Nevertheless, if specific parts are to be attributed to the individual author, this can be done as follows: paragraphs 1, 2, 6, by Valeria Tatano; paragraphs 3, 4, 5, by Massimiliano Condotta.

NOTE

- ¹ L'azienda committente è la Mazzonetto S.p.A. di Loreggia, Padova.
- ² Per dimensione globale del fatturato, l'azienda si colloca al terzo posto tra i 25 produttori principali del comparto lattoneria in Italia. Cfr. C. Lorenzini, "Classifiche dei bilanci delle imprese della lattoneria", in *Lattoneria* Numero 5, novembre 2017, pp. 18-25.
- ³ ArTec (Archivio delle Tecniche e dei materiali per l'architettura e il disegno industriale) fa parte del Sistema dei Laboratori dell'Università Iuav di Venezia.
- ⁴ La stessa azienda aveva in passato collaborato con un altro gruppo della medesima Università per sviluppare un prodotto poi entrato in produzione, a dimostrazione dell'importanza che alcune ditte che credono nell'innovazione attribuiscono al rapporto con le Università, traendo vantaggio dalla spesso incompiuta, ma non nel nostro caso, terza missione.
- ⁵ XXV Rapporto congiunturale e previsionale Cresme, *Il mercato delle costruzioni 2018. Lo scenario di medio periodo 2017-2022*, novembre 2017, 3-49.
- ⁶ L'azienda è la Bacacier, un gruppo industriale leader in Francia nella produzione di rivestimenti metallici per l'edilizia.
- ⁷ Il termine "digipolazione" è un neologismo pensato e usato per la prima volta da Massimiliano Condotta all'interno delle sue ricerche sui sistemi di progettazione assistita al computer condotte all'interno dei programmi di ricerca Nazionali ed Europei.
- ⁸ Titolo brevetto "Elemento modulare metallico per il rivestimento a tenuta d'acqua di tetti e facciate di edifici" della Mazzonetto S.p.A a Loreggia (Padova) depositato il 23 febbraio 2017 con il numero di domanda 102017000020762. Inventori: Massimiliano Condotta, Valeria Tatano, Jacopo Mazzonetto.
- ⁹ Questo articolo è il frutto della stretta collaborazione dei due autori. Ciò nonostante, se parti specifiche devono essere attribuite al singolo autore, questo può essere fatto come segue: paragrafi 1, 2, 6, di Valeria Tatano; paragrafi 3, 4, 5, di Massimiliano Condotta.

REFERENCES

- Arielli, E. (2003), *Pensiero e progettazione: la psicologia cognitiva applicata al design e all'architettura*, Bruno Mondadori, Milan.
- Di Nicolantonio, M. (2017), "Gli strumenti digitali per il design", in Forlani, M. C., Vallicelli, A. (Eds.), *Design e innovazione tecnologica, modelli d'innovazione per l'impresa e l'ambiente*, Gangemi, Rome, pp. 24-31.
- Lefteri, C. (2004), *Il metallo. Materiali per un design di ispirazione*, Logos, Modena.
- Legrenzi, P. (2005), *Creatività e innovazione*, il Mulino, Bologna.
- Manzini, E. (1986), *La materia dell'invenzione. Materiali e progetto*, Arcadia, Milan.
- Morabito, G. (1990), *Forme e tecniche dell'architettura moderna*, Officina edizioni, Rome.
- Pongratz, C., Perbellini, M.R. (2000), *Nati con il computer, giovani architetti americani*, testo&immagine, Turin.
- Prouvé, J. (2007), *La poetica dell'oggetto tecnico*, Skira, Milan.
- Stefaner, M., Dalla Vecchia, E., Condotta, M., Wolpers, M., Specht, M., Apelt, S. and Duval, E. (2007), "MACE - enriching architectural learning objects for experience multiplication", in Duval, E., Klamma, R. and Wolpers, M. (Eds.), *Creating new learning experiences on a global scale*, proceedings of the Second European Conference on Technology Enhanced Learning, Springer LNCS, pp. 322-336.
- Tatano, V. (2007), "Armature urbane", *Materia*, n. 54, pp. 38-45.
- Vicario, G. Bruno (1991), *Psicologia Generale*, CLUP, Padua.

Processi virtuosi: sistemi di copertura in bio-composito per la rigenerazione del territorio

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Vittorio Fiore^a, Stefania De Medici^b, Carla Senia^b,

^aDipartimento di Scienze Umanistiche, Università degli Studi di Catania, Italia

^bDipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, SDS Architettura, Università degli Studi di Catania, Italia

vitfiore@gmail.com

sdemedi@unicit.it

c.senia@tin.it

Abstract. L'articolo illustra gli esiti della ricerca FIR 2014, sul tema dello sviluppo sostenibile dell'area urbano-industriale del dipolo Augusta-Siracusa. La coltivazione di canapa per la fitodepurazione dei suoli consente di attivare un processo di rigenerazione multiscalare, che introduce nuove attività produttive per la trasformazione delle biomasse in bio-materiali per l'edilizia. Le esigenze di competitività del sistema produttivo hanno indotto a elaborare il progetto di un nuovo sistema di copertura in lastre di bio-composito, utilizzando materie prime a km0. Ciò contribuisce a ridurre l'inquinamento, incrementare i posti di lavoro, incentivare il recupero del patrimonio architettonico, con componenti a basso costo prodotti in loco, compatibili con i sistemi costruttivi della tradizione locale.

Parole chiave: Lastre di copertura; Composti canapa-calce; Fitodepurazione; Aree urbano-industriali; Rigenerazione.

Quando un prodotto può generare sviluppo? Quando consente di attivare nuove filiere produttive o di sistematizzare ed integrare filiere esistenti, nell'intento di modificare e migliorare l'assetto di un territorio.

Questa la tematica affrontata nel progetto pluridisciplinare FIR 2014, finanziato dall'ateneo di Catania, che ha analizzato il caso del dipolo Siracusa-Augusta¹, un territorio che ha subito – a partire dagli anni '50 del Novecento – profonde trasformazioni determinate dall'insediamento del polo petrolchimico più grande d'Europa. Il falso benessere dello sviluppo industriale passato, che aveva portato nell'immediato posti di lavoro, ha riservato nel lungo periodo una scia di distruzione, malattia, abbandono e negazione delle risorse disseminate sul territorio.

Periferie urbane, cave, raffinerie, industrie dismesse, campi agricoli, zone archeologiche, spiagge, si alternano oggi in un paesaggio compromesso, all'apparenza irrimediabile (Cfr. report

ricerca). Un contesto territoriale affastellato e sconnesso tra residui sottoutilizzati e aree liminali inaccessibili: la trama costituita dal sistema infrastrutturale -tre assi longitudinali paralleli al mare- si intreccia ad un ordito omogeneo, costituito da sei assi fluviali trasversali, che nel progetto di ricerca a scala territoriale assumono ruolo di 'corridoi ecologici' (Fig. 1). I 'nodi' di tale griglia sono destinati ad accogliere luoghi dedicati alla ricerca e all'innovazione, in una posizione privilegiata, che beneficia dell'interscambio con la rete di trasporto locale e nazionale per semilavorati e prodotti finiti.

Questo recente passato permette di delineare la *mission* per un progetto che, evocando visioni organiciste di processo, attivi "ri-generazione" intesa come "ri-produzione", attraverso una strategia unitaria (Capuano, 2014).

La ricerca multi-scalare è condotta su più tagli disciplinari: urbanistica, progettazione architettonica, agraria, tecnologia, scienze antropologiche, economia; obiettivo comune: riconfigurare i frammenti del paesaggio agricolo, i resti archeologici, l'edilizia rurale abbandonata, quali elementi resilienti, che possano ospitare modelli di produzione agricola sostenibile connessi a nuovi cicli industriali, nell'ottica di invertire un destino apparentemente già segnato.

Il segmento di studio sperimentale qui sintetizzato, curato dal gruppo di lavoro afferente all'area della Tecnologia, è dedicato all'innovazione; partendo dagli obiettivi di bonifica dei suoli e delle acque, propone una nuova filiera industriale, con un progetto di elementi tecnici in bio-composito.

Virtuous processes:
biocomposite roofing
systems for territorial
re-generation

Abstract. The article illustrates the outcomes of FIR 2014 Research on the topic of sustainable development of the urban-industrial areas of Augusta and Siracusa – meant as a single hub. Hemp farming for soil phytodepuration allows to activate a multi-scale process of regeneration that introduces new production activities for the transformation of biomass into building bio-materials. The need for competitiveness led to draft a project about a new roofing system constituted by biocomposite slabs, using raw materials produced locally. This allows to reduce pollution, to increase jobs and to promote the renovation of the building stock thanks to low-cost components produced on site and compatible with construction systems belonging to the local tradition.

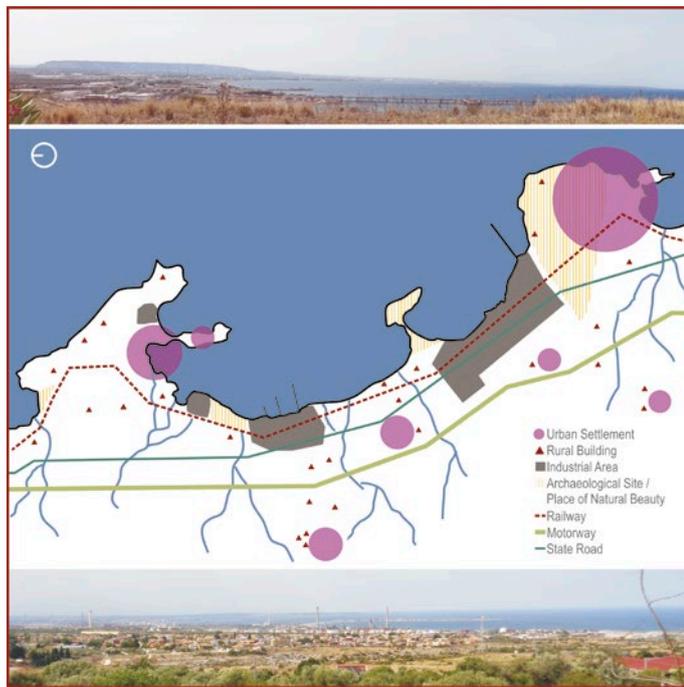
Keywords: Roofing slabs; Hemp-lime composites; Phytodepuration; Urban-industrial areas; Regeneration.

When can a product generate development? When it allows to start new production chains, to systematise and integrate already existing production chains, in the attempt to change and improve the set-up of a territory.

This is the topic addressed by the multidisciplinary project FIR 2014, funded by the University of Catania, that has analysed the case of Siracusa-Augusta¹, whose territory has undergone – starting from the 1950s on – deep transformations caused by the establishment of the largest petrochemical site in Europe. At the beginning, the pretended well-being brought by past industrial development created jobs but in the long period it has been causing destruction, diseases, abandonment and the rejection of resources scattered around this area.

The landscape features suburbs, quarries, refineries, industries fallen into

disuse, agricultural land, archaeological sites, beaches; and it looks so damaged it seems irredeemable (See Research report). It is a very fragmented and complex environment, characterised by under-used facilities and inaccessible areas. The infrastructural network is basically formed by three longitudinal axes that are parallel to the sea, interconnected with six transversal axes represented by rivers, that in the research project on a territorial scale are assigned the role of "ecological corridors" (Fig. 1). In such a grid, the hubs are to host premises dedicated to research and innovation, since they are located in privileged positions, taking advantage of the interchange between the local and national transport network in order to manage semi-processed products and end products. This recent past history allows to affirm the mission at the core of a project



L'innovazione di prodotto, relativa a un singolo componente edilizio, è assunta quale motore di sviluppo, in grado di determinare ricadute sui processi di rigenerazione dell'intero sistema insediativo. Tale strategia indica la strada per una nuova fase di vita delle aree industriali in dismissione: l'uso e il ruolo degli elementi di un sistema territoriale sono lo specchio della relazione tra fattore socio-economico e forme costruite, frutto del sovrapporsi di culture e processi trasformativi passati e presenti. Dal punto di vista economico l'innescò di tale azione ha visto concretizzarsi le possibilità di recupero del patrimonio rurale, terriero ed edilizio, verificando la disponibilità di terreni privati ad una coltivazione intensiva *no food* e le potenzialità d'uso degli edifici agricoli abbandonati. L'alternanza di coltivazioni – canapa e girasole – perseguendo antiche prassi agrarie, consente

that, evoking an organic vision of the implemented processes, should be able to activate a “regeneration” that is conceived as a “re-production” through a common strategy (Capuano, 2014). This multi-scale research is carried out in several disciplines: urban planning, architectural designing, agriculture, technology, anthropological sciences, economics. The common goal is to give a new configuration to the fragments of this agricultural landscape, to archaeological remains, to abandoned rural buildings; these are resilient elements that could host sustainable models of agricultural production connected with new industrial cycles, in a perspective aimed at reversing their destiny despite the fact that it appears already determined. The present paper resumes a portion of the experimental study that was carried out by the working team be-

longing to the field of Technology, and focussing on innovation; starting from the goals of soil and water remediation, it suggests a new industrial production chain thanks to a project on biocomposite technical elements. An innovative product, referred to a single building component, is the driving force of such development, able to determine positive effects on regeneration processes that would affect the whole inhabited context. Such a strategy leads the way to a new life for industrial areas that are being dismantled: the use and role of elements within a territorial system mirror the relationship between socio-economic factors and the building stock, resulting from the overlapping of cultures and transformation processes - both past and present ones. From an economical point of view, the start of such action saw some tangible

di procedere a una graduale bonifica e di preservare nel tempo la fertilità dei suoli (Freeman et al., 2004). Investire sui sistemi di trasporto, potenziando soprattutto l'infrastruttura ferroviaria – oggi sottoutilizzata e con gran parte del patrimonio edilizio abbandonato – mira a coinvolgere anche tali risorse in una rigenerazione a tutto campo.

Infine, la fattibilità dell'ipotesi di ricerca è funzione dell'efficacia del nuovo sistema produttivo delineato: le materie prime, i semi-lavorati e i prodotti finiti che derivano dalla canapa coltivata nell'area oggetto di bonifica risultano competitivi sul mercato locale, in quanto capaci di azzerare i costi di trasporto tra sito di produzione e sito di vendita; la competitività su mercati più ampi è vincolata, invece, alla capacità di offrire un prodotto innovativo, dalle prestazioni più vantaggiose rispetto a quanto attualmente in produzione.

Obiettivi

Le attività di ricerca sono riconducibili a tre obiettivi-cardine, che concorrono a rendere fattibile e competitiva la proposta. Il primo obiettivo, il più importante, riverbera a scala territoriale: l'attivazione di nuove filiere produttive, consente di riconquistare terreni all'agricoltura, individuando nuove direttrici di sviluppo. L'introduzione di coltivazioni di specie che contribuiscono alla bonifica dei suoli mediante fitodepurazione, tra le quali la *cannabis sativa*, alimenta l'insediamento di nuove attività di trasformazione, determinate dall'esigenza di riutilizzare la biomassa prodotta dalla coltivazione della canapa. Questo macro-obiettivo attiva un incremento della qualità nei sistemi fisico, sociale ed economico, riducendo la presenza di fattori inquinanti e garantendo nuovi posti di lavoro richiesti dalle attività primarie e secondarie.

possibilities to regenerate the rural heritage, both in terms of land and buildings; it was carried out a verification of the availability of private lots to start no food intensive cultivation and the potential use of abandoned rural buildings. Alternate farming – hemp and sunflowers – according to ancient agricultural practices, allows to carry out a gradual remediation and to preserve soil fertility in the course of time (Freeman et al., 2004). Investments on the transport network, focussing on railway infrastructures in particular – nowadays under-used and whose building stock in mostly abandoned – would involve these resources as well, providing a 360-degree regeneration. Last, feasibility of the research hypothesis is a function of the effectiveness of the new production system: raw materials, semi-processed and end products deriving from hemp cultivated in the

area to be remediated are competitive on the local market, since they are able to eliminate transportation costs from the production site to the selling site; competitiveness on larger markets depends, instead, on the ability to propose an innovative product, providing better performances than what is being currently produced.

Objectives

Research activities are aimed at three core objectives that make this proposal feasible and competitive. The first objective – and most important one – reflects on a territorial scale: the start of new production chains allows to retrieve more land to be destined to agriculture while identifying new development opportunities. Introducing the cultivation of species contributing to soil remediation through phytodepuration, among which is *can-*

Nelle aree interessate da inquinamento e abbandono, si riattivano vocazioni primigenie trasformando le condizioni di degrado in opportunità di sviluppo, ideando ed attivando potenziali usi su risorse preesistenti. Tale fase di ricerca si colloca nell'ambito degli studi sul concetto di "appropriatezza", verificato in rapporto a tutte le realtà contestuali che definiscono il rapporto fra architettura e luogo (Gangemi, 1988).

Il secondo obiettivo è il progetto di nuovi componenti compatibili con i sistemi edilizi della tradizione costruttiva locale, che possano essere utilizzati per attività manutentive, riqualificazione e riuso degli edifici rurali e per la riconversione delle architetture industriali dismesse. La biomassa, che deriva dalla coltivazione della canapa, viene reimpiegata come materia prima in numerosi processi di produzione: biocombustibili, prodotti tessili, carta, feltro, bio-plastiche, farine e olii vegetali, cosmetici, lubrificanti, resine, cere, detergenti e vernici. In particolare, il residuo legnoso (canapulo) è sempre più frequentemente utilizzato nella produzione di materiali e componenti per l'edilizia, con legante minerale ed acqua.

Il terzo obiettivo si colloca in quei segmenti produttivi che offrono ancora spazio all'innovazione: realizzare un prodotto competitivo nel mercato della produzione per l'edilizia. Tale impostazione ha guidato la fase applicativa della ricerca verso la progettazione di elementi di copertura, ancora non disponibili sul mercato, dispositivi tecnici di finitura considerati "deboli" perché soggetti all'azione ripetuta di agenti atmosferici. Realizzare un elemento di copertura che, da solo, assolva le funzioni di manto (protezione) e isolamento (ambientale) consente di ridurre i carichi che gravano sulle strutture e lo spessore del pacchetto di copertura, incrementando economicità, semplicità

nabis sativa, stimulates the creation of new transformation activities, determined by the need to reuse the biomass produced by hemp farming. This macro-objective activates an increase in the quality of physical, social and economic systems, reducing the presence of polluting factors and ensuring the creation of new jobs thanks to primary and secondary activities.

In areas affected by pollution and abandonment, it is an occasion to reactivate a territory's earliest vocation, and to turn degradation into development opportunities by planning and implementing some possible uses by taking advantage of pre-existing resources. Such research phase is included within the studies about the concept of "appropriateness", verified according to all the situations in the context that help define the relationship between architecture and a spe-

cific place (Gangemi, 1988).

The second objective is the project about new components compatible with the typical building systems belonging to local tradition, that could be used for maintenance activities, requalification and re-use of rural buildings, and for the reconversion of industrial facilities fallen into disuse. Biomass deriving from hemp farming can be reused as a raw material in several production processes: biofuels, textile products, paper, felt, bioplastics, flours, vegetable oils, cosmetics, lubricants, resins, waxes, detergents and varnishes. In particular, the wooden residues (shive) are used more and more in the production of materials and components for building, with mineral binders and water.

The third objective is referred to those production segments that are still promoting innovation: the aim is to create

and velocity of pose in opera-removal-replacement. Such typology of component can be used also for temporary works to protection of buildings or sites (structures for emergency, coverage of spaces all'aperto, protection of existing buildings that have immediately collapsed or the removal of elements of coverage, protection of areas of excavation in archaeological sites, etc.). This connects to the second objective: in the case of the examined territory, the use of components suitable for a rapid renovation of roofing allows to use some abandoned rural buildings (palmenti and traditional premises for vinification, and abandoned facilities) in a short time and with minor costs, in order to cultivate the fields that have become productive again. These buildings could host all the activities in connection with hemp farming, the earliest processes before semi-processed products are included in industrial processes.

Gli attori: università/ imprese/amministrazione

La ricerca propone un modello di sviluppo locale incentrato sul sistema di relazioni tra università,

settore imprenditoriale e pubblica amministrazione, ispirato alla Tripla Elica di Etzkovitz e Leydersdorff (Etzkovitz e Leydersdorff, 2000), interpretando il passaggio dalla Società Industriale, dominata dalla diade industria/governo, ad una Società della Conoscenza, nella quale le attività di ricerca e formazione universitaria assumono un ruolo dominante. Lo sviluppo di saperi che derivano dalla ricerca e il trasferimento di competenze in ambito locale attraverso la formazione, infatti, alimentano l'innovazione, che a sua volta genera sviluppo, con effetti positivi crescenti sulla qualità di vita nel territorio. L'efficacia di tale modello richiede una configurazione bilanciata della triade, capace di alimentare intuizioni per l'innovazione attraverso la collabo-

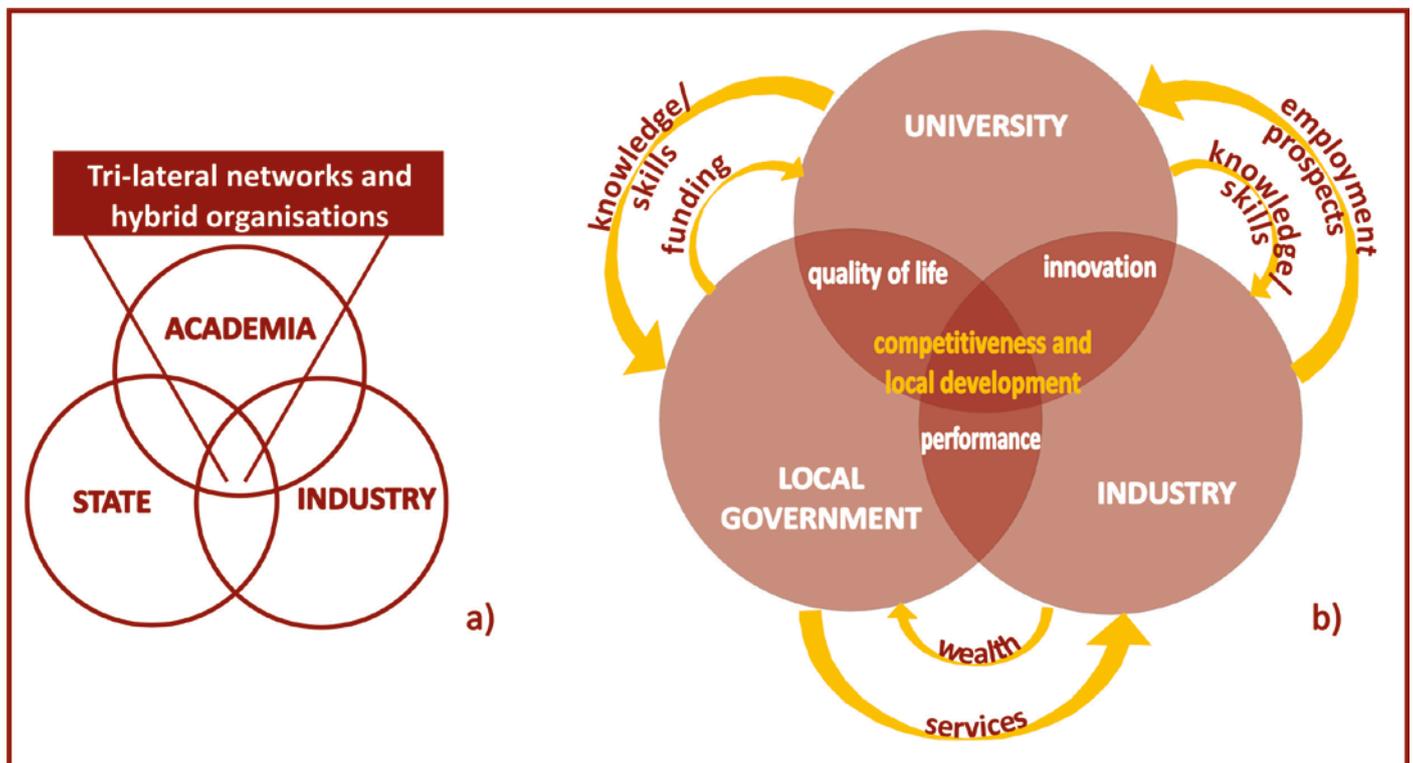
ration areas in archaeological sites, etc.). This is connected to the second objective: in the case of the examined territory, the use of components suitable to a rapid renovation of roofing allows to use some abandoned rural buildings (palmenti, traditional premises for vinification, and abandoned facilities) in a short time and with minor costs, in order to cultivate the fields that have become productive again. These buildings could host all the activities in connection with hemp farming, the earliest processes before semi-processed products are included in industrial processes.

The actors: academia/industry/government
The research proposes a local development model based on the relationships among University, the entrepreneurial sector and the public administration,

razione tra le tre sfere istituzionali e l'attuazione di iniziative congiunte (Ranga e Etzkowitz, 2013) (Fig. 2a). Tale interpretazione ha richiesto una rappresentazione in cui siano indicati i contenuti dell'interazione tra gli elementi della triade e i risultati di competitività e di sviluppo locale, conseguibili nelle aree di sovrapposizione (Fig. 2b). Sono infatti gli incroci delle sfere gli ambienti più favorevoli ad alimentare un continuo rinnovamento creativo, in cui la sinergia industria/governo sostiene la produttività, quella università/governo incrementa la qualità di vita attraverso una efficace definizione delle strategie di sviluppo, mentre quella università/industria produce innovazione. L'università ha il ruolo di incrementare e mettere a sistema saperi pluridisciplinari, trasferendoli sul territorio e contribuendo a determinare la qualità delle trasformazioni, in una prospettiva evolutiva improntata sulla sostenibilità nel lungo periodo; l'università valuta scenari alternativi, individua le risorse (fisiche, produttive, sociali, culturali) da immettere nel processo di innovazione, cura la regia del progetto. Lo *step* decisionale è supportato da una visione coerente di quanto potrebbe avvenire in futuro (Ringland, 1998); non una previsione, ma un possibile sviluppo, avendo individuato i possibili cambiamenti del contesto attraverso indicatori da cui decifrare necessità e tempi di modifica del processo (Porter, 1985; Pellicelli, 2005).

La pubblica amministrazione gioca un ruolo di responsabilità, con gli obiettivi di: governare, determinando un sistema di regole e controllandone il rispetto; programmare le strategie di sviluppo e le priorità di intervento, in funzione dei diversi caratteri del sistema di patrimoni presenti nell'area; coordinare un programma coerente, che coinvolga i differenti attori, facilitandone gli step organizzativi e finanziari (Dioguardi, 2007). L'industria, infine, acquisisce conoscenze e competenze dall'interazione con l'Università, migliorando la qualità dei prodotti, e alimenta le condizioni di benessere della comunità producendo reddito. La sua capacità competitiva deriva dalla capacità di innovazione, che richiede l'apporto di tutti gli attori della triade.

Il materiale bio-composito Dalla fine degli anni '90 sono numerose le sperimentazioni relative all'uso della canapa (*cannabis sativa*) per la fitodepurazione di suoli inquinati da contaminanti organici e da metalli pesanti (tra gli altri, Ahmad et al., 2016). La canapa tende ad accumulare sostanze inquinanti nelle cellule epidermiche delle foglie (Linger et al., 2002), consentendo l'uso delle fibre e delle componenti legnose (canapulo) senza rischi per la salute. Oltre all'uso per la produzione di biocombustibili, la biomassa viene impiegata in diverse filiere di produzione.



L'ipotesi della fitodepurazione di suoli contaminati da metalli pesanti con *cannabis sativa* apre la strada a nuove direttrici di sviluppo nell'area industriale siciliana: la biomassa può essere reimpiegata per la realizzazione di componenti per l'edilizia, destinati sia al settore delle nuove costruzioni, sia al recupero del patrimonio costruito. Ciò contribuisce a incrementare la qualità di vita dell'area, favorendo la nascita di nuove imprese e la loro competitività grazie a una produzione a chilometro zero. Allo stesso tempo, il benessere socio-economico alimenta processi di riqualificazione e riuso, grazie alla rinnovata capacità di attrazione dell'area e alla disponibilità di un componente edilizio compatibile con il patrimonio costruito locale e a basso costo.

Nel mercato delle costruzioni, l'uso di bio-materiali si sta diffondendo rapidamente: il conglomerato di canapa è un bio-composito, costituito da canapulo e da un legante minerale, miscelati con acqua. Esso è realizzato con materiali rinnovabili e consente di ridurre le emissioni di CO₂ nell'atmosfera sia durante la coltivazione della canapa (per la fotosintesi clorofilliana), sia durante la carbonatazione del legante (Florentin et al., 2017). Il composito, variando le proporzioni dei suoi componenti, può garantire prestazioni differenziate (Elfordy et al., 2008), che ne permettono molteplici usi in edilizia (tamponamenti, rivestimenti, isolamenti, intonaci, ecc.). L'elevata porosità (dovuta al canapulo) gli conferisce leggerezza e bassa conduttività termica (Cérézo, 2005), consente un'alta permeabilità, quindi un elevato assorbimento acustico (Glé et al., 2011), ma può comprometterne la resistenza meccanica.

inspired to the Triple Helix by Ektowitz and Leidersdorff (Ektowitz and Leidersdorff, 2000), interpreting the transition from the Industrial Society, dominated by the couple industry/government, to a Society of Knowledge, where activities such as research and university education hold a dominating role. The development of knowledge deriving from research and the transfer of competences within a local environment through training, as a matter of fact, promotes innovation, that in its turn generates development along with growing positive effects on a territory's quality of life. In order to be effective such model requires a balanced configuration of the three actors in the relationship, able to suggest innovation through the collaboration among the three institutional entities and the implementation of shared initiatives (Ranga and Etkowitz, 2013)

(Fig. 2a). This interpretation required a representation indicating the contents of such interaction, as well as the results in terms of competitiveness and local development, attainable in the areas where overlapping takes place (Fig. 2b). As a matter of fact, where overlapping occurs there are the most favourable environments for a continuous creative renewal, where the synergy industry/government supports productivity, while the synergy University/government improves the quality of life through an effective definition of development strategies, while the synergy University/industry produces innovation.

The University's task is to increase and systematise multidisciplinary knowledge, transferring them to the territory and helping determine the quality of transformations, in a perspective of evolution based on sustainability over

Il progetto S[h]emper. Metodologia di ricerca

In questo scenario è maturata l'idea fondante della ricerca, che mixando "cicli biologici" di prodotti di consumo con "cicli tecnici" di prodotti d'uso, elabora un complesso sistema di processi, capace di attivare concrete dinamiche di rigenerazione del sistema insediativo (Fig. 2).

La sperimentazione condotta è partita dalla filiera agricola, puntando su un elemento biologico – la canapa – con finalità rigenerative per i suoli, ne ha esteso la vita in altre forme, progettando un sistema di componenti non ancora presente sul mercato – lastre di copertura con la duplice funzione di manto e strato isolante – da utilizzare nel recupero e nella nuova costruzione.

Con riferimento alla normativa tecnica, sono stati individuati i requisiti del componente, per la verifica prestazionale da effettuare sui prototipi, e sono state definite le caratteristiche morfologico-dimensionali delle lastre, formulando ipotesi sui dosaggi per la composizione del materiale. Per l'impiego delle lastre in copertura è stato indispensabile introdurre prestazioni di stabilità morfologica, impermeabilità ai liquidi e permeabilità ai fluidi aeriformi. Tale esigenza ha condotto alla sperimentazione degli effetti di additivi sintetici e naturali per impermeabilizzazione, valutandone gli effetti dell'impiego nell'impasto o mediante applicazione superficiale.

La metodologia di ricerca è stata articolata nelle seguenti fasi:

1. Elaborazione dello schema di processo (Fig. 3);
2. Analisi delle caratteristiche del bio-composito per l'edilizia;
3. Metaprogetto: individuazione dei requisiti del nuovo sistema di copertura in bio-composito; i requisiti utili per un protocollo di verifica² sono raccolti in una tabella sinottica elaborata a partire dalle Norme UNI (8289:1981; 8290-2:1983; 8627:2012), integrando requisiti di nuova definizione finaliz-

the long term. University considers alternative situations, identifies resources (whether physical, productive, social, cultural) to be included in the innovation process, and takes charge of project direction. The decisional step is supported by a consistent vision about what could occur in the future (Ringland, 1998); it is not a prediction, but a possible development, after having identified possible changes in the context through indicators able to report the needs and time requirements to change the process (Porter, 1985; Pellicelli, 2005).

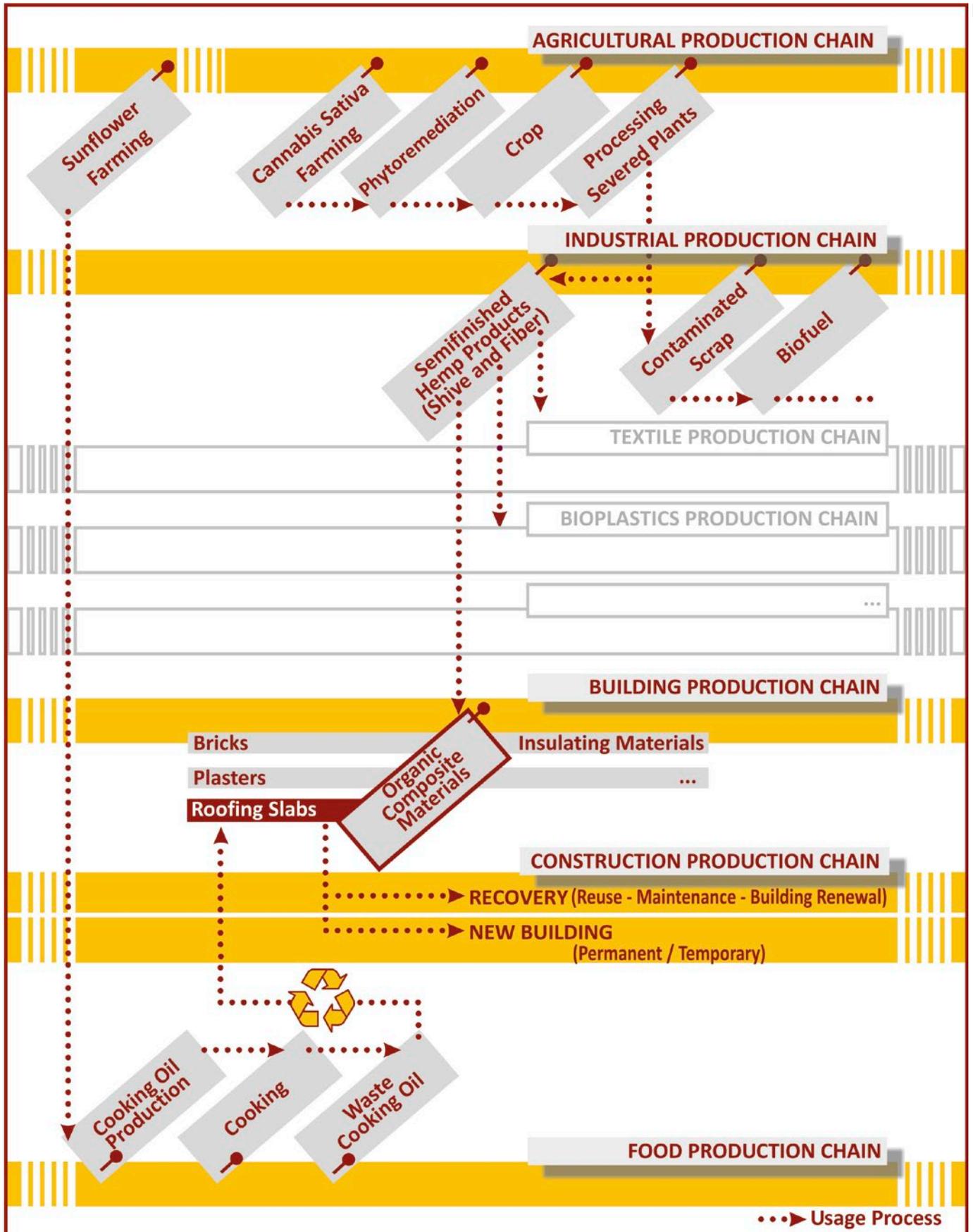
Public administration has a responsibility and the tasks to: govern, determining a system of rules and its respect; plan development strategies and action priorities depending on the different features of heritage falling within a specific area; coordinate a consistent operation programme, involving the several

actors, facilitating organisational and financial steps (Dioguardi, 2007).

Last, industry acquires knowledge and competences from the interaction with University, improving the quality of products, and promotes the wellbeing of the community by producing income. Its competitive ability derives from the ability to innovate, that requires a contribution by all the actors of this tri-lateral network.

The biocomposite material

Starting from the late 1990s, several experimentations on the use of hemp (*cannabis sativa*) were carried out for phytodepuraton of soils contaminated by organic pollutants and heavy metals (among others, Ahmad et al., 2016). Hemp tends to accumulate polluting substances in epidermal cells of leaves (Linger et al., 2002), allowing the use of fibre and wooden parts (shive) without





- zati a migliorare il comportamento dell'intero sub-sistema;
4. Sperimentazione: realizzazione di provini e verifica prestazionale sui prototipi in laboratorio³;
 5. Progetto: costruzione di un abaco degli elementi costituenti il nuovo sistema di copertura (modulo base, dispositivi tecnici, pezzi speciali, modalità di assemblaggio/posa in opera). La forma del modulo base è quadrata e piana, scelta dettata dalla semplicità di una regola di montaggio già presente in architettura (Fig. 4); non è da escludere la reinterpretazione in altre forme. La dimensione è funzionale al passo dell'orditura delle travi, in modo da consentire con pochi pezzi la realizzazione di vaste aree coperte,

health risks. Besides its use for the production of biofuels, biomass is used in several production chains. The hypothesis of phytodepuration of soils contaminated by heavy metals through *cannabis sativa* leads the way to new development opportunities in this Sicilian industrialised area: biomass can be reused to carry out components for building, destined both to brand-new buildings and to the renovation of existing buildings. This contributes to improve the area's quality of life, favouring the creation of new enterprises and promoting their competitiveness thanks to a strictly local production. At the same time, socio-economic prosperity promotes processes such as requalification and reuse, thanks to this renewed ability to attract that will characterise such an area, and to the availability of a building component that is compatible with

the existing buildings and low-cost. The use of biomaterials in the field of building is spreading rapidly: hemp conglomerate is a biocomposite, consisting of shive and a mineral binder, mixed with water. It is made with renewable materials and allows to reduce CO₂ emissions into the atmosphere, both during hemp cultivation (thanks to photosynthesis) and during carbonation of the binder (Florentin et al., 2017). By varying the dosage of its components, the composite can guarantee different performances (Elfordy et al., 2008) that allow multiple uses in construction (infills, coating, insulation, plasters, etc.). Its high porosity (due to shive) conveys lightness and low heat conduction (Cérézo, 2005), ensures high permeability and therefore a high acoustic absorbance (Glé et al., 2011), but can hinder its mechanical resistance.

6. Validazione: verifica della versatilità (Integrabilità) tra recupero, manutenzione e nuova costruzione (temporanea e permanente).

Sperimentazione sul biocomposito canapa-calce

The S[h]emper project: research methodology
In such a context, the basic idea at the core of this research has come to life: mixing biological cycles of consumption products with technical cycles of usage products, leads to a complex system constituted by several processes, able to activate tangible actions for regeneration of the inhabited system (Fig. 2). The experimentation started with the agricultural production chain, focusing on a natural element – hemp – with the aim to regenerate soils; its life was extended by producing new products out of it, designing a system of components that are not on the market yet: roofing slabs with a double function: mantle and insulation layer, to be used in restoration works and in the construction of new buildings.

Il prototipo di lastra di copertura ha richiesto una verifica prestazionale riconducibile ai requisiti di stabilità morfologica, impermeabilità ai liquidi e ai

With reference to technical norms, the component's requirements have been identified – concerning the performance verification to be carried out on the prototypes; and the morphological-dimensional characteristics of the slabs have been defined, making hypotheses on dosages for the material's composition. In order to use the slabs as coverings, it was indispensable to introduce performances of morphological stability, impermeability to liquids and permeability to gaseous fluids. Such need led to experiment the effects of synthetic and natural additives to obtain impermeability, evaluating their effects when they are included in the mixture or through application on surfaces. The research methodology was carried out in the following phases:
1. Elaboration of the scheme process (Fig. 3);



Sample Preparation

Materials

 Water (a)  Cement (b)  Air Lime (c)	 Hydraulic Lime NHL 3.5 (d)  Hemp Shive (3.5 mm) (e)  Hemp Shive (1.0 mm) (f)  Hemp Fiber (g)
---	--

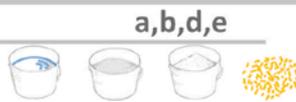
First Phase



a,b,e,g

1 2

Samples



a,b,d,e

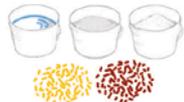



Second Phase

1



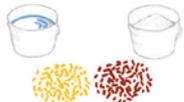
a,b,d,e,f



2



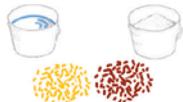
a,d,e,f



3



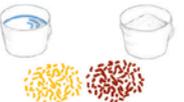
a,d,e,f



4



a,d,e,f



5



a,c,d,e,f



2. Analysis of the biocomposite characteristics for construction;
3. Metaproject: identifying the new covering system's requirements in the biocomposite; requirements useful for a verification protocol² are collected in a table elaborated according to UNI Norms (8289:1981; 8290-2:1983; 8627:2012), integrating newly-defined requirements aimed at improving the behaviour of the whole sub-system;
4. Experimentation: carry out some

testing and verify performances on the prototypes in lab³;

5. Project: elaboration of a chart of elements constituting the new roofing system (basic module, technical devices, special parts, assembly/installation mode). The basic module is squared and flat, following an assembly rule already established in architecture thanks to its simplicity (Fig. 4); other possible shapes are not excluded. Size is functional to the pattern of the roof frame, in

order to allow to cover wide areas with a limited number of pieces; fixing system is simple and quick in order to give immediate covering and availability for use. The element's lightness is fundamental in the project of temporary regeneration;

6. Validation: verifying versatility (ability to integrate) in terms of regeneration, maintenance and new buildings (temporary and permanent).

Experimentation on the hemp-lime biocomposite

The prototype of roofing slab required a performance verification linked to the requirements of morphological stability, impermeability to liquids and gaseous fluids in order to ensure adequate indoor comfort conditions. The mechanical behaviour and insulation ability of the biocomposite is strongly conditioned by the presence of vegetable aggregates of hemp shive and fibre (Arnaud and Gourlay, 2012;

fluidi aeriformi, al fine di garantire adeguate condizioni di comfort indoor. Il comportamento meccanico e di isolamento termo-igrometrico del bio-composito risulta fortemente condizionato dalla presenza degli aggregati vegetali del canapulo e della fibra di canapa (Arnaud e Gourlay, 2012; Benfratello et al., 2013) che, insieme alla matrice di leganti minerali e acqua, costituiscono il conglomerato di canapa (Fig. 5).

Nella prima fase di sperimentazione, è stata effettuata la verifica prestazionale relativa alla stabilità morfologica del provino. Attraverso l'esecuzione di campioni del bio-composito è stato possibile definire i dosaggi dei componenti del conglomerato in funzione dei requisiti da soddisfare. Gli aggregati vegetali utilizzati in questa fase sono costituiti da canapulo – con due diverse granulometrie – e fibra di canapa. Per garantirne la coesione, sono stati impiegati leganti idraulici (cemento bianco e calce idraulica NHL 3,5) e calce aerea.

Per i primi due campioni è stato utilizzato esclusivamente canapulo con granulometria di 3,5 mm. Il primo campione, costituito da canapulo, cemento, acqua e rinforzato con fibra di canapa, ha evidenziato scarsa coesione tra i componenti e scarsa resistenza alle azioni meccaniche.

Per questo motivo è stata modificata la composizione del legante, dimezzando la concentrazione di cemento bianco e sostituendolo con ugual concentrazione di calce idraulica naturale, senza tuttavia raggiungere livelli prestazionali adeguati. Tali risultati sono principalmente riconducibili alla scarsa compatibilità tra cemento e canapulo e all'elevata porosità del composito in funzione della granulometria dell'aggregato.

Nei successivi campioni sono state utilizzate granulometrie di canapulo da 1 mm, riducendo la porosità del bio-composito e in-

crementando la resistenza meccanica (Arnaud e Gourlay, 2012), con una matrice costituita esclusivamente da calce idraulica. La nuova composizione non ha risolto, tuttavia, i problemi di coesione tra legante e aggregati vegetali. Per questo motivo si è scelto di introdurre calce aerea in quantità doppia rispetto a quella idraulica, con un duplice beneficio: l'utilizzo di un materiale prodotto in loco e gli effetti di volano termico e controllo dell'umidità determinati dalle capacità igroscopiche e di traspirabilità del legante aereo. Il campione realizzato con calce aerea ha mostrato adeguati livelli di stabilità morfologica e di traspirabilità.

La seconda fase di sperimentazione ha affrontato la verifica delle prestazioni di comfort indoor (impermeabilità ai liquidi e ai fluidi aeriformi). La ricerca è stata orientata all'individuazione di trattamenti idrofobi del bio-composito, attraverso l'impiego di prodotti idrorepellenti sia sulla superficie, che nell'impasto. Le verifiche di laboratorio sui film impermeabilizzanti dei provini hanno confermato alti livelli di impermeabilità ai liquidi e di permeabilità al vapore acqueo. Tuttavia, tale soluzione richiede un significativo incremento della frequenza degli interventi manutentivi, con elevati costi di esercizio.

Pertanto, è stato vagliato l'impiego di idrorepellenti naturali nell'impasto: recenti studi sull'utilizzo di malte idrofobiche a base di calce, addizionate con olii vegetali (Fang et al., 2014; Nunes e Slížková, 2014), hanno orientato la sperimentazione verso l'uso di olii della filiera alimentare (Beracca e Fichera, 2013) e, in particolare, di olii esausti da cucina da riciclare (Pahlavan, 2017). I campioni (calce aerea ed idraulica, aggregati di granulometria differente di canapulo, acqua) sono addizionati con due diversi tipi di olii esausti (olio alto-oleico e olio alto-linoleico), in differenti percentuali nell'impasto (1,5% e 13%), per valutarne il

Benfratello et al., 2013) that along with the complex of mineral binders and water, constitute the hemp conglomerate (Fig. 5).

In the first phase of experimentation, the performance about morphological stability was tested in the models. Some samples of this biocomposite were carried out in order to define the dosage of its components according to the requirements. Vegetable aggregates used in this phase are represented by hemp shive – with two different granulometries – and fibre. In order to ensure cohesion, hydraulic binders were used (white cement and hydraulic lime NHL 3.5) and air lime.

With the first two samples, only 3.5-mm granulometry shive was used. The first sample, constituted by shive, cement, water, and reinforced with hemp fibre, proved poor cohesion among its components and poor resistance to

mechanical actions.

For this reason, the binder composition was modified, putting half the concentration of cement, while the other half was natural hydraulic lime; however, the performance level was not appropriate. Such results are mainly caused by the poor compatibility between cement and shive and the high porosity of the composite according to the aggregate's granulometry.

In the following samples, 1-mm shive was used, reducing the biocomposite's porosity and increasing mechanical resistance (Arnaud and Gourlay, 2012), with a matrix constituted only by hydraulic lime. The new composition, however, did not solve the cohesion issues between binder and vegetable aggregates. For this reason, it was chosen to use the double amount of air lime compared to hydraulic lime, with a double benefit: the use of a material

produced locally and the positive effects in controlling temperature and humidity, determined by hygroscopic abilities and transpirability of the air binder. The sample carried out with air lime showed appropriate levels of morphological stability and transpirability. The second testing phase dealt with the verification of indoor comfort performances (impermeability to liquids and gaseous fluids). The research was aimed at finding some hydrophobic treatments for the biocomposite, through water-repellent products used both on surface and in the mixture. Lab verification on water-proof films of the models have confirmed the high level of impermeability to liquids and permeability to water vapour. However, such a solution requires a significant increase in the frequency of maintenance works, causing a high running cost.

Therefore, the use of natural water-repellent substances in the mixture was tested: recent studies on the use of lime-based hydrophobic mortar, with the addition of vegetable oils (Fang et al., 2014; Nunes and Slížková, 2014), have directed testing towards the use of oils derived from the food production chain (Beracca and Fichera, 2013) and, in particular, waste oils from cooking to be recycled (Pahlavan, 2017).

The samples (air and hydraulic lime, aggregates with shive in different granulometry, water) are added with two different types of waste oil (high oleic oil and high linoleic oil), with different percentages in the mixture (1.5% and 13%), in order to evaluate their hydrophobic degrees. Verifications on such samples are still ongoing, but the hydrophobic degrees acquired by the biocomposite look promising, without any significant alteration of mechanical properties.

grado di idrofobicità. Le verifiche su tali campioni sono tuttora in corso, ma promettenti risultano i livelli idrofobici acquisiti dal bio-composito, senza significative alterazioni delle proprietà meccaniche.

Conclusioni

La “rigenerazione” è un progetto complesso, multiscalare, che copre un arco temporale lungo, implicando un concetto fondamentale: quello della “continuità”. Si intende, infatti, non solo far rinascere a nuova vita i luoghi, ma anche riconnettere le potenzialità in essere in un processo virtuoso, che ricostruisca relazioni tra qualità, risorse e identità del territorio, individuando tra le opportunità dell’ambiente (*strategic fit*) gli elementi trainanti per la sperimentazione e l’innovazione produttiva, sociale e culturale. L’innovazione conseguita attraverso la sperimentazione del bio-composito costituisce l’avvio di percorsi di progettazione a diverse scale:

- il progetto dell’interazione tra i soggetti coinvolti e, in particolare, del ruolo dell’Università nei processi di rigenerazione territoriale fondati sulla costruzione di una nuova Società della Conoscenza;
- il progetto dell’integrazione tra le filiere produttive (agricola, alimentare, industriale ed edilizia), che determina la fattibilità del processo di riconversione dell’area industriale e conferisce competitività al nuovo prodotto;
- il progetto del suo uso nel recupero, nella manutenzione e nella nuova costruzione (per strutture temporanee e permanenti), che richiede il dialogo con sistemi costruttivi e tecnologie della tradizione e offre l’opportunità di creare nuovi linguaggi architettonici;

Conclusions

Regeneration is a complex project, on a multiple scale, that occupies a long period of time, implying a fundamental concept: continuity. The aim is, as a matter of fact, to give a new life to some places but also reconnect the potentials within those places in a virtuous process, that should rebuild high-quality relationships, resources and identity in a territory, identifying among local opportunities those elements which could boost experimentation and product innovation, as well as from a social and cultural point of view. Innovation obtained through the testing of bio-composite represents the start of designing projects on different scales:

- interaction among the involved actors: in particular, University has a key role in the processes of territory regeneration based on the construc-

tion of a new Society of Knowledge;

- the project aimed at integrating production chains (in agriculture, food, industry and building), that determines feasibility of the reconversion process for the industrial sites and provides competitiveness to this new product;
- the project of using through reuse, maintenance and new buildings (for permanent and temporary facilities), that needs to take into account traditional construction systems and technologies and provides the opportunity to create new architectural languages;
- the project of the component that will be carried out with the new bio-composite.

NOTES

¹ The research titled “Sustainable regeneration of urban-industrial ter-

- il progetto del componente che sarà realizzato con il nuovo bio-composito.

NOTE

¹ La ricerca dal titolo “La rigenerazione sostenibile dei territori urbano-industriali: conoscenza, strategie e pratiche”, coordinata dal prof. Marco Navarra, ha coinvolto numerosi settori scientifico-disciplinari. L’articolo illustra il contributo del Laboratorio ManUrba dell’Università degli Studi di Catania. Alla sperimentazione hanno partecipato: il Prof. Vittorio Fiore, la Prof. Stefania De Medici, la Ph.D. Arch. Carla Senia, con la collaborazione del dott. Eros Augello e della Società Cooperativa Guglielmino di Catania per la realizzazione dei provini.

² Per la classe di esigenza Sicurezza, la Comodità d’Uso e Manovra consente di verificare le modalità di messa in opera. Per il Benessere: Impermeabilità ai Liquidi, Impermeabilità ai Fluidi Aeriformi, Tenuta all’Aria, Stabilità Morfologica costituiscono requisiti necessari per tutti gli elementi dell’involucro. Per l’Aspetto e la Gestione si introducono requisiti di nuova definizione relativi alla durata degli esiti architettonici, produttivi e manutentivi (Controllo del Fattore Cromatico, Controllo della Finitura Superficiale, Valenza Architettonica della Texture, Disponibilità sul Mercato, Sostituibilità).

³ Per i dettagli della sperimentazione si rinvia ai report della ricerca FIR 2014, menzionata nella nota 1.

REFERENCES

Ahmad, R., Tehsin, Z., Tanvir Malik, S., Ahmad Asad, S., Shahzad, M., Bilal, M., Maroof Shah, M. and Khan, S.A. (2016), “Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes”, *CLEAN - Soil Air Water*, Vol. 44, No. 2, pp. 195-201.

Arnaud, I. and Gourlay, E. (2012), “Experimental study of parameters influencing technical properties of hemp concretes”, *Construction and Building Materials*, Vol. 28, pp. 50-56.

ritories: knowledge, strategies and practices”, coordinated by Prof. Marco Navarra, has involved many scientific-disciplinary sectors. The article illustrates the contribution provided by lab ManUrba of the University of Catania. To the experimentation have also participated: Prof. Vittorio Fiore, Prof. Stefania De Medici, Ph.D. Architect Carla Senia, with the collaboration of Mr. Eros Augello and the company Società Cooperativa Guglielmino from Catania for the construction of models.

² As of the need class of Safety, Comfort of Use and Manoeuvring allows to verify the installation modes. As of the need class of Comfort: Impermeability to liquids, Impermeability to Gaseous Fluids, Resistance to air, Morphological Stability all constitute necessary requirements for all elements of the casing. As of the need class of Aspect

and Management, newly-defined requirements are introduced and related to the duration of architecture, production and maintenance results (Control of Chromatic Factor, Control of Surface Finish, Architectural Value of Texture, Availability on the market, Replaceability).

³ The details of the experimentation can be found in the research report FIR 2014, mentioned in note 1.

- Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G. and Sorrentino, G. (2013), "Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite", *Construction and Building Materials*, Vol. 48, pp. 745-754.
- Beracca, F. and Fichera, C.R. (2013), "Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation", *Energy Build.*, Vol. 62, pp. 507-513.
- Capuano, A. (2014), *Paesaggi di rovine, paesaggi rovinati*, Quodlibet Studio, Macerata.
- Cérézo, V. (2005), "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique", Ph.D. thesis, MEGA INSA de Lyon.
- Dioguardi, G. (2007), *Le imprese rete*, Bollati Boringhieri, Turin.
- Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y. and Goudet, L. (2008), "Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hempcrete") manufactured by a projection process", *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 2116-23.
- Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000), "The dynamics of innovation: From national systems and "mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations", *Research Policy*, Vol. 29, No. 2, pp. 109-123.
- Fang S., Zhang, B. and Li, G. (2014), "A study of Tung oil lime putty: a traditional lime based mortar", *Int. J. Adhes*, Vol. 48, pp. 224-230.
- Florentin, Y., Pearlmutter, D., Givoni, B. and GalJacob, E. (2017), "A life-cycle energy and carbon analysis of hemp-lime bio-composite building materials", *Energy and Buildings*, Vol. 156, pp. 293-305.
- Freeman, J.L., Persans, M.W., Nieman, K., Albrecht, C., Peer, W., Pickering, I.J. and Salt, D.E. (2004), "Increased glutathione biosynthesis plays a role in nickel tolerance in *Thlaspi nickel hyperaccumulators*", *Plant Cell*, Vol. 16, pp. 2176-2191.
- Gangemi, V. (1988), *Architettura e tecnologia appropriata*, FrancoAngeli, Milan.
- Glé, P., Gourdon, E. and Arnaud, L. (2011), "Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity", *Appl Acoust*, Vol. 72, pp. 249-59.
- Linger, P., Mussig, J., Fischer, H. and Kobert, J. (2002), "Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential", *Ind. Crop. Prod.*, Vol. 16, pp. 33-42.
- Nunes, C. and Slízková, Z. (2014), "Hydrophobic lime based mortars with linseed oil: characterization and durability assessment", *Cem. Concr. Res.*, Vol. 61-62, pp. 28-39.
- Pahlavan, P., Manzi, S., Rodriguez-Estrada, M.R. and Bignozzi, M.C. (2017), "Valorization of spent cooking oils in hydrophobic waste-based lime mortars for restorative rendering applications", *Construction and Building Materials*, Vol. 146, pp. 199-209.
- Pellicelli, G. (2005), *Strategie d'impresa*, Egea, Milan.
- Porter, M.E. (1985), *Competitive Advantage*, The Free Press, Boston, MA, USA.
- Ranga, M. and Etzkowitz, H. (2013), "Triple Helix Systems: An Analytical Framework for Innovation Policy and Practice in the Knowledge Society", *Industry and Higher Education*, Vol. 27, No. 4, pp. 237-262.
- Ringland, G. (1998), *Scenario Planning. Managing for the Future*, Wiley, New York, USA.
- Tran Le, A.D., Maalouf, C., Mai, T.H., Wurtz, E. and Collet, F. (2010), "Transient hygrothermal behaviour of a hemp concrete building envelope", *Energy Build*, Vol. 42, pp. 1797-1806.

Roberto Giordano^a, Francesca Thiebat^a, Valentina Serra^b, Ema Madalina Budau^a,

^aDipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

^bDipartimento Energia, Politecnico di Torino, Italia

roberto.giordano@polito.it

francesca.thiebat@polito.it

valentina.serra@polito.it

Abstract. L'articolo intende porre in evidenza come costruire in condizioni ambientali eccezionali (ad es. cantieri inaccessibili ai mezzi tradizionali, condizioni climatiche particolarmente rigide, ecc.) e ridurre l'impatto ambientale del costruito conducendo all'adeguamento delle tecniche costruttive, attraverso applicazioni di materiali, anche tradizionali, ma resi più performanti da processi di produzione fuori opera e in opera particolarmente innovativi. Uno studio Life Cycle Assessment ha permesso di confrontare l'impatto della paglia di riso come materiale costruttivo avente funzione sia portante sia di isolamento, e di confrontare i risultati conseguiti con scenari alternativi caratterizzati da materiali convenzionalmente impiegati in edilizia come la lana di roccia, il laterizio e il cemento armato.

Parole chiave: Life Cycle Assessment; Architettura montana; Paglia di riso; Processo edilizio.

Introduzione

Per definire il contesto di riferimento, ovvero la relazione che intercorre tra architettura e montagna, non si può prescindere dai vincoli che un progetto ad alta quota, fin dalle antiche origini, deve affrontare: la protezione dalla natura e la razionalizzazione delle operazioni di cantiere e di utilizzo.

Fin dal 1750, a partire dalla costruzione dei primi rifugi alpini, le tecniche costruttive e i materiali da adottare in cantieri straordinari, difficilmente accessibili e strettamente connessi alle condizioni climatiche, hanno portato a privilegiare morfologie elementari basate su sistemi standardizzati. Una sorta di prefabbricazione con assemblaggio in opera: in officina, si progettano e si realizzano i componenti e in situ si assemblano (Gibello, 2011).

Per quanto attiene, invece, i temi di salvaguardia dell'ambiente, che vanno di pari passo con una crescente preoccupazione sull'antropizzazione dello spazio alpino, essi trovano una prima

Integrated assessment
methods applied to
the materials of a high-
altitude building

Abstract. The article intends to highlight how building in exceptional environmental conditions (e.g. sites inaccessible to traditional vehicles, particularly harsh climate conditions, etc.) and reducing the environmental impact of the built environment lead to the adjustment of construction techniques, through applications of materials, even traditional, but made more efficient by innovative offsite and onsite production processes. A Life Cycle Assessment study has enabled to compare the impact of rice-based straw bale as a building material having both a load-bearing and insulation function, and to compare the results achieved with alternative scenarios characterised by materials conventionally used in construction, such as rock wool and concrete and masonry.

Keywords: Life Cycle Assessment; Mountain architecture; Rice-based straw bale; Building process.

forma di regolamentazione nel 1991 con la Convenzione delle Alpi¹.

Non ultime anche le Direttive Europee, come la UE 2010/31 UE e il Regolamento Prodotti da Costruzione (UE) N. 305/2011 che vincolano le scelte di progetto e costruzione, rendendo necessario l'uso di materiali certificati, il contenimento dei fabbisogni di energia primaria, la gestione controllata e lo smaltimento dei rifiuti speciali, ecc.

Il sistema normativo a livello europeo negli ultimi decenni ha contribuito alla crescente diffusione di edifici energeticamente autonomi in fase d'uso. Al diminuire del fabbisogno energetico della fase operativa, la quota di energia necessaria per le fasi di approvvigionamento dei materiali, produzione dei componenti e assemblaggio in opera, acquisisce un'importanza sempre maggiore in termini di impatto globale (Giordano et al., 2017).

In tale contesto la caratterizzazione dei requisiti di ecocompatibilità, tecnici e morfologici del progetto è stata oggetto di un'attività di ricerca il cui obiettivo principale è la valutazione dell'impatto tecnologico e ambientale di un edificio residenziale costruito in alta montagna impiegando come materiale principale la paglia di riso.

L'edificio è stato sottoposto a ristrutturazione e ampliamento da parte dell'arch. Tiziana Monterisi ed è localizzato a Chamois (AO), un comune a 1815 metri s.l.m. non accessibile alle auto e raggiungibile esclusivamente a piedi, in funivia o in elicottero (Fig. 1).

Al team di ricerca interdisciplinare è stato chiesto di valutare in modo sinergico i condizionamenti imputabili ai limiti temporali e operativi delle attività di cantiere e alle modalità di gestione

Introduction

To define the relevant context, or the relationship between architecture and the mountains, it is important to focus on the constraints that a high altitude design, from its ancient origins, must address: on one side, protection from nature and, on the other, the rationalisation of construction and use operations. Since 1750, from the construction of the first alpine lodges, construction techniques and the materials to be used in extraordinary sites, difficult to access and closely connected to climate conditions, led to favouring morphological elements based upon standardised systems. This was a sort of pre-fabrication with onsite assembly: downstream, in the workshop, the components were designed and created and they were assembled in situ (Gibello, 2011).

As regards, on the other hand, environmental protection issues, which go

hand in hand with the growing concern regarding the anthropisation of the Alpine space, these found an initial form of regulation in 1991 with the Alpine Convention¹.

In addition, the European Directives, particularly EU 2010/31 and the Construction Products Regulation (EU) no. 305/2011, restrict design and construction decisions, requiring the use of certified materials, the containment of primary energy requirements, controlled management and disposal of special waste, etc.

The regulatory system at European level in recent decades has contributed to the growing dissemination of energy-independent buildings in the use stage. As the energy requirement of the operating stage reduces, the energy contribution of the stages of materials procurement, component production and assembly in situ acquire increasing

del processo operativo e manutentivo con gli effetti ambientali connessi all'uso di materie prime rinnovabili come legno, paglia e altri materiali di origine vegetale.

Il caso studio diventa così paradigma di un approccio scientifico, replicabile in contesti che presentano altrettante caratteristiche di complessità geografica, costruttiva e temporale, volto a correlare i requisiti connotanti gli edifici costruiti in luoghi estremi con requisiti di tipo energetico ambientale (Fig. 2).

Metodi e strumenti per valutare le prestazioni tecnologiche e di ecocompatibilità dei materiali

I criteri adottati nello stabilire quali fossero i materiali a minor impatto ambientale non si sono dunque limitati a uno studio "tradizionale" Life Cycle Assessment (LCA), prevalentemente

focalizzato sulle fasi di produzione fuori opera secondo un approccio cradle-to-gate (UNI EN ISO 14040). L'importanza attribuita alla fase di costruzione, manutenzione, nonché la rilevanza attribuita alla capacità dei materiali di offrire prestazioni termiche idonee alle condizioni climatiche del luogo ha richiesto di valutare l'ecocompatibilità degli stessi secondo un approccio autenticamente orientato al ciclo di vita, valutando l'impatto energetico e ambientale dell'intero processo edilizio e, di conseguenza, sviluppando un metodo capace di correlare simultaneamente requisiti di differente natura. Ciò ha richiesto di caratterizzare le diverse categorie di impatto energetico ambientale attraverso strumenti di normazione (UNI EN 15978:2011) e di modellazione, anche di tipo informatico, appropriati.

Le fasi di produzione fuori opera, di produzione in opera e di manutenzione e i potenziali scenari di fine vita sono stati oggetto

di caratterizzazione energetica-ambientale attraverso la raccolta di dati diretti e l'impiego di dati indiretti.

In particolare l'analisi dei processi e la successiva valutazione è stata condotta utilizzando in modo sinergico tre strumenti: eToolLCD* un open-source LCA software; SimaPro V. 8.2.3 un software di modellazione LCA dei flussi di input e output e di valutazione di alcune categorie di effetti ambientali; IREEA (Initial and Recurring Embodied Energy Assessment) un foglio di calcolo, sviluppato dal gruppo di ricerca del DAD, per valutare il contenuto di energia primaria da fonti rinnovabili e da fonti fossili in alcune fasi del ciclo di vita di un edificio e il corrispondente indice di rinnovabilità.

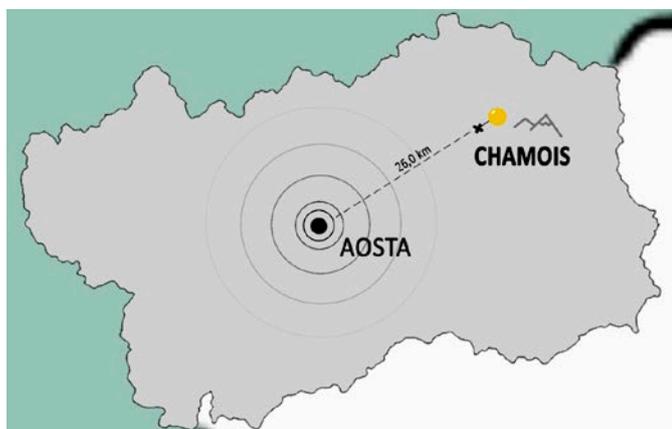
In modo analogo lo studio della fase di d'uso si è basato sull'impiego di dati ricavati dalle schede tecniche dei prodotti e raccolti in fase di costruzione e da dati elaborati da un foglio di calcolo elaborato dal gruppo di ricerca del DENERG in conformità alle specifiche tecniche normative (UNI/TS 11300: 2014).

La "filiera" dell'edificio di Chamois

Coerentemente agli obiettivi dichiarati e alla metodologia adottata, si è proceduto alla

delineazione della filiera dell'edificio, con l'intenzione di classificare per parti definite il ciclo di vita dell'edificio, analizzarne i flussi, valutarne gli impatti ambientali e rendere possibile una comparazione fase per fase con soluzioni progettuali alternative. Tale filiera include le attività produttive primarie e di trasformazione e distribuzione dei prodotti.

L'estensione del concetto di filiera dal settore agro-alimentare al settore edilizio nasce, pensando alla casa di Chamois, come un prodotto complesso dove il sistema delle chiusure e delle parti-



01 | Sito di progetto (sx) e trasporto dei pannelli (dx), foto Studio Tiziana Monterisi
Project site (left) and transportation of the closures (right), image Studio Tiziana Monterisi

THE EXISTING BUILDING



YEAR OF CONSTRUCTION:	1854
USABLE FLOOR AREA:	117 m²
GROSS FLOOR AREA:	176 m²
BEARING STRUCTURE:	STONE SUPPORTING STRUCTURE, WOODEN FLOORS & ROOF
WINDOWS:	WOOD & IRON (NO GLAZING)

THE BUILDING IN PROJECT



YEAR OF CONSTRUCTION:	2016-2017
USABLE FLOOR AREA:	140 m²
GROSS FLOOR AREA:	200 m²
BEARING STRUCTURE:	PREFABRICATED FRAMES IN WOOD & RICE STRAW, LAMINATED WOOD BEAMS, PILLARS & PANELS, REINFORCED CONCRETE FOUNDATION
WINDOWS:	LOW-EMISSIVITY TRIPLE GLAZING & LAMINATED

importance in terms of global impact (Giordano et al., 2017).

In that context, the characterisation of the eco-compatibility, technical and morphological requirements of the design has been subject to research activity whose main aim is to assess the technological and environmental impact of a residential building built at high altitude using as its main material rice-based straw bale.

The building was subjected to redevelopment and expansion by the architect Tiziana Monterisi and is located in Chamois (AO) a town located 1815 metres above sea level not accessible by car and only accessible on foot, by cable car or by helicopter (Fig. 1).

The interdisciplinary research team was asked to assess in synergy the influences attributable to temporal and operational limits of the site activities and the methods of managing the

operational and maintenance project (for example: limitation of requirements, self-production, accumulation and storage systems, etc.) with the environmental effects related to the use of renewable raw materials, such as wood, straw and other materials of plant origin.

The case study thus becomes a paradigm of a scientific approach, replicable in contexts that present similar characteristics of geographical, construction and temporal complexity, aimed at correlating the requirements connoting buildings constructed in extreme locations with requirements of environmental energy nature (Fig. 2).

Methods and tools for assessing the technological performances and eco-compatibility of the materials

The criteria adopted in establishing which materials have the lowest envi-

ronmental impact were not, therefore, limited to a "traditional" Life Cycle Assessment (LCA) study, mainly focused on the offsite production stages and classified in accordance with UNI EN ISO 14040 as a cradle-to-gate approach. The importance attributed to the construction and maintenance stages as well as the significance attributed to the capacity of the materials to offer thermal performances suited to the climate conditions of the location required the assessment of the eco-compatibility of the same according to an approach authentically oriented to the life-cycle, assessing the environmental energy impact of the entire building process and, as a result, developing a method capable of correlating simultaneously requirements of different nature. This required the characterisation of different categories of environmental energy impact

through appropriate standardisation instruments (UNI EN 15978:2011) and modelling tools, also of IT nature. The offsite production, onsite production and maintenance stages, as well as the potential end-of-life scenarios were subject to energy-environmental characterisation through the collection of direct data and the use of indirect data, taken from databases and simulation software.

In particular, the analysis of the processes and subsequent assessment was conducted using in a synergic manner three tools: eToolLCD * an open-source, LCA software; SimaPro V. 8.2.3 LCA modelling software of input flows (material and energy resources) and output flows (emissions into the air, water and waste) and assessment of some categories of environmental effects; IREEA (Initial and Recurring Embodied Energy Assessment)

zioni e il sistema degli impianti concorrono in modo coordinato al soddisfacimento di un quadro esigenziale articolato, definito nella fase di progettazione.

Tale approccio si basa sull'identificabilità degli elementi e componenti edilizi e impiantistici che compongono la "filiera dell'edificio"² al fine di quantificare gli impatti associati a ciascun elemento e all'edificio nel suo insieme (Thiebat, 2013; El Khouli et al., 2015).

Fasi del ciclo di vita

L'edificio esistente, in stato di grave deterioramento dal punto di vista statico, è stato oggetto di demolizione e ricostruzione. La nuova struttura, in coerenza con il quadro esigenziale specifico del costruire ad alta quota, è stata pensata per minimizzare le operazioni di cantiere in situ e mantenere una forte coerenza con i materiali tipici del luogo. L'edificio è costituito da fondazioni in cemento armato, una struttura portante a telai prefabbricati in legno e paglia di riso combinata con travi e pilastri in legno lamellare, contro pareti interne in lana di pecora e fibra di legno rivestite con lastre di argilla intonacate con argilla proveniente da cave locali e muratura esterna in pietra di recupero dalla demolizione del rudere preesistente. Il lavoro di prefabbricazione dei telai è consistito principalmente nell'assemblaggio di montanti e traversi in legno KVH, nel riempimento degli stessi con balle in paglia compressa e nel successivo fissaggio delle tavole di abete grezzo per la controventatura dei telai; la fase di montaggio in opera ha previsto unicamente l'impiego di connessioni di tipo metallico.

I trasporti dei materiali sono avvenuti via terra e tramite l'uso della funivia. Per gli elementi prefabbricati, le travi, i pilastri e i serramenti è stato necessario inoltre l'uso dell'elicottero dal paese de La Magdeleine al sito di progetto.

a calculation sheet, developed by the DAD research group, through which to assess the primary energy content from renewable sources and from fossil sources in some lifecycle stages of a building and the corresponding renewability index.

Similarly, the study of the use stage was based upon data taken from the technical data sheets of the products and collected in the construction stage and data developed from a calculation sheet drawn up by the DENERG research group in conformity with regulatory technical specifications (UNI/TS 11300: 2014).

The "supply chain" of the Chamois building

Coherently with the declared objectives and the methodology adopted, the supply chain of the building was outlined, with the intention of clas-

sifying by defined parts the lifecycle of the building, analysing its flows (input-output), assessing its environmental impacts and enabling a phase-by-phase comparison with alternative design solutions. It includes the primary production activities and transformation and distribution of products and it can be transferred from the agro-food sector also to the construction industry.

The extension of the supply chain concept applied to the building arises when thinking of the Chamois house as a complex product where the system of closures and partitions and the set of systems contribute in a coordinated manner to satisfying a complex and articulated framework of requirements defined in the design stage.

That approach is based upon the identification of the building and plant elements and components that make up

Per la fase d'uso, date le particolari condizioni climatiche del sito, non si è ritenuta necessaria l'inclusione di sistemi per la ventilazione e il raffrescamento, già garantiti dai serramenti apribili e dall'elevata inerzia termica delle strutture. Lo studio si è quindi focalizzato sulla determinazione del fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS). In accordo con le norme UNI TS serie 11300 è stato quantificato il fabbisogno energetico primario per la climatizzazione invernale dell'edificio (21 kWh/m²anno) con un generatore a biomassa e il fabbisogno di energia utile per ACS (20 kWh/m² anno) prodotta da un boiler elettrico alimentato da impianto fotovoltaico.

La vita utile dell'edificio è stata stimata inizialmente di 50 anni, come raccomandato da diversi studi e norme (NTC, 2018). In un secondo tempo, considerando la possibilità di estendere la durata dell'edificio nel tempo attraverso interventi di manutenzione, sono stati ipotizzati altri due scenari di 70 e 100 anni.

Nella fase di manutenzione, per ciascun materiale, sono stati stimati i valori di durata prevista, la tipologia di interventi, l'intervallo di manutenzione e l'eventuale trasporto di attrezzatura e materiali. Tali valori sono stati ricavati da manuali e casi studio (Molinari 2002, Albano J-R. 2008).

Nella fase di smaltimento e demolizione, per ciascun materiale è stato considerato lo scenario più sostenibile dal punto di vista ambientale.

Confronto tra casi studio

Due scenari di progetto alternativi sono stati analizzati al fine di confrontare il progetto in paglia e legno con soluzioni tecno-

the "supply chain of the building"² in order to quantify the impacts associated with each element and the building as a whole (Thiebat, 2013; El Khouli et al., 2015).

Life cycle stages

The existing building, in a state of severe deterioration from the static perspective, has been demolished and reconstructed. The new structure, in coherence with the specific framework of requirements of building at high-altitude, was designed to minimise the site operations in situ and to maintain strong coherence with the typical materials of the location. The building is constituted by foundations made from reinforced concrete laid in situ, a load-bearing structure with prefabricated wood and rice-based straw bale frames and plywood pillars, against internal walls in sheep's wool and wood fibre

covered with clay slabs plastered with clay originating from local quarries and exterior recovered stone masonry (originating from the demolition of the previous ruin). The prefabrication work of the frames consisted mainly of assembling the uprights and cross-pieces in KVH wood, filling the same with compressed straw bales and subsequently fixing the raw fir boards for the bracing of the frames; the assembly stage in situ involved only the use of metal type connections.

Materials are transported by land to the cable car station which connects to the town of Chamois. For the prefabricated elements, beams, pillars and window frames, a helicopter also had to be used from the town of La Magdeleine to the project site.

Data of the pre-use stage (off-site production, transportation and construction) were gathered together in inven-

logiche di riferimento più convenzionali. La prima alternativa è caratterizzata da un sistema costruttivo in cemento armato e laterizio e la seconda si basa su un sistema a telai portanti in legno e lana di roccia.

Le tre soluzioni si differenziano per tipologia e materiali della struttura portante e dell'involucro, mentre mantengono lo stesso sistema costruttivo, delle fondazioni, dei rivestimenti e di copertura, e impiantistico. Obiettivo di tale confronto è la definizione dei seguenti parametri di valutazione:

1. prestazioni energetiche;
2. impatti ambientali nel ciclo di vita;
3. tempi di costruzione.

Per quanto riguarda le prestazioni energetiche in fase d'uso, si può evidenziare che nelle tre soluzioni varia il fabbisogno energetico per il riscaldamento a causa della differenza di prestazioni termiche dell'involucro (Fig. 3). La valutazione degli impatti energetici e ambientali sarà illustrata nel paragrafo seguente, mentre per quanto riguarda i tempi di cantiere sono da preferire soluzioni a secco dei telai prefabbricati (legno-paglia e legno-lana di roccia) che eludono tempi di asciugatura in cantiere e accelerano la messa in opera degli elementi.

Valutazioni e Risultati

Lo studio LCA è stato condotto in una prima fase sull'edificio

realizzato a Chamois e in una seconda fase confrontando i risultati con i due scenari di progetto alternativi. Le tabelle 1 e 2 riportano alcune delle caratteristiche principali degli elementi tecnici. La prima riga illustra graficamente l'elemento tecnico; la

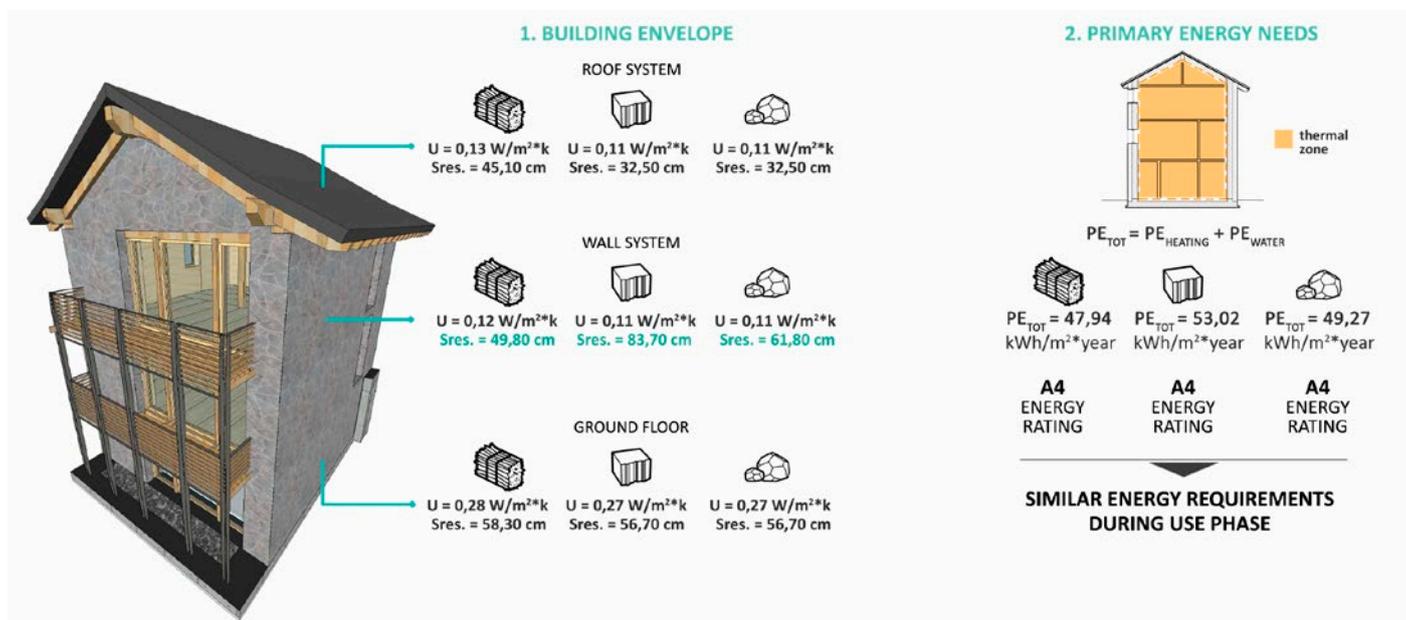
seconda riga definisce i principali materiali che costituiscono la stratigrafia degli elementi tecnici; le righe successive forniscono i dati, elemento per elemento, delle seguenti categorie di impatto ambientale³:

- Embodied Energy e Operational Energy [kWh];
- Abiotic Depletion Potential [kWh];
- Embodied Carbon e Operational Carbon [kg CO₂eq];
- Water footprint [m³].

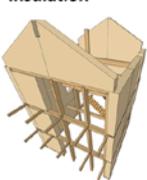
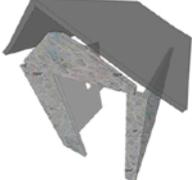
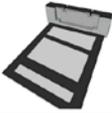
L'utilità di analizzare l'impatto di ciascun elemento e non solo dell'edificio nel suo complesso è da ricondurre alle condizioni specifiche di progetto e di costruzione. Ogni soluzione alternativa è stata analizzata considerando: trasporti, tempi di esecuzione, operazioni di sostituzione e potenziali procedure di dismissione.

L'utilizzo della medesima unità funzionale ha consentito di sommare i singoli contributi e di valutare in fase successiva l'impatto energetico-ambientale dell'intero edificio. La sommatoria dei valori (Fig. 4), ricavati da dati diretti, da banche dati e da software di modellazione, consente di determinare un valore cumulativo di energia primaria (EE + OE), definito BEA. Il BEA è normalizzato rispetto alla superficie utile (140 m²) e in funzione della vita utile dell'edificio (50 anni).

Poiché la quantificazione dell'Embodied Energy (EE) considera il contenuto di energia primaria sia da fonti non rinnovabili sia da rinnovabili e siccome nel caso del legno e della paglia il contenuto di energia primaria da fonti rinnovabili non è da considerare come un impatto negativo in termini di esauribilità delle risorse (Giordano, 2010)⁴, si è proceduto alla determinazione di



Tab. 1 |

Elements	Vertical & external insulation	Inter-storey floors	Roof system	Windows	External cladding	Foundations & retaining wall
						
Materials & components	1) Wooden wall frames 2) Rice straw filling 3) Laminated wood beams and pillars 4) Laminated wood staircase 5) Steel staircase	1) Load-bearing panels in laminated wood	1) Wooden roof frames 2) Rice straw filling 3) Laminated wood beams	1) Laminated wood frames 2) Low-emissivity triple glazing	1) Recovery stone cladding 2) Cement mortar 3) Breathable sheet in PP 4) Fir boards and planks 5) "Spagna" stone slabs	1) Lean concrete 2) Reinforced concrete beams & retaining wall 3) Hot bitumen
Weight [kg]	15.792,00	6.504,40	6.452,00	1.626,00	91.792,70	50.830,75
Embodied Energy [kWh]	4.727,00 straw provided for insulation 124.087,14	8.088,89	1.200,00 straw provided for insulation 60.720,00	10.755,19	177.777,78	28.750,00
Abiotic Depletion Potential (fossil fuels) [kWh]	1.605,46 straw (1,3%) provided for insulation 50.463,67	29.845,11	407,56 straw (0,7%) provided for insulation 23.526,00	7.391,53	158.333,33	28.194,44
Embodied Carbon [kgCO₂eq]	1.526,49 straw (3%) provided for insulation 38.487,00	15.352,00	387,51 straw (1,6%) provided for insulation 11.549,00	8.239,48	54.500,00	20.450,00
Water footprint [m³]	1.192,11 straw (3%) provided for insulation 82,00	35,05	302,63 straw (2,6%) provided for insulation 0,63	15,54	1.231,19	63,00

Tab. 1 | Elementi tecnici dell'edificio legno e paglia di riso e caratterizzazione degli impatti

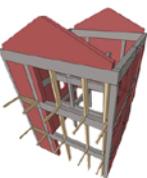
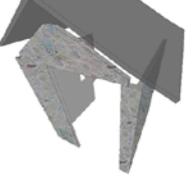
Technical elements of the wood and rice-based straw bale building and characterisation of the impacts

un secondo valore cumulativo che prende in sola considerazione i contributi energetici da fonti fossili: BEA_{NRR} . Dai risultati si deduce che l'Operational Energy (OE) è inferiore al valore di EE totale e al valore di EE iniziale. Analizzando la sola componente da fonti non rinnovabili la differenza tra OE ed EE è ancora più significativa. Per effetto delle specifiche operazioni richieste per la posa di alcuni elementi tecnici, come l'uso dell'elicottero, e poiché si è previsto l'impiego di una quota si-

gnificativa di risorse rinnovabili per la climatizzazione, l' EE_{T+C} risulta di poco superiore al valore di OE. È inoltre interessante analizzare il rapporto tra i valori di BEA e BEA_{FNR} . La quota di risorse rinnovabili impiegate nel ciclo di vita dell'edificio è pari a circa il 55%.

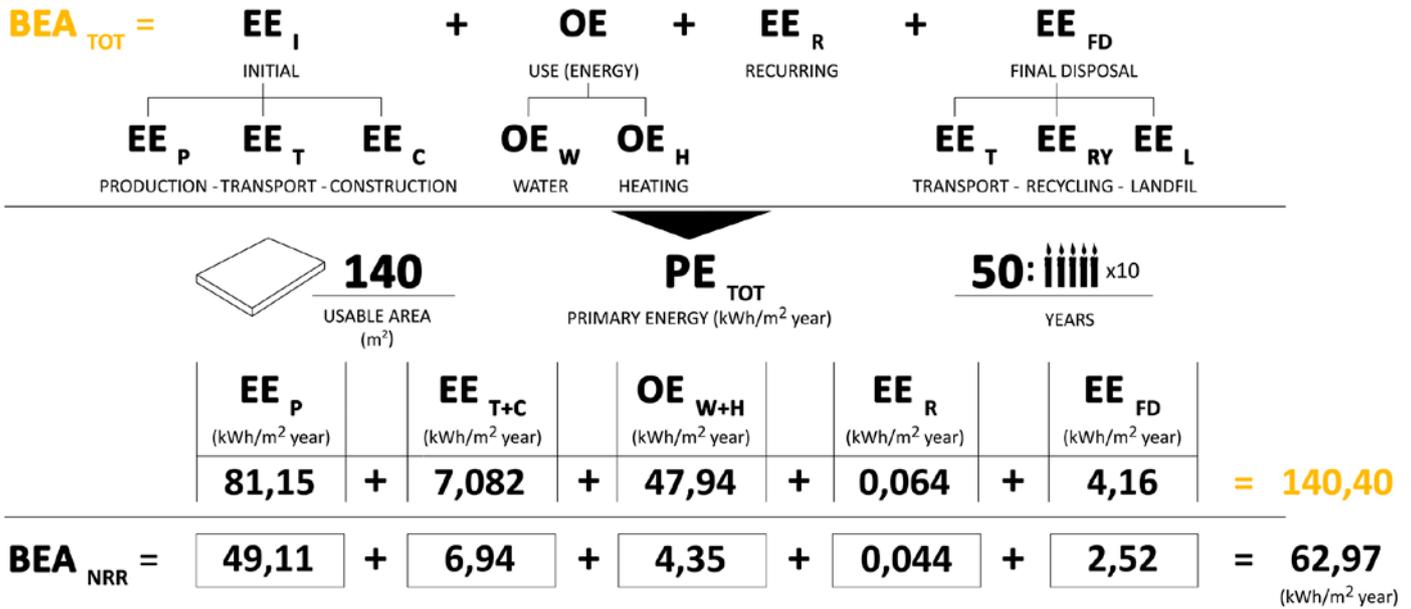
Estendendo l'analisi a uno degli scenari alternativi considerati (edificio in cls armato e laterizio), lo studio restituisce prestazioni energetiche simili, con la sola eccezione delle fasi di tra-

Tab. 2 |

Elements	Vertical structure & external insulation	Inter-storey floors	Roof system	Windows	External cladding	Foundations & retaining wall
						
Materials & components	1) Reinforced concrete beams & pillars 2) Reinforced concrete staircase 3) Brick blocks 4) Outer coat in XPS 5) Wood laminated beams	1) Brick blocks 2) Prestressed concrete joists 3) Concrete castings 4) Electrically welded mesh 5) Laminated wood beams 6) Fir wood planks	1) Laminated wood truss frames 2) Laminated wood beams & pillars 3) Fir wood planks 4) Insulation in XPS	1) Laminated wood frames 2) Low-emissivity triple glazing	1) Recovery stone cladding 2) Cement mortar 3) Breathable sheet in PP 4) Fir boards and planks 5) "Spagna" stone slabs	1) Lean concrete 2) Reinforced concrete beams & retaining wall 3) Hot bitumen
Weight [kg]	119.214,40 1.673,15 XPS provided for insulation	24.952,24	4.862,00	1.626,00	91.792,70	50.830,75
Embodied Energy [kWh]	256.359,00 53.258 XPS (21%) provided for insulation	48.873,00	715,00 XPS provided for insulation 71.965,00	10.755,19	177.777,78	28.750,00
Abiotic Depletion Potential (fossil fuels) [kWh]	226.593,00 50.707 XPS (22%) provided for insulation	33.797,00	40.454,00 21.680 XPS (54%) provided for insulation	7.391,53	158.333,33	28.194,44
Embodied Carbon [kgCO₂eq]	104.605,00 23.016 XPS (22%) provided for insulation	17.567,78	16.559,00 9.919 XPS (60%) provided for insulation	8.239,48	54.500,00	20.450,00
Water footprint [m³]	287,00 155,61 XPS (52%) provided for insulation	47,00	94,35 66,50 XPS (70%) provided for insulation	15,54	1.231,19	63,00

Tab. 2 | Elementi tecnici dell'edificio in cls armato e laterizio e caratterizzazione degli impatti

Technical elements of the building in reinforced concrete and brick blocks and characterisation of the impacts



sporto dei materiali in cantiere e di produzione in opera che nel caso del calcestruzzo e del laterizio è sensibilmente maggiore: EE_P = 80,12 kWh/m²anno; EE_{T+C} = 30,47 kWh/m²anno; OE_{W+H} = 53,02 kWh/m²anno; EE_R = 0,063 kWh/m²anno; EE_{FD} = 3,86 kWh/m²anno. La differenza è più marcata se si confrontano i risultati inerenti la sola quota di contenuto di energia primaria da fonti non rinnovabili. Il rapporto tra BEA e BEA_{NRR} restituisce, infatti, una percentuale di fonti rinnovabili (correlata all'indicatore ADP) inferiore rispetto a quella dell'edificio in legno e paglia di riso, pari al 40%. Considerando, invece, i processi di trasporto e produzione in opera la percentuale di risorse non rinnovabili impiegate per queste fasi raggiunge quasi

l'80%.

Una procedura analoga è stata adottata per la valutazione di un secondo parametro, correlato ai rilasci di anidride carbonica equivalente dell'edificio realizzato in legno e paglia di riso (Fig. 5): il BCA (kgCO_{2eq}/m²anno). L'impatto del processo di trasporto e della fase di produzione fuori opera (EC_{T+C}) è quasi pari al 50% del totale. Ciò è da imputare ai fattori di conversione, che in funzione dei mezzi di trasporto, quantificano i rilasci di diverse sostanze in atmosfera in rilasci di CO₂ eq. Rispetto all'indicatore selezionato è particolarmente significativa la differenza tra la fase d'uso (OC_{W+H}) e le fasi di produzione fuori opera e in opera, di circa 80% delle emissioni equivalenti (EC_P + EC_{T+C}).

tory tables which, for each material, include: quantities, source of direct or indirect data, means of transport and distance, installation time and disposal scenario.

For the use stage, given the particular climate conditions of the site, it was not deemed necessary to include ventilation and cooling systems, as these were already guaranteed by the opening windows and by the high thermal inertia of the structures. The study was therefore focused on determining the energy requirement for winter heating and for the production of domestic hot water (DHW). In accordance with the standards UNI TS series 11300 the primary energy requirement was quantified for the winter heating of the building (21 kWh/m²year) with a biomass generator and the useful energy requirement for DHW (20 kWh/m² year) produced by an electric boiler

powered by a fotovoltaic system.

The service life of the building was initially estimated at 50 years, as recommended by various studies and standards (NTC, 2018). Later, considering the possibility of extending the building lifespan over time through maintenance interventions, another two scenarios of 70 and 100 years were hypothesised.

In the maintenance stage, for each material, the expected duration values were estimated along with the type of interventions, the maintenance interval and any transportation of equipment and materials. Those values were taken from manuals and case studies (Molinari 2002, Albano J-R. 2008).

In the disposal and demolition stage, the most sustainable scenario was considered for each material from the environmental perspective (recycling, energy recovery, disposal in landfill). Similarly to what was done in the

offsite production, construction and maintenance stages, an inventory sheet was also drawn up for the end-of-life stage which indicates, for each material, the quantity and the transportation (type and distance travelled).

Comparison between case studies

Two alternative design scenarios were analysed to compare the design in straw and wood with more conventional technological solutions. The analysis was conducted with the same useful floor area and heated volume and leaving unchanged the orientation and relationship between opaque and transparent surface areas. The first alternative is characterised by a construction system in reinforced concrete and brick and the second is based upon a system of load-bearing frames in wood and rock wool.

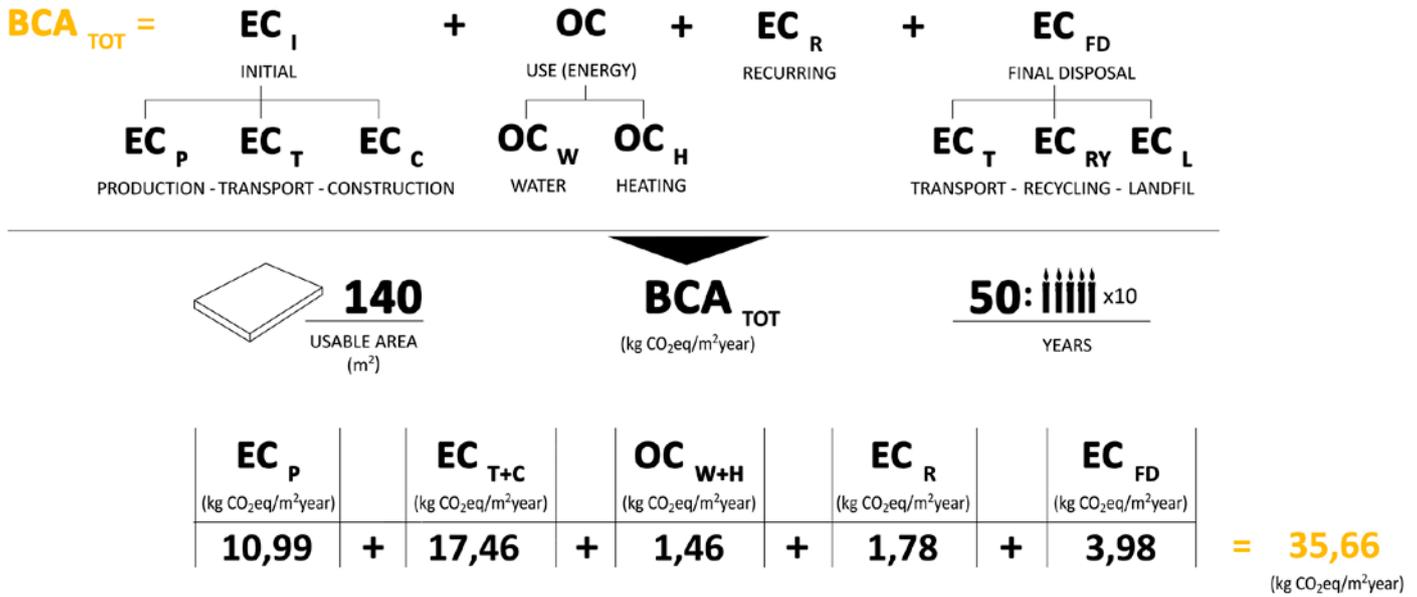
The three solutions differ in terms of

type and materials of the load-bearing structure and the building envelope, while they maintain the same construction system of the foundations, the internal and external cladding and the roof covering. The plant system is also identical for all alternatives.

The aim of that comparison was to define the following assessment parameters:

1. energy performances;
2. environmental impacts in the life cycle;
3. construction times (site duration).

As regards the energy performances in the use stage, it can be highlighted that in the three solutions, the energy requirement varies for heating due to the difference in thermal performances of the building envelope (Fig. 3). The assessment of the energy and environmental impacts in the lifecycle will be illustrated in the following paragraph,



I dati dello scenario di progetto in calcestruzzo e laterizio sono i seguenti: EC_P = 23,40 kgCO_{2eq}/m²anno; EC_{T+C} = 16,00 kgCO_{2eq}/m²anno; OC_{W+H} = 1,47 kgCO_{2eq}/m²anno; EC_R = 1,70 kgCO_{2eq}/m²anno; EC_{FD} = 3,23 kgCO_{2eq}/m²anno. I risultati hanno un andamento simile a quello dell'edificio in legno e paglia di riso, con l'eccezione della fase di produzione in opera cui è associato un impatto superiore. Anche per questo scenario l'impatto della fase d'uso è inferiore ai processi di produzione in opera e fuori opera. La tabella 3, infine, riporta i risultati dei tre scenari. I valori riportati nelle colonne si riferiscono ad alcune categorie di impatto selezionate nello studio LCA, in relazione all'unità funzionale adottata. L'ultima colonna riporta la durata monitorata e stimata

per la posa in opera, in conformità alla tecnica costruttiva analizzata. Si noti che mentre per alcune categorie il valore rimane pressoché costante, per altre, in rapporto ai materiali impiegati, ai processi di trasporto e alle modalità di posa in opera i valori sono sensibilmente differenti. E come evidenziato in precedenza le condizioni del sito di progetto giocano un ruolo significativo e non trascurabile nel definire la portata degli impatti.

Conclusioni

I risultati del lavoro di ricerca conducono ad alcune riflessioni conclusive sul rapporto tra materia, progetto ed ecocompatibilità. In condizioni di progetto particolari, come nel caso di Cha-

while as regards the site timescales, dry construction systems with prefabricated frames are favoured (wood-straw and wood-rock wool) which avoid drying times onsite and accelerate the installation of the elements (overall site duration of 6 months).

Assessments and results

The LCA study was conducted in an initial phase on the building constructed in Chamois and at a later stage by comparing the results with the two alternative design scenarios. Tables 1 and 2 indicate some of the main characteristics of the technical elements. The first line graphically illustrates the technical element; the second line defines the main materials that constitute the stratigraphy of the technical elements; the subsequent lines provide the details, element by element, of the following environmental impact categories³:

- Embodied Energy and Operational Energy [kWh];
 - Abiotic Depletion Potential [kWh];
 - Embodied Carbon and Operational Carbon [kg CO₂eq];
 - Water footprint [m³].
- The utility of analysing the impact of each element and not only of the building as a whole is attributable to the specific design and construction conditions. In the case of the Chamois building, each alternative solution was analysed and characterised in terms of impact considering: transportation methods, implementation timescales, replacement operations and potential disposal procedure. The use of the same functional unit in the inventory and environmental impact assessment stages allowed for the individual contributions to be added together and to assess at a later stage the energy-environmental impact of

the entire building. In the case, for example, of the flow chart in Fig. 4, it illustrates the way in which the "items" are quantified which define the energy balance of the building. The sum of the values, taken from direct data, from databases and from modelling software, allows for a cumulative value of primary energy to be determined - Embodied Energy (EE) + Operational Energy (OE) - defined as: Building Energy Analysis (BEA). The BEA is normalised with respect to the useful surface area (140 m²) and based upon the useful life of the building (50 years). Since the quantification of the EE considers both the primary energy content from non-renewable sources and the primary energy content from renewable sources and since in the case of wood and straw the primary energy content from renewable sources is not

to be considered as a negative impact in terms of depletion of resources (Giordano, 2010)⁴, a second cumulative value was determined which only considers the energy contributions from fossil fuels: Building Energy Analysis from Non Renewable Resources (BEA_{NRR}). Based upon the analysis and assessment tools adopted and in relation to the type of data subject to processing, it is deduced that the OE is less than the total value of EE and the initial value of EE. Analysing only the component from non-renewable sources, the difference between OE and EE is even more significant. By virtue of the specific operations required for the installation of some technical elements, which required the use of extraordinary means such as the helicopter, and since the use of a significant portion of renewable resources

Tab. 3 | Confronto tra le categorie di impatto degli scenari di progetto
 Comparison between the impact categories of the project scenarios

| Tab. 3

	 OE	 EE	 OC	 EC	 H₂O_{USE}	 H₂O_{INITIAL+E.O.F.}	 TIME_{CONSTRUCT.}
Scenario 1 	47,94 kWh/m ² year	92,46 kWh/m ² year	1,46 kgCO ₂ /m ² year	34,20 kgCO ₂ /m ² year	0,037 m ³ /m ² year	0,28 m ³ /m ² year	6 months
Scenario 4 	53,02 kWh/m ² year	114,49 kWh/m ² year	1,47 kgCO ₂ /m ² year	44,31 kgCO ₂ /m ² year	0,037 m ³ /m ² year	0,32 m ³ /m ² year	9 months
Scenario 7 	49,27 kWh/m ² year	109,90 kWh/m ² year	1,46 kgCO ₂ /m ² year	34,93 kgCO ₂ /m ² year	0,037 m ³ /m ² year	0,29 m ³ /m ² year	7 months

LEGEND

- Operational Energy
- Embodied Energy
- Operational Carbon
- Embodied Carbon
- Water footprint (use)
- Water footprint (initial + end of life)
- Total duration of construction works

mois, i materiali assumono ancora un ruolo fondamentale, pur in un contesto culturale dove la dimensione fisica del costruito sembra aver assunto una dimensione ancillare rispetto agli elementi immateriali del progetto. I materiali utilizzati nell'edificio sono il risultato di un processo di selezione nel quale è stato necessario mediare istanze di natura tecnica, formale e ambientale. Fibre naturali e di antica origine sono state oggetto di trasformazione e, per alcuni aspetti, portate a una produzione di tipo seriale e industriale, in modo da garantire la posa in opera con tecniche costruttive non convenzionali. Tali soluzioni sono, allo stesso tempo, in grado di concorrere al rispetto di esigenze paesaggistiche senza cadere in trappole "in stile", che non appartengono alla cultura architettonica contemporanea. Infine, le loro peculiarità sul piano energetico e ambientale ha consentito di

is planned for the heating, the EE_{T+C} is slightly higher than the OE value. It is also interesting to analyse the ratio between the values of BEA and BEA_{FNR} . The share of renewable resources used in the building lifecycle amounts to about 55%. Extending the analysis to one of the alternative scenarios considered, in particular that relating to the building design in reinforced concrete and brick, the study identifies energy performances similar to those of the building in wood and rice-based straw bales, with the sole exception of the transportation stages of the materials onsite and production onsite which, in the case of concrete and brick, is significantly higher (site duration 9 months): $EE_p = 80.12$ kWh/m²year; $EE_{T+C} = 30.47$ kWh/m²year; $OE_{W+H} = 53.02$ kWh/m²year; $EE_r = 0.063$ kWh/m²year; $EE_{FD} = 3.86$ kWh/m²year. The

difference is more marked when comparing the results relating to only the share of primary energy content from non-renewable sources. The ratio between BEA and BEA_{FNR} identified, in fact, a percentage of renewable sources (correlated to the indicator ADP) lower than that of the building in wood and rice-based straw bales, equal to 40%. Considering, on the other hand, the transportation and production onsite processes, the percentage of non-renewable resources used for these stages reaches almost 80%. A similar procedure was adopted for the assessment of a second parameter, related to the equivalent carbon dioxide emissions of the building constructed in wood and rice-based straw bales (Fig. 5): the Building Carbon Analysis (BCA - kgCO_{2eq}/m²year). The impact of the transportation process and the offsite production stage

limitarne l'impatto che, secondo alcuni indicatori ambientali, non è affatto trascurabile.

In riferimento alla valutazione dell'ecocompatibilità, l'aver contemplato tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, non solo ha consentito di definire i processi più significativi, ma ha evidenziato come questi non appartengano a fasi convenzionalmente analizzate da buona parte della letteratura scientifica. Lo studio intende inoltre contribuire alla definizione di una metodologia di analisi e valutazione che potrebbe essere un utile paradigma di riferimento in tutti quei casi dove le condizioni del sito di progetto siano così specifiche da influenzare in modo considerevole le prestazioni che gli elementi tecnici e il sistema degli impianti devono essere in grado di offrire.

Vi sono indubbiamente limiti metodologici strettamente con-

(Embodied Carbon for transport and construction - EC_{T+C}) is almost 50% of the total. This is to be attributed to conversion factors, which based upon the means of transport, quantify the emissions of various substances into the atmosphere into releases of equivalent CO₂. With respect to the selected indicator, the difference between the use stage (Operational Carbon - OC_{W+H}) and the offsite and onsite production stages is particularly significant, to which approximately 80% of the equivalent emissions corresponds ($EC_p + EC_{T+C}$).

The data of the project scenario with the building created in concrete and brick are the following: $EC_p = 23.40$ kgCO_{2eq}/m²year; $EC_{T+C} = 16.00$ kgCO_{2eq}/m²year; $OC_{W+H} = 1.47$ kgCO_{2eq}/m²year; $EC_r = 1.70$ kgCO_{2eq}/m²year; $EC_{FD} = 3.23$ kgCO_{2eq}/m²year. The results have a similar trend to that of the

building in wood and rice-based straw bale, with the exception of the onsite production stage with which a higher impact is associated. Also for this scenario the impact of the use stage is lower than the onsite and offsite production processes.

Table 3, finally, indicates the results of the three scenarios analysed in the research work. The values indicated in the columns refer to some categories of impact selected in the LCA study, in relation to the functional unit adopted. The last column indicates the duration monitored and estimated for the installation onsite, in conformity with the analysed construction technique. It should be noted that while for some categories the value remains largely constant, for others, in relation to the materials use, the transportation processes and the methods of installation onsite, the values are significantly dif-

nessi alle caratteristiche intrinseche di una LCA (facilità di accesso alle informazioni delle fasi del processo edilizio, utilizzo di banche dati internazionali, qualità e quantità dei riferimenti bibliografici), tuttavia la ricerca è stata in grado di costruire un modello dove si è privilegiato un approccio finalizzato alla costruzione di una “libreria” di soluzioni stratigrafiche, valutate lungo il loro ciclo di vita, che a seconda del contesto possono essere sostituite o implementate, in modo da garantire la replicabilità spaziale e temporale del modello stesso.

RICERCHE DI RIFERIMENTO, RILEVANZA DEL TEMA, SOGGETTI COINVOLTI, FINANZIAMENTI

La ricerca è stata condotta in collaborazione con l'arch. Tiziana Monterisi⁵. La raccolta e l'elaborazione dati è avvenuta con il supporto di Novello Case e RiceHouse.

SCHEDA TECNICA DEL PROGETTO

Ristrutturazione e ampliamento di edificio residenziale

Progettista

Studio Tiziana Monterisi Architetto

Località

Chamois (AO)

Committente

Privato

Cronologia

2016-17

ferent. As highlighted above, the conditions of the project site play a significant and non-negligible role in defining the extent of the impacts.

Conclusions

The results of the research work lead to some conclusive reflections on the relationship between materials, project and eco-compatibility. In special design conditions, such as in the case of Chamois, the materials assume an even more fundamental role, albeit in a cultural context where the physical dimension of the built environment appears to have assumed an ancillary dimension with respect to the intangible elements of the design. The materials used in the building are the result of a selection process in which it was necessary to mediate requirements of technical, formal and environmental nature. Natural fibres of ancient origin

were transformed and, for some aspects, transferred to serial and industrial production, so as to guarantee the installation with unconventional construction techniques. Those solutions are, at the same time, able to contribute to respect of landscape requirements without falling into “in style” traps, which do not belong to contemporary architectural culture. Finally, their peculiarities on the level of energy and environment allow for their impact to be limited which, according to some environmental indicators, is not negligible.

In reference to the eco-compatibility assessment, the fact of having contemplated all lifecycle stages of the building not only allows for the most significant processes to be defined but also highlighted how these do not belong to stages conventionally analysed by a good part of scientific literature.

CONTRIBUTO DEGLI AUTORI

La raccolta e l'analisi dei dati, inclusi diagrammi e tabelle, sono stati elaborati da E. Budau con il supporto degli altri autori. Il primo e il terzo capitolo sono da attribuire a F. Thiebat. Il secondo e il sesto a R. Giordano. Il settimo congiuntamente a Giordano e Thiebat. Il quarto e il quinto sono frutto di lavoro collegiale di tutti gli autori.

NOTE

¹ Trattato internazionale sottoscritto dai Paesi alpini (Austria, Francia, Germania, Italia, Liechtenstein, Monaco, Slovenia e Svizzera) e dall'Unione Europea.

² Un approccio di tipo sistemico deve consentire il controllo del tutto attraverso le sue componenti e viceversa, nonché delle interrelazioni che si stabiliscono tra le parti come «un insieme di entità connesse tra loro in modo organizzato» (Ciribini, G. Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione, Celid 1995).

³ Gli indicatori di impatto scelti sono oggetto di particolare attenzione da parte della comunità scientifica, nonché dei policy-makers, in virtù della loro relazione con i cambiamenti climatici, il consumo di risorse energetiche non rinnovabili e il consumo delle risorse idriche.

⁴ Tale valore è da correlare al potere calorifico superiore della biomassa.

⁵ Premio Sostenibilità 2017 (www.settimanabioarchitetturaedomotica.it).

GLOSSARIO/GLOSSARY

OE = *Operational Energy* - fabbisogno di Energia Primaria in fase d'uso dall'edificio

EE = *Embodied Energy* - fabbisogno di Energia Primaria di processo/prodotto nel ciclo di vita

EE_p; EE_t; ... = *Embodied Energy* relativa alle diverse fasi: I (iniziale /initial); P (produzione /production); t (trasporto /transportation); C (costruzione /

The study also intends to contribute to defining an analysis and assessment methodology that could be a useful paradigm of reference in all those cases where the conditions of the project site are so specific as to influence considerably the performances that the technical elements and the set of systems must be able to offer.

There are undoubtedly methodological limitations that are closely connected with the intrinsic characteristics of an LCA (ease of access to information on the building process stages, use of international databases, quality and quantity of bibliographic references); however, the research was able to construct a model which favoured an approach aimed at the construction of a “library” of stratigraphic solutions, assessed throughout their life cycle, which, according to the context, may be replaced or implemented, so as to

guarantee the possibility of spatial and temporal replication of the model itself.

REFERENCE RESEARCH, RELEVANCE OF THE TOPIC, ENTITIES INVOLVED, FUNDING

The research was conducted as part of the collaboration with the architect Tiziana Monterisi, the designer of the residential building in Chamois⁵. The collection and processing of information occurred with the support of the company Novello Case and the company RiceHouse.

construction); W (acqua calda sanitaria /domestic hot water); H (riscaldamento /heating); R (recurring); FD (fine vita /end of life); RY (riciclaggio / recycling); L (discarica /landfill)

EC = *Embodied Carbon* - impatto ambientale associato all'immissione di gas serra in ambiente di processo/prodotto nel ciclo di vita

OC = *Operational Carbon* - impatto ambientale associato all'immissione di gas serra infase d'uso

ADP = *Abiotic Depletion Potential* - impatto ambientale associato all'esaurimento potenziale delle risorse abiotiche terrestri legato al consumo di fonti energetiche fossili

WF = *Water Footprint* - impatto ambientale associato al consumo delle fonti d'acqua

BEA = *Building Energy Analysis* - Fabbisogno di energia primaria complessivo

BEA_{FNR} = *Building Energy Analysis from Non Renewable Resources* - Fabbisogno di energia primaria complessivo da sole fonti non rinnovabili (EE+OE)

BCA = *Building Carbon Analysis* - indicatore di impatto complessivo associato all'immissione di gas serra (EC+OC)

ACS/DHW = *Acqua Calda Sanitaria/Domestic hot water*

REFERENCES

Albano, J.R. (2008), *La manutenzione degli edifici. 250 schede pratiche*, Ed. Italiana a cura di Talamo, C., Sistemi Editoriali, Pozzuoli (NA).

Basbagill, J.P. (2013), *Integration of life cycle assessment and conceptual building design*, Stanford University, USA.

Corum, N. and Goodall, J. (2005), *Building a Straw Bale House: The Red Feather Construction Handbook*, New York, USA.

El khouli, S., John, V. and Zeumer, M. (2015), *Sustainable Construction Techniques*, Detail Green Books Monaco.

Gibello, L. (2011), *Cantieri dalta quota. Breve storia della costruzione dei rifugi sulle Alpi*, Lineadaria, Biella.

TECHNICAL DATA SHEET OF PROJECT

Redevelopment and expansion of residential building

Designer

Studio Tiziana Monterisi Architetto

Location

Chamois (AO)

Client

Private

Chronology

2016-17

CREDITS

Data collection and analysis related to the case study, including diagrams and tables, were developed by E. Budau with the support of the other authors. F. Thiebat wrote the first and third chapters. R. Giordano wrote the second and the sixth. Giordano and Thiebat wrote the seventh jointly. The

fourth and fifth chapters are the result of joint work among all the authors.

NOTES

¹ International treaty signed by the Alpine nations (Austria, France, Germany, Italy, Liechtenstein, Monaco, Slovenia and Switzerland) and the European Union.

² A systemic approach must allow the control of the whole through its components and vice versa, as well as the interrelations that are established among the components themselves as «a set of entities connected to each other in an organized way» (Ciribini, G. *Tecnologia e progetto: argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid 1995).

³ Impact indicators that have been selected are subject to particular attention by the scientific community, as well as the policymakers, by virtue of

Giordano, R., Serra, V., Demaria, E., Duzel, A. (2017), "Embodied Energy Versus Operational Energy in a Nearly Zero Energy Building Case Study", *Energy Procedia*, Vol. 111.

Giordano, R. (2010), *I prodotti per l'edilizia sostenibile*, Sistemi Editoriali, Naples.

Molinari, C. (2002), *La manutenzione come requisito di progetto*, Sistemi Editoriali, Naples.

Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), aggiornamento D.M. 17 gennaio 2018.

Thiébat, F. (2013), "Life-cycle design for sustainable architecture", *Techné Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 5.

their relationship with climate changes, consumption of non-renewable energy resources and consumption of water resources.

⁴ That value is to be correlated to the higher calorific value of the biomass.

⁵ Sustainability Award 2017 (www.settimanabioarchitetturaedomotica.it).

Sviluppo di un prototipo di facciata continua con comportamento dinamico (SmartSkin)

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Luca Guardigli^a, Francesco Della Fornace^a, Oscar Casadei^b, Fabio Frani^b, Luca Nicolini^b, Gian Marco Revel^c, Marco Arnesano^c,

^aAlma-Mater Studiorum, Università degli Studi di Bologna, Italia

^bFocchi S.p.A., Italia

^cDipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche, Università Politecnica delle Marche, Italia

luca.guardigli@unibo.it
francesco.dellaformace@gmail.com
o.casadei@focchi.it
f.frani@focchi.it
gm.revel@staff.univpm.it
m.arnesano@univpm.it

Abstract. L'articolo presenta un progetto di ricerca, frutto di una collaborazione tra Università e società produttrici e di progettazione con esperienza internazionale in facciate continue e sistemi HVAC. La ricerca è consistita nella sperimentazione di una soluzione tecnologica d'involucro evoluto a comportamento dinamico ed alta resa estetica, in grado di rispondere all'influenza di fattori fissi e variabili – esterni ed interni – nel rispetto dei requisiti previsti dalle norme e ad esigenze di flessibilità in fase progettuale e d'uso. L'obiettivo è di ridurre l'energia inglobata nei componenti, ottimizzare l'uso di energia in fase operativa e diminuire i costi di costruzione con la segmentazione impiantistica, l'abbassamento dell'altezza d'interpiano e la velocizzazione della messa in opera.

Parole chiave: Facciata continua dinamica; Componenti *plug&play*; Macchine termiche integrate; Adattivo; Smart.

Introduzione

Le facciate continue o a cortina (*curtain walls*) sono caratterizzate da componenti omogenei relativamente leggeri e metallici, con ampie superfici trasparenti e tipicamente esterni alla struttura portante dell'edificio. Fin dall'inizio del loro impiego, nel XIX secolo, queste facciate sono state determinanti nella caratterizzazione architettonica degli edifici e oggetto di continua innovazione tecnologica (Sinopoli e Tatano, 2002). Negli ultimi anni l'innovazione si è concentrata sul concetto di adattamento alle condizioni climatiche esterne (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein e Abdul Rahman, 2017) e alle esigenze degli utenti e nella quasi totalità dei casi questo adattamento si è manifestato attraverso l'impiego di strategie passive, cioè di soluzioni tecniche, anche dinamiche (Sala e Romano, 2011; Perino e Serra, 2015; Velasco, Brakke e Chavarro, 2015), che non facessero uso di impianti termici integrati. Recentemente sono stati introdotti componenti

Development of a curtain wall prototype with dynamic behaviour (SmartSkin)

Abstract. The paper presents a research project, derived from a collaboration between Universities, manufacturers and designers with international experience in curtain walls and HVAC systems. The research consisted in experimenting a technological solution for a building envelope with dynamic behaviour and high aesthetic value, which is able to respond to the influence of fixed and variable factors – internal and external – with respect to regulatory requirements and flexibility needs during the design and the operational phase. The goal is to reduce the embodied energy of the components, optimise the energy consumption during the use phase and limit the construction costs with the segmentation of the devices, the shrinkage of the floor height and the acceleration of the assembly process.

Keywords: Dynamic curtain wall; Plug and play components; Integrated thermal machines; Adaptive; Smart.

attivi, per esempio nuovi tipi di cellule fotovoltaiche, con questo scopo. Nonostante ciò, l'impiego di macchine termiche e/o scambiatori di calore è stato sempre limitato a pochi esempi significativi (Loonen, Favoino, Hensen, Overend, 2017). Il motivo di ciò risiede principalmente nel fatto che le soluzioni impiantistiche centralizzate sono considerate più efficienti ed anche di più facile gestione, specialmente negli edifici di grande dimensione. Pur considerando questi aspetti, la possibilità da parte dei singoli utenti di variare in modo personalizzato le condizioni climatiche interne e gestire economicamente gli impianti nel loro ciclo di vita può essere oggi motivo di interesse, considerando anche la possibilità di operare componenti a distanza con sistemi di tipo domotico (Sung, 2016). Impianti di piccole dimensioni e del tipo *plug&play* possono costituire elementi di riduzione dell'impatto ambientale se gestiti in modo diretto e personalizzato (Nguyen e Aiello, 2013). Il comfort termico è infatti condizione soggettiva e non oggettiva (ASHRAE, Standard 55, 2013).

Facciate continue dinamiche con macchine integrate: stato dell'arte

Lo sviluppo tecnologico di facciate continue con macchine termiche integrate fino a un livello di maturità tecnologica del tipo TRL7 (*system prototype demonstration in operational environment*), TRL8 (*system complete and qualified*) o anche TRL9 (*actual system proven in operational environment*) è degli inizi degli anni 2000. L'analisi condotta su brevetti nei quali siano pre-

Introduction

Curtain walls are made of relatively light and homogenous metal components, with wide transparent surfaces and typically external to the structure of the building. Since the beginning of their employment in the XIX century, these façades were crucial in characterizing the architecture of the buildings and subject to continuous technological innovation (Sinopoli and Tatano, 2002). In the last years the innovation was focused on the concept of adaptation to the external climatic conditions (Al-Obaidi, Azzam Ismail, Hussein e Abdul Rahman, 2017) and to the users' needs, and in almost all the cases this adaptation was revealed through the use of passive strategies, that is technical solutions – dynamic also – (Sala and Romano, 2011; Perino and Serra, 2015; Velasco, Brakke and Chavarro, 2015), which don't make

use of integrated heating systems. Active components have been recently introduced for this goal: for instance, new types of photovoltaic cells. Nevertheless, the use of heat generators and/or exchangers has been always limited to a few significant examples (Loonen, Favoino, Hensen, Overend, 2017). The reason primarily lies in the fact that central systems are considered more efficient and also easier to be managed, especially in large buildings. Even if we take into consideration these aspects, the opportunity for single users to personally modify the internal climatic conditions and economically manage the building services during their life cycle can be object of interest today, considering the possibility to operate components remotely with automated systems (Sung, 2016). Small plug and play systems may represent elements for the reduction of the environmental

sentì le parole chiave *curtain wall* o *façade* insieme a *condenser* o *evaporator* o *heat pump* o *compressor* o *ventilation* ha prodotto solo due risultati certi: uno negli Stati Uniti a nome di Curtis Kossmann (US9273463) e uno internazionale (WO2006/000159), ora di proprietà cinese. Altri brevetti sono risultati scaduti. Il brevetto americano ha le seguenti caratteristiche: una parete esterna e una parete interna, che definiscono fra loro uno spazio interno di larghezza non superiore circa a 0,7 metri, un telaio, un ingresso ed un'uscita d'aria, sensori di temperatura e uno scambiatore di calore. Il documento cinese sembra descrivere un elemento di facciata associato ad un sistema di condizionamento dell'interno dell'edificio. Tale sistema di condizionamento include un'unità di condensazione, un'unità di evaporazione, una sezione d'entrata per l'espulsione dell'aria dalla unità di evaporazione verso l'interno dell'edificio e una sezione di uscita dell'aria verso l'esterno.

Entrambi i brevetti identificano il tipo di facciata in questione ma non sembrano precludere lo sviluppo di sistemi innovativi con assetti simili. Vi sono alcuni casi significativi di facciate continue di tipo adattivo e dinamico, prodotte e messe in opera con sistemi termici integrati che includono questi elementi, sebbene sviluppate senza brevetto.

Il primo caso è costituito dalla facciata continua TEMotion (Centro di formazione Wicon a Bellenberg, Hydro Building Systems-Wicon, 2005), che presenta una cellula completamente prefabbricata, costituita da una sezione trasparente, in cui sono integrati gli elementi per l'ombreggiamento e per lo sfruttamento della luce naturale, e da una sezione opaca in cui sono integrati i componenti impiantistici e le celle fotovoltaiche. La facciata – considerata ventilata – è in grado di integrare i dispositivi per

il controllo di ventilazione, riscaldamento, aria condizionata, illuminazione artificiale, luce naturale ed energia prodotta dalle celle fotovoltaiche (Fig. 1). L'impiego di una tecnologia di connessione *plug&play* consente un elevato grado di modularità: i cablaggi al suo interno sono infatti rimovibili e ridotti fino al 60%, in modo che i progettisti o gli occupanti possano scegliere se installare o meno un particolare dispositivo sin da subito o nel corso del tempo. La ventilazione meccanica, il riscaldamento e il condizionamento dell'aria sono integrati all'interno di un elemento di dimensioni 30 x 40 x 130 cm, mentre l'unità di controllo ha dimensioni 20 x 15 x 45 cm. Un sistema di adattatori controlla l'effettivo apporto di luce naturale con il livello richiesto dall'utente, mentre l'apertura automatica di elementi di facciata permette di raffreddare l'ambiente con la ventilazione notturna, riducendo i costi legati al condizionamento dell'aria. La regolazione dei dispositivi può essere effettuata tramite un sistema di controllo centralizzato oppure dall'utente stesso; il sistema raccoglie informazioni in tempo reale e le invia al sistema centrale di manutenzione, in maniera tale da intervenire prontamente in caso di malfunzionamento. La facciata TEMotion presenta il vantaggio di adattarsi a qualsiasi piano di costruzione in quanto le dimensioni e la disposizione dei singoli componenti possono essere regolati a seconda degli ingombri, ma non contiene un vero e proprio alloggiamento per una macchina del tipo HVAC, bensì uno scambiatore di calore dell'aria in entrata e in uscita.

Nel caso di Smartbox (progetto di R&D, partner ECN, cepezed, TNO Bouw & Ondergrond, Level Energy Technology, Glaverbel Westland, van der Vlugt, 2006) la facciata include diversi dispositivi: la Smartbox (Fig. 2), le veneziane interne riflettenti, pannelli in vetro sottovuoto e pannelli in vetro semi-trasparente

impact if personally and directly managed (Nguyen e Aiello, 2013). Thermal comfort is, in fact, a subjective condition, not an objective one (ASHRAE, Standard 55, 2013).

Dynamic façades with integrated building services: state of the art

The technological development of curtain walls with integrated thermal machines up to a Technology Readiness Level (TRL) 7 (system prototype demonstration in operational environment), TRL 8 (system complete and qualified) or even TRL9 (actual system proven in operational environment) dates back to the beginning of the 2000s. The analysis of the patents in which the keywords curtain wall or façade are present together with the words condenser, evaporator, heat pump, compressor or ventilation has produced only two certain re-

sults: one in the United States associated to the name of Curtis Kossmann (US9273463) and an international one (WO2006/000159), now owned by Chinese. Other found patents have expired. The American patent shows the following features: one internal and one external partition, which contain an inner space with a thickness of no more than 0.7 meters, a frame, an air inlet and an air outlet, temperature sensors and a heat exchanger. The Chinese document seems to describe a façade element associated to a conditioning system for the whole building. Such a conditioning system includes a condensation unit, an evaporating unit, an inlet section for the air extraction from the evaporating unit towards the inside of the building and an air outlet to the outside. Both patents identify the façade but don't prevent the development of other

innovative systems with similar equipment. There are some significant cases of adaptive and dynamic walls produced and assembled with integrated thermal systems which include these elements, but they were developed without any patent.

The first case is represented by the TEMotion façade (Wicon Education Center in Bellenberg, Hydro Building Systems-Wicon, 2005), which shows a totally prefabricated cell, made of a glazed part with integrated shading elements and elements for natural light control and an opaque part with integrated mechanical systems and photovoltaic units. The façade is ventilated and provides integrated devices for ventilation, air-conditioning and heating, artificial light and photovoltaic energy (Fig. 1). The use of a connecting plug and play technology brings high modularity to the system: the wiring

inside is reduced down to 60%, so that designers and occupants can decide to install any device at the beginning or later on. The mechanical ventilation and the HVAC system are integrated inside a space of 30 x 40 x 130 cm, while the dimensions of the control unit are 20 x 15 x 45 cm. A system of adaptors is set to control the effective contribution of natural light according to the level requested by the user, while the automated motion of the façade provides space cooling through night ventilation, reducing air conditioning costs. The regulation of the devices is carried out by a central control system or by the user; the system collects real time information and send it to a centralised maintenance system to support operations in case of malfunction. The advantage of the TEMotion façade is that it is adaptable to any building story, because its dimensions and the

01 | Facciata TEmotion, con sezione trasparente al centro e sezioni opache ai lati per l'alloggiamento dei sistemi impiantistici. Foto, Wicona, per gentile concessione
TEmotion façade, with the glazed part in the middle and the opaque parts at its side to host the mechanical systems

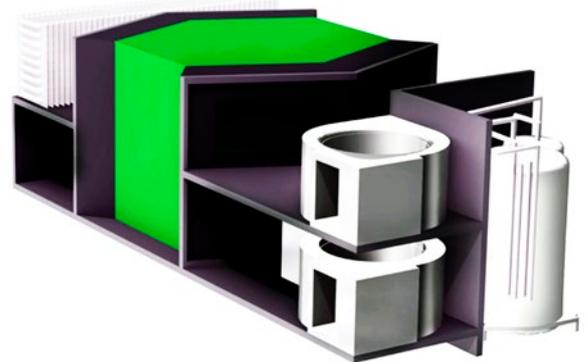


02 | Ingombro della Smartbox per l'alloggiamento nella fascia interpiano
Dimensions of Smartbox to be placed in the space between floor and ceiling

03 | Facciata della Capricorn Haus. Foto Frank Vincentz, lic. Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
The façade of the Capricorn Haus

con celle fotovoltaiche. L'unità Smartbox, posizionata nella fascia interpiano, è un sistema decentralizzato che combina raffrescamento adiabatico, riscaldamento e ventilazione bilanciata; esso presenta la mandata e uscita dell'aria a soffitto anziché a pavimento. Il limite di questa soluzione risiede proprio nell'aver una cattiva distribuzione dell'aria nel periodo invernale. I progettisti assicurano un abbattimento del consumo energetico globale di oltre il 50% rispetto a una facciata continua standard, se combinato con un elevato isolamento termico, una bassa permeabilità all'aria, ombreggiamento, controllo del flusso d'aria attraverso uno scambiatore di calore e integrazione con il fotovoltaico. Il sistema decentralizzato viene promosso in quanto in grado di evitare l'installazione di pavimenti flottanti, facendo risparmiare fino al 12% dell'altezza del solaio e dei costi della facciata. Ad oggi la facciata Smartbox Energy è un insieme di dispositivi integrati che possono essere combinati con differenti facciate continue mediante interfacce modulari. Tuttavia la connessione tra la facciata ospitante e l'unità Smartbox non è stata definita in maniera chiara e non sono state sviluppate le problematiche legate al fuoco. Per questi motivi una facciata Smartbox non è entrata mai in produzione.

La facciata della Capricorn Haus a Düsseldorf (progetto di Schossig e Gatermann, partner Schüco, 2007) è stata disegnata specificatamente per l'edificio che l'alloggia, sulla base di un sistema di cellule Schüco. Essa è costituita da unità di dimensioni 2,70 x 3,35 m che permettono la ventilazione decentralizzata. Ogni cellula è caratterizzata da una parte vetrata a tutt'altezza e,



arrangement of the single components can be regulated depending on the size of the obstacles. However, it does not contain any real slot for the HVAC system, but just the air inlet and outlet with a heat exchanger.

In the case of Smartbox (project R&D, partners ECN, cepezed, TNO Bouw & Ondergrond, Level Energy Technology, Glaverbel Westland, van der Vlugt, 2006) the façade includes several devices: Smartbox unit (Fig. 2), reflective internal blinds, glazed vacuum-sealed panels and semi-transparent glazed panels with photovoltaic cells. The Smartbox unit, positioned in the space between the floor and the ceiling, is a decentralized system which combines adiabatic cooling, heating and balanced ventilation; the air inlet and outlet are placed in the ceiling instead of on the floor. In fact, the drawback of this solution is its scarce air distribution dur-

ing the winter period. The designers ensure to reduce the energy consumption by more than 50%, as compared to a standard façade, if the system is combined with an elevated thermal insulation, a low air permeability, sun shading, air flow control through the heat exchanger and it is integrated with PV. The system is particularly suitable, since it avoids the installation of raised floors, saving up to 12% of floor height and façade costs. Today the Smartbox Energy façade is a compound of integrated devices that can be combined with different curtain walls through modular interfaces. However, the connection between the hosting façade and the Smartbox unit and the fire safety aspects have not been defined clearly. For these reasons not a single Smartbox façade has ever been produced.

The façade of the Capricorn Haus in Düsseldorf (project by Schossig e



a fianco, da un pannello opaco contenente i sistemi impiantistici (Fig. 3). Ogni vano dell'edificio ha almeno uno di questi moduli e le partizioni interne possono essere connesse alle sue estremità. La facciata è dotata dei seguenti dispositivi: l'*i-module*, una finestra apribile automaticamente, una mensola interna per il controllo della radiazione solare e veneziane per l'ombreggiamento disposte nella cavità interna della facciata. Per garantire l'allineamento e la planarità della facciata, i progettisti hanno ridotto il più possibile le dimensioni dell'*i-module* (104,9 x 106,5 x 19,0 cm), cioè l'unità elettrica progettata per il riscaldamento, il condizionamento e la ventilazione decentralizzati; l'aria fresca entra nell'*i-module* attraverso una fessura richiudibile e gli occupanti possono regolarne il funzionamento in maniera autonoma.

Nella facciata E² (progetto di Stefan Behling, partner Schüco, 2007) tutti i componenti meccanici della facciata sono situati nella fascia interpiano e, per questo motivo, essa è a sbalzo e ancorata con perni speciali. Tra questi perni viene installata la scatola con le unità di ventilazione decentralizzate; una che serve il piano superiore dal pavimento e una quello inferiore dal soffitto. La protezione al fuoco è garantita da un filtro tra i due compartimenti. La progettazione modulare dei ventilatori Schüco IFV rende possibile realizzare diversi sistemi di ventilazione; infatti, a seconda delle esigenze individuali, è possibile realizzare un sistema di riscaldamento o raffreddamento dell'aria aspirata dall'esterno, con o senza recupero di calore dall'aria viziata. Inoltre, l'integrazione dei ventilatori nell'ingombro davanti al solaio consente di organizzare e configurare liberamente le facciate e gli interni. Secondo i progettisti, il sistema riduce i costi di investimento e le spese di esercizio dell'edificio: la rete dei condotti per la ventilazione dell'edificio è assente, le altezze di interpiano si

Gatermann, partner Schüco, 2007) has been designed specifically for the this building, on the basis of a system of cells made by Schüco. It is composed by units of 2.70 x 3.35m with decentralized ventilation. Each cell is characterized by a full height glazed part and an opaque panel at its side containing all the mechanical systems (Fig. 3). Each room of the building has at least one of these modules and the internal partitions can be connected at its extremities. The façade is equipped with the following devices: the *i-module*, a window with automated openers, an internal shelf for solar radiation control and venetian blinds for shading in the internal cavity of the façade. In order to guarantee its alignment and its planarity, the designers have significantly reduced the dimensions of the *i-module*, that is the electrical unit designed for the

decentralized heating, air conditioning and ventilation systems (104.9 x 106.5 x 19.0 cm). The fresh air enters in the *i-module* through shutters and the occupants can autonomously regulate its functions.

In the E² façade (project of Stefan Behling, partner Schüco, 2007) all the mechanical components are placed in the space between the floor and the ceiling and for this reason it is suspended and anchored with special pins. The box with the decentralized ventilation units is installed in the space between the pins: one unit serves the upper room from the floor, the other the room below from the ceiling. The fire safety is guaranteed by a filter between the two components. The modular design of Schüco IFV ventilators allows to realize different systems; in fact, according to the individual requests, it is possible to create a heat-

riducono e con esse anche le superfici tecniche. Le funzioni sono controllate mediante sensori; l'aerazione, per esempio, si adatta alle singole condizioni operative a seconda dei livelli di CO₂ o della concentrazione di umidità nell'aria. Altre peculiarità sono le dimensioni decisamente ridotte del modulo per il controllo della ventilazione e la sua silenziosità; infatti l'altezza di installazione media è di soli 50 mm, mentre il funzionamento produce poco meno di 26 dB (A) a un livello 1 (15 m³/h). Insieme al sistema di facciata, sono stati sviluppati anche un modulo integrato per il solare fotovoltaico e un sistema di schermatura solare CTB in grado di resistere al vento forte e nascosto dietro a un elemento di rivestimento quando represso. Non si è al corrente di sistemi di facciata simili ai precedenti prodotti in Italia.

SmartSkin: strategia progettuale e fase di sperimentazione

la regione Emilia-Romagna con fondi per Innovazione e Ricerca POR-FESR 2014-2020, è stato quello di sondare le potenzialità offerte dall'integrazione di macchine termiche in facciata con un sistema semplice ed efficace. L'obiettivo del gruppo di ricerca, coordinato da Focchi Spa e con partner l'Università di Bologna (CIRI Edilizia e Costruzioni), l'Università Politecnica delle Marche (Univpm) e BlueBox, era di realizzare un prototipo di facciata continua che integrasse le funzionalità tipiche dell'involucro – in particolare la tenuta all'aria e all'acqua e l'isolamento termico e acustico – con le funzionalità dei sistemi domotici, attraverso un'attenta analisi delle prestazioni raggiungibili in termini energetici e di comfort (Fig. 4), anche tramite l'uso del Comfort Eye di

Sulla base delle analisi condotte sul funzionamento degli esempi appena citati, l'intento del progetto SmartSkin, finanziato dal-

ing or cooling system extracting the air from the outside, with or without heat recovery from polluted air. Besides, the integration of the ventilators in the space facing the floor allows to freely organize and configure the façade and the internal spaces. According to the designers, the system reduces investment costs and building operating costs: the set of ventilation ducts is not present, the floor heights are reduced and the façade area with them. The functions are controlled through sensors. The ventilation, for instance, is adapted to the singular operating conditions depending on CO₂ levels or air humidity.

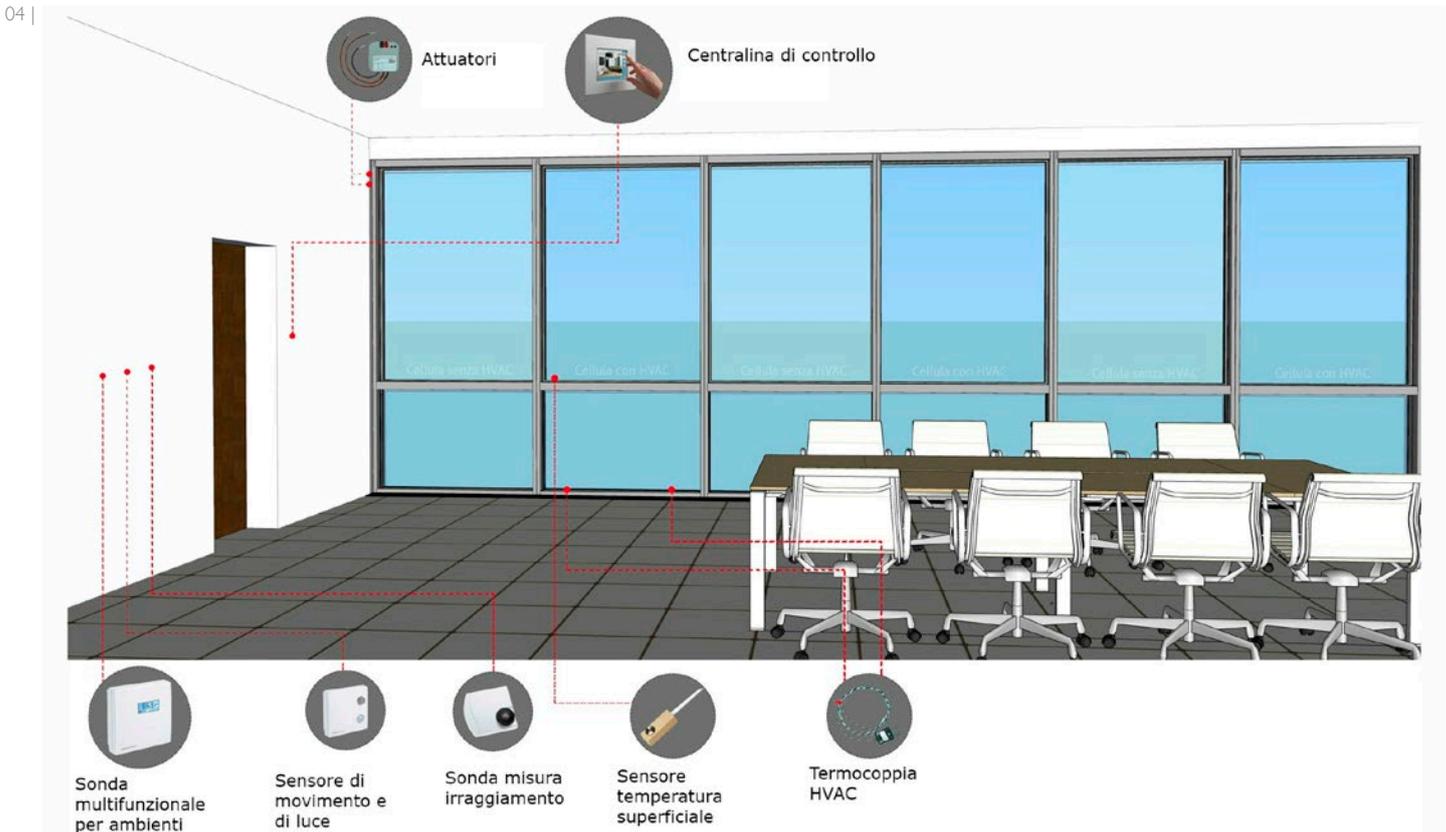
Other peculiarities are the significantly reduced dimensions of the module for ventilation control and its quietness; in fact, the mean height of the equipment is only 50 mm, while the noise produced at level 1 of operation (15

m³/h) is little less than 26 dB (A). Together with the façade system, an integrated module for photovoltaics and the wind resistant CTB solar shading system, hidden behind the cladding when closed, have been developed. We are not aware of similar façade systems produced in Italy.

SmartSkin: design strategy and experimental phase

Following the investigation on the above mentioned examples, the goal of the SmartSkin project, financed by the Emilia-Romagna region with innovation and research funds POR-FESR 2014-2020, was to test the potentialities offered by the integration of thermal machines with a simple but effective façade system.

The goal of the research group, coordinated by Focchi Spa with the University of Bologna (CIRI Edilizia e Cos-



UNIVPM (Revel et al., 2014) in compliance with ISO 7726, for several positions inside the space. Together with T_r , the variables required by ISO 7730 are measured to calculate the predicted mean vote (PMV per il controllo dei valori PPD e PMV). Il prototipo di SmartSkin realizzato ha previsto lo studio di una soluzione di facciata a celle (*unitized systems*) chiamate Smart

truzioni), the Polytechnic University of Marche ((UNIVPM) and BlueBox as partners, was to realize a curtain wall prototype which could integrate the typical functions of the envelope – air tightness, waterproofing and thermal and acoustic insulation – with the functionalities of automated systems, through an accurate analysis of the achievable performances in terms of energy consumption and comfort (Fig. 4), also using the Comfort Eye by UNIVPM (Revel et al., 2014) in compliance with ISO 7726, for several positions inside the space. Together with T_r , the variables required by ISO 7730 are measured to calculate the predicted mean vote (PMV for the control of PPD e PMV). The realized SmartSkin prototype has provided for the study of a solution façade made of cells (*unitized systems*), named Smart Envelope Units (SEU),

which are able to host a very small invertible heat pump inside (heating and cooling), in the space between one SEU and the other. A full scale mock-up has been realised for demonstration and project validation. The façade prototype was placed to fill one side of a testing box with insulated walls on the other three sides and was provided with sensors in order to acquire output data to be confronted with performance targets (Fig. 6). Some fundamental parameters have been then considered for the complete and accurate monitoring of comfort and energy efficiency of the prototype: internal air temperature (evaluated at two different heights from the floor to consider both the sitting or standing condition of the occupants; air velocity of the internal space (at two different heights); mean radiant temperature inside the demonstrator (at two different

Envelope Units (SEU), in grado di ospitare all'interno un sistema a pompa di calore invertibile per la produzione di caldo e freddo (HVAC), alloggiabile nell'interpiano tra una SEU e l'altra in quanto di ridottissima dimensione. Per validare il progetto è stato realizzato un *mock-up* dimostratore in scala reale, installando il prototipo a chiusura di una camera

heights); inlet and outlet air temperature and velocity; thermal flow rate through the opaque walls of the demonstrator: external air temperature and velocity; internal and external humidity; solar radiation. Thermal tests have been conducted to evaluate the heat exchange through the cell, an acoustic test to evaluate the noise of the equipment and tests on the internal climate to evaluate the efficiency and the effectiveness of the systems (Fig. 6). The goal of the prototype testing phase consisted in verifying the achievement of the performance levels of the two modules identified during the design phase. Following the actual national legislation and the requirements identified by the product regulations for curtain walling (UNI EN 13830:2015) the performance goals have been identified. Regarding the energy aspect, satisfying the comfort situations in the worst

operating conditions has led to an energy consumption of around 4 kWh, against 2 kWh in the days of september. Without describing the copious numerical results for lack of space, the main detected problems in modelling and testing are reported below. Some difficulties have been observed in evaluating the U_{man} value (U_{cw}) of the cell, considering the tri-dimensional configuration and its dynamic functions; the problem has been solved with a Fluid Dynamic model, later simplified, weighting the obtained values in various points. Some difficulties have been noticed in the acoustic and thermal insulation of the devices and in optimizing the air intake inside the room in relation to the power of the ventilators and the orientation of the air deflectors; the problem of mixing the air flow in the farthest zones of the internal volume was partially solved

05 | SmartSkin, prototipo presso la sede Focchi, con camera climatica affiancata. Foto di Luca Guardigli
 SmartSkin, prototype at Focchi headquarters with climatic box

di prova con pareti isolate negli altri 3 lati, provvista di sensori per effettuare i test da cui ricavare gli output da confrontare con i target prestazionali (Fig. 5). Sono stati dunque presi in considerazione i parametri fondamentali per un monitoraggio completo e accurato del comfort e dell'efficienza energetica del prototipo: temperatura dell'ambiente interno (valutata a due differenti altezze dal pavimento per considerare la condizione degli occupanti in piedi o seduti); velocità dell'aria dell'ambiente interno (a due altezze differenti); temperatura media radiante all'interno del dimostratore (a due altezze differenti); temperatura e velocità dell'aria in mandata e ripresa della macchina; flusso termico attraverso le pareti opache del dimostratore; temperatura e velocità dell'aria dell'ambiente esterno; umidità dell'ambiente interno ed esterno; radiazione solare. Sono stati condotti test termici per valutare lo scambio di calore attraverso la cellula, un test di tipo acustico per valutare la rumorosità degli impianti e test sul clima interno, per valutare l'efficienza e l'efficacia degli impianti (Fig. 6).

L'obiettivo della fase di collaudo del prototipo realizzato è consistito nella verifica del raggiungimento delle performance dei due moduli di facciata identificati in fase di progettazione. Sulla base della legislazione vigente a livello nazionale e dei requisiti previsti dalla norma di prodotto per le facciate continue (UNI EN 13830:2015) sono stati individuati gli obiettivi prestazionali (Tab. 1):

Dal punto di vista energetico il soddisfacimento dei livelli di comfort desiderati nelle condizioni più estreme di funzionamento ha comportato un consumo energetico di circa 4 kWh, contro i circa 2 kWh nelle giornate di settembre. Senza poter descrivere i numerosi risultati numerici ottenuti per mancanza di spazio, si riportano le principali problematiche riscontrate nella



modellazione e nei test. Sono state rilevate difficoltà nella valutazione dei valori di trasmittanza $U_{\text{medio}} (U_{\text{cw}})$ della cella (Fig. 7), considerando la conformazione tridimensionale e il suo funzionamento dinamico; si è risolto il problema sviluppando un mo-

Requisito prestazionale	Elemento interessato	Obiettivo prefissato	Norma di riferimento
Sicurezza Antincendio	Isolamento esterno modulo HVAC: lana di roccia	Classe B-s3-d0	Lettera circolare 15/04/2013, n. 5043 - Aggiornamento
Permeabilità all'aria	Facciata SmartSkin	Classe A4: Pressione massima P_{max} (Pa): 600 Permeabilità all'aria (m^3/mh): 0,5	UNI EN 12152:2003 UNI EN 12153:2002
Tenuta all'acqua (statica)	Facciata SmartSkin	Classe R7: Pressione massima P_{max} (Pa): 600	UNI EN 12154:2001 UNI EN 12155:2002
Isolamento acustico	Facciata SmartSkin Modulo HVAC	$D_{2\text{m,nT,w}} \geq 42$ dB (uffici e assimilabili) $LA_{\text{eq}} \leq 35$ dB Isolamento acustico HVAC standard in commercio: tra 33 e 42 dB a 2 m di distanza (sola ventilazione)	DPCM 05/12/1997 DPCM 05/12/1997
Isolamento termico	Facciata SmartSkin Vano interpiano cellula SmartSkin	$U_{\text{medio}} \leq 1,50$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ $U_{\text{medio}} \leq 0,80$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ (di separazione tra unità confinanti)	DM 26/06/2015

dello fluidodinamico, poi semplificato, pesando i valori ottenuti in vari punti. Si sono notate difficoltà nell'isolare termicamente e acusticamente le macchine e difficoltà nell'ottimizzare l'immissione d'aria all'interno della camera in rapporto alla potenza dei ventilatori e all'orientamento delle alette delle griglie: il problema del mescolamento del flusso d'aria nelle zone del volume interno più distanti è stato parzialmente risolto con una speciale orientazione delle lamelle.

Alcune criticità riscontrate nello sviluppo del sistema domotico, ancora in fase di implementazione, sono rappresentate dalla gestione a distanza della pompa di calore. Attualmente il controllo elettronico della veneziana contenuta nel vetrocamera e del serramento apribile non è ancora meccanizzato.

Considerazioni finali e sviluppo della ricerca

Il sistema di facciata progettato è un prototipo che ambisce a eliminare l'impianto centrale di HVAC nell'edificio e a ridurre i lavori d'installazione ai soli tempi di collegamento elettrico tra le varie celle, aumentando la quota di prefabbricazione dell'edificio. Tramite l'integrazione del sistema facciata continua e impianto è possibile puntare ad una standardizzazione del processo produttivo, presentando vantaggi connessi a un forte aumento della quota fabbrica rispetto alla quota cantiere (riduzione di costi e tempi di installazione) e ad una possibile ristrutturazione di edifici occupati senza procurare disagi agli occupanti. La facciata è stata infatti pensata per edifici dove sono richieste flessibilità d'uso, adattabilità, segmentazione degli spazi e differenze funzionali. Grazie alla facile estraibilità delle macchine (approccio *plug&play*, oppure *on demand*), è possibile attivare un semplice servizio di gestione e manutenzio-

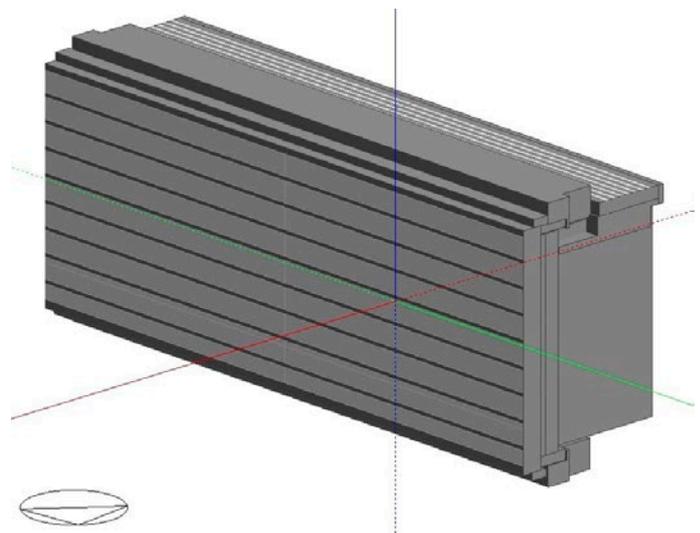
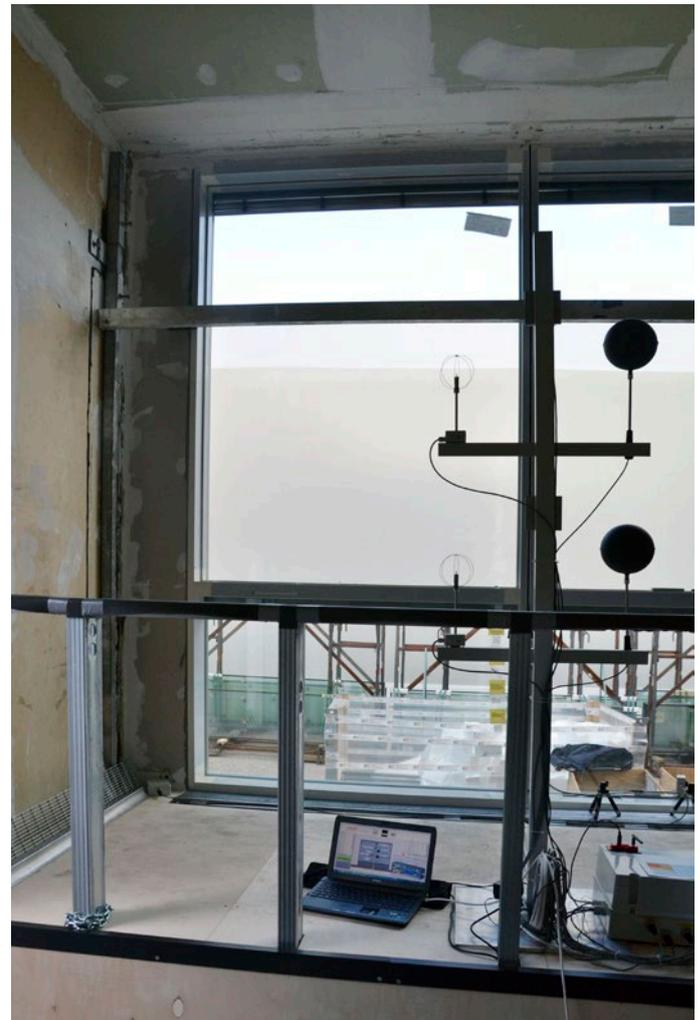
with the special orientation of the deflectors.

Final considerations and research development

The designed façade system represents a prototype which aims at eliminating the HVAC centralised system from the building and reducing the installation time to the sole electric connections with the cells, increasing the amount of the prefabricated parts in the building. Through the integration of the curtain wall with the HVAC system the standardization of the production process becomes possible, presenting advantages connected to the strong increase of prefabricated parts in comparison to components built on site (reduction of costs and installation times) and to the potential application in renovations, avoiding many inconveniences to the occupants. In fact, the façade has been

conceived for buildings where flexibility in use, adaptability, space segmentation and functional differences are requested. Thanks to the easy extractability of the devices (*plug&play*, or *on demand* approach), it is possible to activate a simple process of system management and maintenance: the equipment to be revised is taken into a laboratory, where controls and repairs can be comfortably executed in safety conditions. The inconvenience connected to the general interruption of the services for programmed maintenance or malfunction can be also avoided, being sufficient a stock of small modular devices according to the needs.

The research aimed at following the path of the adaptive envelope, in which passive and active systems, as well as information can be integrated. The strategic goals of the SmartSkin façade can be so synthesized: minimize the grey en-



ergy, or embodied energy, associated to the envelope components and the operating energy associated to the building services; pre-empt the façade performances with a dynamic remote control; speed up the production process and site construction; research technological solutions for adaptive curtain walls

of limited cost; stimulate technological innovation. The following development phase will consider further investigation to verify the effective adaptability of the system to various types of existing structures and to evaluate the environmental impact of the façade during its life cycle with a LCA procedure.

ne: le unità da revisionare vengono trasferite in laboratorio, dove possono essere eseguiti controlli e riparazioni in condizioni di comfort e sicurezza. Sono anche evitabili i disagi dovuti alle interruzioni generali del servizio per manutenzione programmata o per guasto, essendo sufficiente uno stock di piccole macchine modulabile secondo le esigenze.

La ricerca ha voluto percorrere, attraverso la sperimentazione, la strada dell'involucro adattivo, in cui tecnologie passive e attive e informazioni possano integrarsi. Gli obiettivi strategici della facciata SmartSkin si possono così sintetizzare: minimizzazione di energia grigia, o inglobata, associata alle componenti d'involucro; minimizzazione dell'energia operativa associata all'impianto; previsione di prestazioni della facciata con controllo dinamico a distanza; velocizzazione del processo produttivo e di messa in opera; potenzialità nella ricerca di soluzioni architettoniche per facciate continue adattive a costo contenuto; stimolo dell'innovazione tecnologica. La fase di ulteriore sviluppo deve prevedere un'indagine che possa far luce sull'effettiva adattabilità del sistema a vari tipi di strutture esistenti ed una valutazione dell'impatto ambientale della facciata nel ciclo di vita con procedimento LCA.

REFERENCES

- Al-Obaidi, K.M., Azzam Ismail, M., Hussein, H. and Abdul Rahman, A.M. (2017), "Biomimetic building skins: An adaptive approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 79, pp. 1472-91, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117306640>.
- Loonen, R.C.G.M., Favoino, F., Hensen, J.L.M. and Overend, M. (2017), "Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive façades", *Journal of Building Performance Simulation*, pp. 1-19, available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19401493.2016.1152303>.
- Nguyen, T.A. and Aiello, M. (2013), "Energy intelligent buildings based on user activity: A survey", *Energy and Buildings*, No. 56, pp. 244-257, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812004537>.
- Perino, M. and Serra, V. (2015), "Switching from Static to adaptable and Dynamic Building Envelopes: A Paradigm Shift for the Energy Efficiency in Buildings", *Journal of Façade Design and Engineering*, Vol. 3, fasc. 2, pp. 143-163, available at: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-façade-design-and-engineering/fde0039>.
- Revel, G.M., Arnesano, M. and Pietroni, F. (2014), "Development and validation of a low-cost infrared measurement system for real-time monitoring of indoor thermal comfort", *Meas. Sci. Technol.* 25 085101, available at: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/8/085101>.
- Sala, M. and Romano, R. (2011), "Building envelope innovation: smart façades for non residential buildings", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 2, pp. 158-169, available at: <http://www.fupress.net/index.php/techne/article/view/9938>.
- Sinopoli, N. and Tatano, V. (2002), *Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche e architettura*, Franco Angeli, Milan.
- Sung, D. (2016), "A New Look at Building Façades as Infrastructure", *Engineering*, No. 2, pp. 63-68, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809916301497>.
- Velasco, R., Brakke A.P. and Chavarro, D. (2015), *Dynamic Façades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, DE.

Antonello Monsù Scolaro,

Dipartimento di Architettura, Design ed Urbanistica, Università di Sassari, Italia

amscolaro@uniss.it

Abstract. La riqualificazione del costruito esistente rappresenta un'importante opportunità ambientale per contribuire alla riduzione del consumo di risorse primarie, suolo ed energia. L'energia primaria e le risorse ancora disponibili come "capacità residua" di fornire prestazioni tecnologiche da parte dei componenti edilizi costituiscono un aspetto cruciale, sebbene ancora non pienamente indagato, per definire il valore ambientale dell'esistente. Si riportano i primi risultati di una ricerca che, sulla base degli eco-inventari oggi disponibili e sul calcolo delle prestazioni tecnologiche residue degli elementi tecnici, definisce il concetto di *embodied energy efficace*, assumendolo quale indicatore del valore ambientale nell'ottica di una riqualificazione eco-orientata dell'esistente.

Parole chiave: *Embodied Energy*; Prestazione residua; Riutilizzo di materia; *Decoupling resources*.

Introduzione

Dai primi interventi di recupero edilizio degli anni '70 ai piani integrati a scala urbana degli anni '90, il progetto del costruito ha richiesto più competenze multidisciplinari per rivelarne i valori nascosti tra efficienza economica, coesione sociale ed equilibrio ecologico (Caterina, 2016). Le «possibili gradazioni del progetto sull'esistente» (Giebler e Kahlfeldt, 2009) inducono connotazioni sempre più complesse ed ambiente-correlate, che richiedono sia la conoscenza delle relazioni "immateriali" tra luogo ed abitante che "materiali", relative al comportamento fisico e bioclimatico dell'involucro, sia dei margini di adattabilità a nuovi utilizzi (Douglas, 2011).

Seppure arricchito da questa pluralità di valenze, il recupero materiale del costruito costituisce una condizione essenziale perché dalla sua riqualificazione discenda effettivamente un alto valore ambientale aggiunto, massimizzando la quota di materia ed energia incorporata nei materiali preesistenti che viene riutilizzata e riducendo quella da aggiungere o integrare.

Da queste considerazioni muove la sperimentazione condotta su

due edifici campione – di cui si presentano qui i primi risultati – che ha sviluppato ed applicato una metodologia per attribuire valore ambientale al costruito esistente in base alla capacità dei suoi componenti di fornire prestazioni tecnologiche residue, sfruttando quanta più materia ed energia in essi incorporata. Utilizzando i dati di *inventory* scelti tra quelli più adeguati alle indeterminanze del costruito esistente, si è calcolata l'*embodied energy* degli elementi di involucro, che è stata poi messa in relazione alle prestazioni tecnologiche residue della frazione di materia ancora utilizzabile. I risultati ottenuti rappresentano il valore ambientale potenziale del costruito, quindi la base per valutare le alternative tecnologiche di recupero e controllarne i relativi effetti ambientali in ottica *LCA based*.

Attribuire valore ambientale al costruito esistente in ottica LCA

Soltanto in Italia, il patrimonio di edilizia abitativa comprende 10 milioni di edifici costruiti prima del 1990 (pari all'80% dello stock), di cui circa 1 milione sono abitazioni in disuso e da riqualificare (Scenari Immobiliari e Passpartout, 2018).

A fronte della drastica flessione della produzione di nuovi edifici, anche nel 2016 la riqualificazione segnala un trend positivo, con una quota di investimenti che supera il 73,1% dei 166,2 miliardi totali. Per le compravendite di edifici da ristrutturare, già in crescita del 19% nel 2017, si stima ancora un aumento dell'1,8% nel 2018 grazie sia alla legge di Bilancio 2017 sia al trend attivato dagli incentivi fiscali (ENEA, 2017).

Secondo il CRESME, il settore delle costruzioni è entrato nel suo «primo ciclo dell'ambiente costruito», in cui gli interventi di riqualificazione prevalgono sulla nuova costruzione, rifletten-

Embodied Energy and residual performances: assess environmental value of existing buildings

Abstract. The refurbishment of built heritage is a great environmental opportunity to contribute to the reduction of consumption of primary resources, soil and energy. The primary energy and the resources still available as "remaining capacity" to furnish technological performances by building components represent a crucial aspect, although still not fully valued to define the existing environmental value. Here are first results of a research that, both on the basis of eco-inventories data available and the calculation of residual technological performance of building elements, defines the concept of embodied energy "effective", hiring it as indicator of environmental value for an eco-oriented refurbishment of existing buildings.

Keywords: Embodied Energy; Residual technological performances; Building materials reuse; Decoupling resources.

Introduction

From the early building restoration in the 70's to integrated plans on an urban scale in the 90's, the renovation design of built environment required multidisciplinary competences to discover the hidden values among economical efficiency, social cohesion and ecological balance (Caterina, 2016). The «possible gradations of the existing buildings design» (Giebler, Kahlfeldt, 2009) involve connotations increasingly complex and environmental-related; this requires the knowledge of "immaterial" and "material" relationships between place and inhabitant, related both to the physical and bioclimatic performances of the building envelope and to the margins of adaptability to new uses (Douglas, 2011). Even though enriched by different meanings, the renovation design of pre-existing building materials represents an

essential requirement so that emerge an high environmental value added from its refurbishment, optimising the share of matter and energy incorporated in pre-existing materials to be re-used and reducing the percentage to be added or integrated.

From these considerations it was developed and applied a methodology for attributing environmental value to existing buildings on the basis of capacity of its components to furnish residual technological performances, leveraging as much matter and energy embedded in them. This paper shows the first results of the experimentation carried out on two sample buildings. Using data of current eco-inventory chosen from among the most suited to the indefiniteness of pre-existing buildings, the *embodied energy* of building envelope elements was calculated first and then related to the

do anche il mutato profilo socio-economico e la consapevolezza ambientale della popolazione¹.

Eppure, il settore delle costruzioni continua a causare un alto consumo di materie prime (40-50% del totale a scala europea, di cui 60% inerti e 25% metalli) per la produzione di componenti edili e, secondo i dati Eurostat del 2017, immette in ambiente circa 1/3 dei rifiuti globalmente prodotti. L'uso sostenibile delle risorse in edilizia, che la UE promuove da anni (Ecorys, 2014), anche attraverso il reimpiego di materia e lo sfruttamento dell'energia in essi incorporata promettono di generare un plusvalore ambientale (Ruuska, Häkkinen, 2014). Però, per attribuire valore ambientale alla riqualificazione dell'esistente è necessario quantificare sia il risparmio di risorse primarie ed energia sia la riduzione degli effetti ambientali associati.

Com'è noto, fin dagli anni '60 del secolo scorso, negli Stati Uniti si avviano le prime ricerche per comprendere e standardizzare i consumi energetici di alcuni processi produttivi tramite metodologie *LCA based*; in campo edile, nel 1976, Gartner e Smith calcolano l'energia spesa nei processi di produzione dei materiali confrontandone il dispendio energetico per unità di materiale (in MJ/m²) in differenti soluzioni costruttive. Nel 1979, l'*Advisory Council on Historic Preservation* pubblica il report *Assessing the Energy conservation benefits of historic preservation: Methods and examples* in cui l'*embodied energy* indica l'energia spesa per l'estrazione delle materie prime e la messa in opera del materiale finito, per dimostrare il risparmio di materia ed energia del recupero del costruito rispetto alla nuova costruzione. Oggi, nonostante la complessità dei fattori che concorrono alla quantificazione dell'*embodied energy* in funzione del contesto operativo di riferimento, si concorda sulle diverse quote componenti:

- *initial embodied energy* (che vale il 75-80% della totale *embodied energy* di un materiale da costruzione lungo il suo intero ciclo di vita), divisa in *primary energy* (consumata per l'estrazione delle materie prime, trasporto, lavorazione e produzione dei materiali, trasferimento in cantiere) e in *direct energy* (consumata in fase di costruzione);
- la *recurring energy* (spesa per le attività di manutenzione dell'edificio);
- la *disposal embodied energy* (spesa per la demolizione e lo smaltimento finale dell'edificio) (Dixit et al., 2010).

Tramite metodologie *LCA based*, al calcolo dell'*embodied energy* dei materiali componenti un edificio possono associarsi gli impatti ambientali sull'esaurimento delle risorse, sull'effetto serra, sul degrado ambientale e sulla riduzione della biodiversità; tuttavia, gli approcci oggi in uso richiedono un'analisi di inventario e una delimitazione di campo molto accurate per ogni processo. In particolare, ove si valutino gli impatti ambientali evitati per il recupero dell'esistente rispetto alla nuova costruzione, gli indicatori utilizzati devono tener conto di tecniche costruttive, tecnologie e processi produttivi spesso non più chiaramente identificabili (Menzies, 2011). D'altra parte, mentre un edificio riqualificato offre prestazioni energetiche analoghe ad uno equivalente nuovo, si è dimostrato che la riduzione degli effetti sui cambiamenti climatici (in GWP/m²/y) sono subordinati all'impiego di materiali a bassa impronta ambientale ed alte *performances* energetiche (Preservation Green Lab, 2012). Inoltre, bisogna valutare gli impatti ambientali evitati in funzione delle «caratteristiche dell'edificio in relazione al nuovo uso ed alle opzioni tecniche di riqualificazione» (Baker, 2009).

In questo scenario, a partire dalla consistenza costruttiva dell'e-

residual technological performances of fraction matter still usable. The obtained results represent the potential environmental value of pre-existing buildings, then the basis to evaluate technological alternatives of refurbish and control the environmental effects based on LCA approach.

Environmental value to existing buildings in life cycle assessment

Only in Italy, the housing estate includes ten million of buildings built before 1990 (the 80% of stock), about 1 million of them are unused and should be renovated (Scenari Immobiliari e Passpartout, 2018). In the face of the drastic reduction of the production of new buildings, also in 2016 the refurbishment reports a positive trend, the investments exceed 73.1% the total of 166.2 billion. Regarding sales of buildings to be renovated, already up 19% in

2017, it is estimated a growth of 1.8% in 2018 thanks to both Budget Bill 2017 and trend activated by tax incentives (ENEA, 2017).

According to CRESME, the construction sector entered its «first cycle of environmental built», in which the renovation projects prevail on projects of new buildings, also reflecting the changed socio-economical profile and the environmental awareness of the population¹.

Yet, the constructions field keeps on causing an high consumption of raw materials (40-50% of total in Europe, 60% aggregates and 25% metals) to produce building components and, according to Eurostat data of 2017, it enters into the environment about 1/3 of globally waste products. The sustainable resources use in building construction industry, that UE promotes by years (Ecorys, 2014) even

through the reuse of matter and energy exploitation embedded in them, could generate an environmental value added (Ruuska, Häkkinen, 2014). But, to attribute environmental value to the renovation of pre-existing buildings, it needs to quantify both the saving of primary resources and energy and the reduction of environmental impacts connected.

As you know, since the 60's of the last century, in the United States the first research starts to understand and standardize energy consumption of some production processes using methodologies based on LCA. In building sector in 1976, Gartner and Smith calculate the energy used in production processes of building materials comparing the energy consumption per unit of material (MJ/m²) in different building solutions. In 1979 the *Advisory Council on Historic*

Preservation publishes the report *Assessing the Energy conservation benefits of historic preservation: Methods and examples* in which the *embodied energy* indicates the energy used for the extraction of raw materials and setting up of finished material, to demonstrate the saving of matter and energy of renovation project compared to new building. Today, despite the complexity of the factors, the contribute to the quantification of the *embodied energy* as a function of the related operative contest, the experts stated that:

- *initial embodied energy* (that is worth 75-80% of total *embodied energy* of a building material during its whole life cycle) is divided in *primary energy* (used for extraction of raw materials, transportation, manufacturing and production of materials, site transfer) and *direct energy* (used during the construction phase);

variabili	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riutilizzati} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
definizione	Energia incorporata dai materiali o componenti edilizi preesistenti	Energia incorporata dai materiali da demolire perché non idonei	Energia incorporata dai materiali che contribuiscono alla PR	Rapporto tra l'EE residua e l'EE originaria	Prestazione offerta dall'elemento tecnico preesistente (ETP)	Rapporto tra prestazione richiesta dalla nuova destinazione d'uso e prestazione residua	Prodotto tra indice di prestazione residua ed energia incorporata efficace
metodo di calcolo	LCI	LCI	EE _{originaria} - EE _{riutilizzati}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Relativa alla tipologia di ET considerato	P _{residua} /P _{richiesta}	IPR*EE _{eff}
unità di misura	MJ/kg	MJ/kg	MJ/m ²	tra 0 e 1	Relativo alla stratificazione funzionale	%	%
fase della valutazione	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale	pre-progettuale

edificio, l'*embodied energy* e la «prestazione tecnologica residua» (Antonini, 2004) rappresentano due importanti indicatori da interfacciare per poter definire preliminarmente il potenziale ambientale del costruito esistente.

Embodied energy efficace ed indicatore di prestazione residua

La riqualificazione di un edificio dipende dal suo stato di degrado e tecnicamente può richiedere interventi di sostituzione o riutilizzo e implementazione dei componenti edilizi esistenti. Adesso, dato che l'*exergia* di un sistema termodinamico è la parte di lavoro che esso è ancora in grado di svolgere², considerando l'edificio esistente come un sistema composto da elementi tecnici che forniscono prestazioni tecnologiche – assunte come lavoro –, si tratta di calcolare l'*embodied energy* (EE) “efficace” della parte di materiali e componenti ancora in grado di contribuire alla prestazione tecnologica residua (PR) in funzione del loro stato di conservazione.

Operativamente, definiamo l'indice di prestazione residua (IPR) di ogni elemento tecnico come il rapporto tra la prestazione of-

- *recurring energy* (used for the building maintenance activities);
- *disposal embodied energy* (used for final demolition and disposal of building) (Dixit et al., 2010).

To calculate the *embodied energy* of building components using methodologies based on LCA methodologies, it is possible to associate the environmental impacts on resource exhaustion, greenhouse effect, environmental degradation and biodiversity reduction. However, the today's approaches require a very accurate inventory analysis and boundaries definition within each process.

Particularly, if we evaluate avoided environmental impacts by renovating pre-existing building compared to new building, the indicators should take into account the construction techniques, technologies and production processes often not so clear identifiable

(Menzi, 2011). On the other hand, while a refurbished building offers energy performances similar to a new one, it has been demonstrated that the reduction of effects on climatic changes (in GWP/m²/y) depends on the use of low environmental impact materials having high energy performances (Preservation Green Lab, 2012). Moreover, it is necessary to evaluate the environmental impacts avoided as a function of «building characteristics related to new use and refurbishment technical options» (Baker, 2009).

In this scenario, starting from building materials and components, the *embodied energy* and «the technological residual performance» (Antonini, 2004) represent two important indicators to be interfaced to preliminary define the environmental potential value of built environment.

ferta e quella richiesta dalla nuova destinazione d'uso (Fig. 1).

Esso dipende:

- dal valore di EE_{residua} espressa in MJ/m² a partire da MJ/kg, assumendo quale unità funzionale di riferimento la stratificazione tecnologica analizzata;
- dal valore di EE_{efficace} riferita ai soli materiali utili alla prestazione, ridotta della quota di EE_{riutilizzati} che non viene conteggiata in quanto perduta, ottenuta dal rapporto EE_{residua}/EE_{originaria} (compreso tra 0 e 1).

Deriva che il potenziale ambientale residuo (PA) è dato:

- dal prodotto tra IPR ed EE_{efficace}. Il valore 100 indica che i materiali originari sono interamente utili alla nuova prestazione, mentre valori via via inferiori indicano la necessità di integrazioni materiche con conseguente aumento dell'EE_{finale} = EE_{residua} + EE_{aggiunta}.

Pertanto, a parità di prestazione tecnologica, si potranno confrontare soluzioni alternative di progetto avendo cura di far crescere il meno possibile il valore EE_{finale} adottando materiali a limitata impronta ecologica (Schwartz et al., 2018).

Embodied energy efficient and residual performance index

The refurbishment of a building depends on its state of decay and technically it can require substitution or reuse and implementation of existing building components. The *exergy* of a thermo-dynamic system is the work that it can still make². Considering the existing building as a system composed of technical elements that provide technological performances -taken as work-, it comes to consider the *embodied energy* (EE) “efficient” of materials and components as a function of their state of conservation, still able to contribute to residual technological performance (RP).

Effectively, we define residual performance index (RPI) of each technical elements as a ratio between the offered performance and the one required by new use destination (Fig. 1).

It depends on:

- the value of EE_{residua} expressed in MJ/m² starting from MJ/kg, assuming technological stratification analysed as functional unit;
- the value of EE_{efficient} only referred to the materials providing technological performance, reduced by the proportion of EE_{waste} that cannot be calculated because lost, calculated by the ratio EE_{residua}/EE_{previous} (between 0 and 1).

Stem so that the residual environmental potential (REP) is calculated by:

- the product between RPI and EE_{efficient}. The value of 100 indicates that the originals material are entirely useful to new performance, while lower values indicate the need to material additions that cause an increase of EE_{finale} = EE_{residua} + EE_{added}. Therefore for the same technological performance, it will be possible

L'edificato storico di Sanluri: prime sperimentazioni

La sperimentazione ha interessato alcuni edifici in disuso tra quelli mappati nel Comune di Sanluri (CA), per definire il potenziale ambientale residuo e individuare ipotesi progettuali di riqualificazione a scopo residenziale o turistico-ricettivo; attività relativa al progetto di ricerca sul riuso del patrimonio abitativo dismesso in Sardegna, finanziato dal 2017 al 2019.

Sanluri è un comune del sud Sardegna sviluppatosi lungo gli assi stradali storici isolani: dalla Fondazione di Sardegna fino al 1921 era dotato anche di un importante scalo ferroviario per il trasporto merci nell'Isola. Durante la dominazione spagnola, per la sua posizione strategica fu conteso tra Aragonesi e Sardi del Giudicato di Arborea. Nel 1409, dopo la "battaglia di Sanluri" (terminata con la quasi completa distruzione dell'abitato) il suo possesso passò definitivamente dagli spagnoli. Al termine della dominazione spagnola, Sanluri fu ricostruito insieme al Castello medievale, oggi principale attrazione turistica. Nel corso degli anni, Sanluri ha sofferto di un progressivo spopolamento al quale ha contribuito nel 2014 la chiusura dell'industria ferroviaria Keller con la perdita di ulteriori posti di lavoro e contribuendo all'abbandono di numerosi altri edifici.

La sperimentazione è partita dall'analisi socio-demografica del paese incrociata con la mappatura dell'abbandono dell'edificato. In totale 290 unità (pari all'8,1% del parco edificato totale) distribuite per lo più nel centro storico: 276 private, di cui 247 (pari all'89,5%) a destinazione residenziale; delle restanti 14 di proprietà pubblica, 10 a destinazione residenziale (Fig. 2). 153 edifici (52,8% del totale) sono realizzati in muratura portante in pietrame o mattoni di terra cruda (in sardo *lādiri* dal latino *later*,

to compare alternative solutions taking care not to increase so much the value of EE_{final} using material of low ecological footprint. (Schwartz et al., 2018).

Historical settlement of Sanluri: first evaluations

The application has been carried out on some disused buildings among those mapped in Municipality of Sanluri (CA), to define the residual environmental value and find design hypothesis as a residential purposes or touristic accommodations; this activity is related to the research project on reuse of abandoned housing stock in Sardinia, financed from 2017 to 2019. Sanluri is located in the south of Sardinia and developed along major historical roads of the island: since 1921 it also had an important railway freight in the Island. During Spanish

domination, because of its strategic location it was disputed by Aragonese and Sardinian people of Giudicato di Arborea. In 1409, after the "Sanluri battle" (ended with the almost completed destruction of the village), the city passed permanently to the Spanish. At the end of Spanish domination, Sanluri was rebuilt together with the Medieval Castle, the current first tourist attraction. During the years, Sanluri has suffered from a progressive depopulation which has contributed to the closure of the Keller railway industry in 2014, with the loss of further jobs, contributing to abandonment of several buildings.

Experimentation started from socio-demographic cross-analysis of the village also mapping abandoned buildings. A total of 290 units (the 8.1% of total built) principally distributed in old town: 276 private, 247 of them

argilla), solai e coperture in legno; il 7,2% con telaio in calcestruzzo e il restante 40% (116) in blocchi di calcestruzzo. Purtroppo, negli anni '60, la costruzione tradizionale in ladiri (tipica della casa a corte campidanese con ampi portici) è stata soppiantata dalla muratura portante in blocchetti di calcestruzzo e solai in latero-cemento, più rapida da costruire e a costi inferiori, con gravi perdite in termini di benessere abitativo ed efficienza energetica dell'involucro.

La sperimentazione ha tralasciato gli edifici a telaio in calcestruzzo perché numericamente poco rappresentativi del patrimonio in disuso. Per confrontare i dati, è stata ipotizzata una destinazione d'uso residenziale cui associare i valori di trasmittanza e sfasamento termico e portanza dei solai, assumendo i limiti di prestazione energetica di involucro di cui al DM "Requisiti minimi" del 26 giugno 2015 per edifici soggetti a riqualificazione edilizia (riferiti al 2021) e di portanza dei solai in base alle NTC del 2008.

L'operazione preliminare più delicata ha riguardato la scelta dell'*inventory* di dati ambientali da cui attingere: le peculiarità del costruito esistente e il numero di variabili in campo hanno suggerito l'adozione dell'*Inventory of Energy and Carbon* (ICE) di Hammond e Jones, dell'Università di Bath, edizione 2008.

L'ICE contiene i dati medi di EE (*embodied energy*) di 30 categorie principali di materiali riferita alla fase *cradle to gate*, dall'estrazione della materia prima alla sua trasformazione, fino al trasporto in cantiere. È previsto un valore min/max di EE in accordo con la letteratura di riferimento alla base dell'*inventory*, che tiene conto di condizioni operative specifiche dalle quali, caso per caso, potrebbero dipendere le variazioni del valore di EE di ogni singolo materiale. Gli edifici analizzati sono stati costruiti

(89.5%) as a intended residential use; the remaining 14 of public properties, 10 as a residential use (Fig. 2). 153 buildings (52.8% of the total) are realized in masonry stone or cob (in Sardinian language *lādiri* from *latin* later that means clay), wooden floors and roofs; the 7.2% in concrete frame and the remaining 40% (116) in concrete blocks. Unfortunately in the 60's, the traditional construction in ladiri (typical campidanese courtyard house with large porches) was substituted by bulk concrete masonry and hollow block floor, faster and cheaper to build; that causes heavy losses in terms of healthy living spaces and energy efficiency of the building envelope.

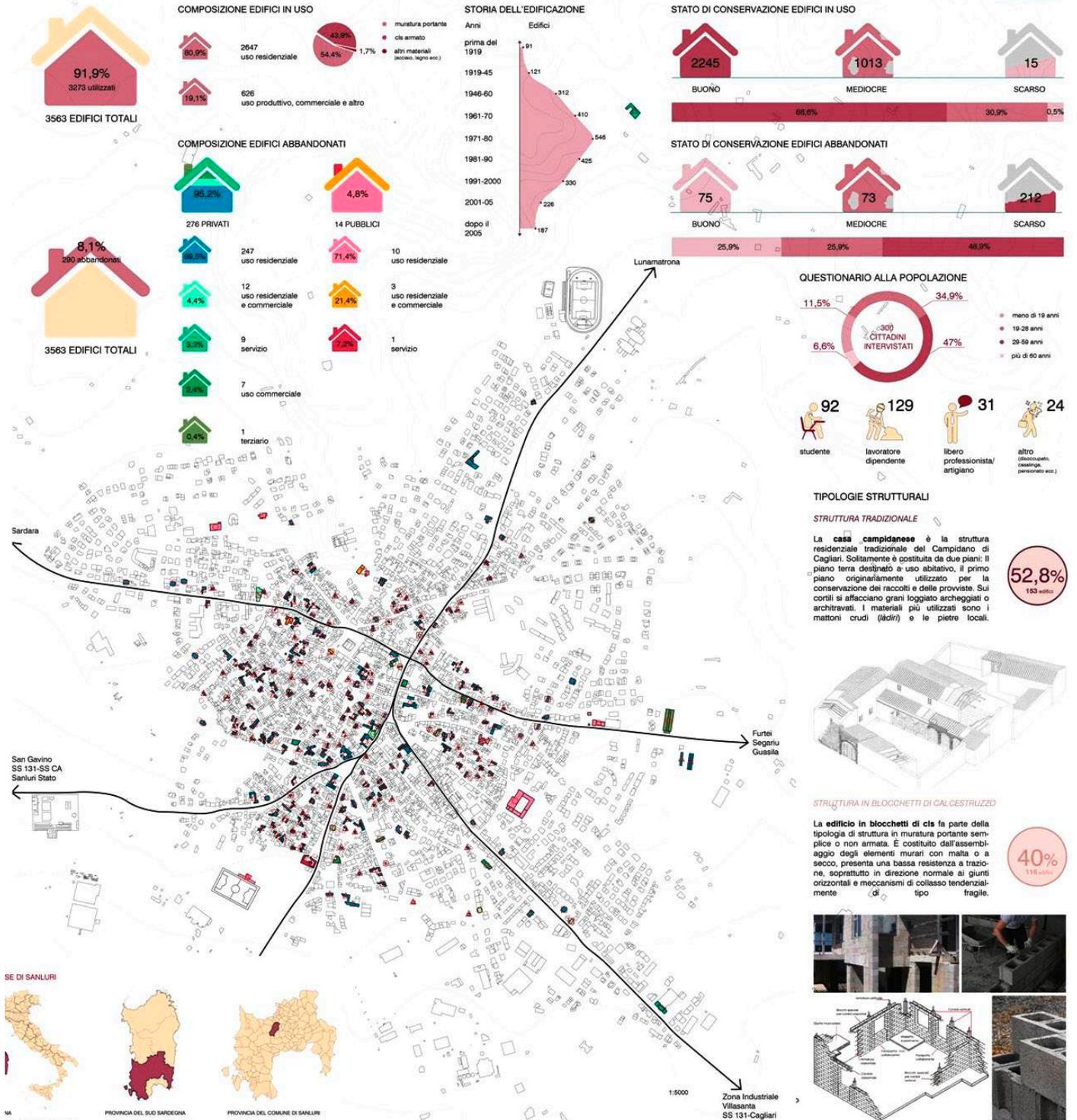
The experimentation has missed concrete frame buildings because numerically not representative of disused heritage. To compare data, an intended residential use has been suggested as-

sociating it thermal transmittance values and bearing capacity of the floors, assuming the energy performance of building envelope limits referred to Ministerial Decree "Minimum requirements" of 26 June 2015 for buildings to be renovated (referred to 2021) and bearing capacity of the floors based to Italian Construction Standards (NTC) of 2008.

The most delicate preliminary operation involved the choice of a more appropriate eco-inventory database. In this case, the peculiarity of existing buildings and the number of variables involved have suggested the adoption of *Inventory of Energy and Carbon* (ICE) by Hammond and Jones, University of Bath, edition of 2008.

The ICE contains the average data of EE (*embodied energy*) of 30 main categories of building materials referred to the *cradle to gate* phase, from extrac-

02 | GLI EDIFICI ABBANDONATI

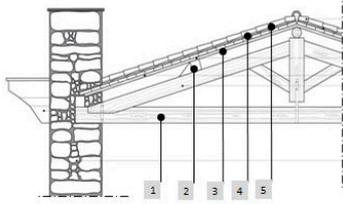


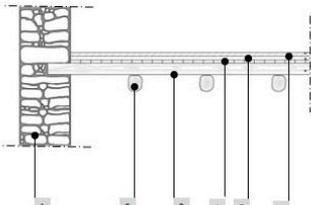
rispettivamente, nel 1948 quello in muratura in pietra e nel 1960 quello in blocchi di cls; considerato che in quel periodo i materiali da costruzione erano prodotti quasi *in situ*, si è assunto che il trasporto non abbia inciso granché. In tal caso, i valori di EE dovuti al trasporto sarebbero da considerare minimi o inesistenti. Tuttavia, si è ritenuto più corretto assumere i valori medi di *embodied energy* affinché i risultati fossero confrontabili con altre sperimentazioni su edifici simili.

Quindi, sono stati analizzati gli involucri e i solai intermedi scomponendoli in strati funzionali per redigere l'analisi d'inventario dei singoli materiali e calcolare il relativo valore di EE in funzione della relazione $EE_n = M_n \cdot (MJ/kg)_n$, dove M indica la densità in kg/m^3 di ogni n^{mo} materiale; si è così ottenuto il valore complessivo di EE per ogni elemento tecnico espresso in MJ/m^2 , assumendo la stratificazione tecnologica come unità funzionale di riferimento (Fig. 3, 4, 5).

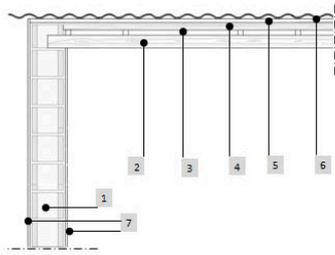
Il calcolo ha evidenziato che la struttura portante in pietra calcarea dell'edificio 1 incide per il 96% sul totale dell'EE dell'elemento tecnico, pur per bassi valori di EE per unità di peso; nella copertura, la capriata in legno incide per il 39% e le tegole per il 36% dell'EE totale dell'elemento; altrettanto si nota per la semplice struttura in legno di copertura dell'edificio 2. Nel solaio a struttura in legno dell'edificio 1, l'EE degli elementi strutturali ammonta al 58% del totale dell'EE dell'elemento.

Il valore dell'*embodied energy* efficace per la prestazione residua, nella maggior parte dei casi, è pari ad 1 perché in base allo stato di conservazione è possibile riutilizzare tutti i materiali preesistenti intervenendo per "addizione" di materia. Nei solai di copertura o intermedi, tale valore diminuisce della quota di EE_{rif} (pari a $9,22 MJ/m^2$) persa a seguito della rimozione degli strati di livellamento in malta di calce e sabbia, per introdurre l'isolante o per consolidare i preesistenti elementi strutturali. Il basso indi-

Copertura in legno edificio 1		Materiali	Funzione	Densità (kg/m ³)	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m ²)	Incidenza
 <p>Copertura Superiore Inclinata su capriata e struttura secondaria in legno; tavolato e manto in tegole.</p>	1	Capriata in legno	strutturale/sostegno	640	20*20	7,4	378,88	39%
	2	Struttura secondaria (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	68,20	7%
	3	Tavolato in legno	sostegno finitura	640	3	7,4	142,08	14%
	4	Listellini in legno	Supporto finitura	640	2*2	7,4	39,78	4%
	5	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	354,90	36%
EE_{totale}							983,84	

Involucro calcareo/Solaio intermedio		Materiali	Funzione	Densità (kg/m ³)	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m ²)	Incidenza	
 <p>Struttura di elevazione verticale in pietrame calcareo compatto Partizione intermedia su travatura primaria e secondaria in legno; tavolato; massetto in calce e pavimento in graniglia di cemento.</p>	1	Muratura in pietra calcarea	Strutturale	2000	62*	1,15	1426,00	96%	
	5	Intonaco in calce	Supporto e livellamento	1500	3*	1,16	52,20	4%	
	EE_{totale}							1478,20	
	2	Struttura principale (20*16cm)	strutturale/sostegno	640	20*16	7,4	303,10	58%	
	3	Struttura secondaria (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	136,40	26%	
	4	Tavolato in legno	Sostegno e distribuzione carichi	640	3	7,4	142,08	27%	
5	Massetto in calce	Supporto e livellamento	1800	3	0,61	9,22	2%		
6	Pavimento in graniglia di cls	Finitura	3000	3	4,29	234,23	45%		
EE_{totale}							521,93		

05 |

Involucro e Copertura edificio 2		Materiali	Funzione	Densità (kg/m ³)	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m ²)	Incidenza	
 <p>Struttura di elevazione verticale in blocchi di calcestruzzo prefabbricati Chiusura superiore inclinata su travatura primaria, listelli e tavolato in legno; massetto in calce e finitura in tegole laterizie</p>	1	Blocchi in cls	Strutturale	2000	30	0,71	426,00	85%	
	7	Intonaco (cementizio)	Finitura	1600	3*	1,55	74,40	15%	
	EE_{totale}							500,40	
	2	Struttura principale (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	272,79	52%	
	3	Listelli in legno (4*4)	sostegno	640	4*4	7,4	22,73	4%	
	4	Tavolato in legno	Distribuzione carichi	640	3	7,4	142,08	27%	
	5	Strato in calce	Supporto e livellamento	1800	3	0,61	9,22	2%	
6	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	354,90	67%		
EE_{totale}							528,94		

ce di prestazione residua (IPR) di involucri e coperture dipende dall'alta trasmittanza termica (Fig. 6); l'IPR del solaio cresce fino al 42,5% grazie alla portanza residua.

In genere, IPR e PA si equivalgono ove sia possibile sfruttare tutta la materia preesistente, mentre il PA diminuisce in caso di rimozione di materia e cresce al crescere dell'IPR, se l'elemento tecnico è ancora in grado di fornire prestazioni tecnologiche relative al nuovo uso (Fig. 7).

Infine, si sono confrontate due alternative per migliorare l'efficienza energetica delle coperture ed ottenere trasmittanze conformi ai limiti di legge pari a 0,30W/m²K. Impiegando rispettivamente un pannello di sughero da 12 cm ($\lambda = 0,045$ W/mK), avente valore di EE=4 MJ/kg e un pannello in EPS da 9cm ($\lambda = 0,033$), avente EE=88,6 MJ/kg, a parità di trasmittanza, si evidenzia un sensibile aumento al m² dell'EE_{finale} nel caso dell'EPS

tion of raw material to its transformation, until the transport in the building site, excluding construction phase. A min/max EE value is expected according to the referring literature on the basis of eco-inventory, taking account of specific operating conditions from which each individual case of EE value variations of each materials might depend on. The tested buildings were respectively built in, 1948 the one in limestone masonry and in 1960 the one in load bearing concrete blocks masonry. Considering that in those periods more materials were almost produced in-situ, the EE values of transport should be considered minimum or inexistent. However, it was considered more appropriate to take the average values of embodied energy, excluding variation due to specific operating conditions, to compare results to other experimentation on similar buildings.

So that, the envelopes and intermediate floors were tested by splitting them in technological layers in order to draw up the inventory analysis of each materials and calculate the related EE value as a function of the relationship $EE_n = M_n \cdot (MJ/kg)_n$, where M indicates the density expressed in kg/m³ of each material; in this way, total EE value was obtained for each technical elements, expressed in MJ/m², considering the technological stratification as functional unit (Fig. 3, 4, 5). The calculation showed that the limestone masonry of the building 1 accounts for 96% of the total EE of technical element, even for low EE value per weight unit; regarding the wooden roof truss, it accounts for 39% and the clay roof tiles for the 36% of the total EE of technical element. The same was noticed regarding the single-pitched wooden roof of building 2. In the

rispetto al sughero, oltrechè una incidenza % rispetto ai valori di EE degli altri componenti, a dimostrazione dell'importanza dell'uso di materiali a bassa impronta ambientale (Fig. 8).

Conclusioni

L'ampia variabilità dei dati di EE di materiali e processi produttivi delle *inventory* oggi disponibili reca un margine di approssimazione alle sperimentazioni analitiche, crescente quando si opera sull'esistente. Tuttavia, riuscire a definire il potenziale ambientale del costruito, ottimizzandone energia e risorse, è un primo passo per limitare gli effetti ambientali misurabili indotti sui cambiamenti climatici e sul consumo di risorse non rinnovabili. Inoltre, a partire dalle prestazioni residue, il successivo confronto tra energia spesa e materia impegnata potrà contribuire a stimare l'efficienza tecnologica delle soluzioni costruttive in chiave

wooden floor of building 1, the structural elements EE accounts for 58% of the total EE of element. The embodied energy efficient value of the residual performance, in most cases, is equal to 1 because considering the conservation state it is possible to reuse all pre-existing materials by adding new matter. In roof slabs or intermediate floors, this value decreases in the proportion of EE_{inf} (equal to 9.22 MJ/m²) lost after removal of leveling layers of lime and sand mortar, to insert thermal insulating layer or to strengthen the pre-existent structural beams. The low index of residual performance (RPI) on horizontal envelope and covering depends on the high thermal transmittance (Fig. 6); the floor RPI grows till the 42.5% thanks to the residual bearing capacity. Generally, RPI and EP are equivalent where it is possible to use all the pre-

existent matter, whereas EP decreases in case of matter removal and growths together with the RPI, if the technical element is still able to furnish technological performances referring to the new use (Fig. 7). Finally, two alternatives to improve covering energy efficiency were compared to obtain transmittance compliant with legal limits equal to 0.30 W/m²K. Using respectively a cork panel of 12 cm ($\lambda = 0,045$ W/mK), EE = 4 MJ/kg and a EPS panel of 9 cm ($\lambda = 0,033$), EE=88,6 MJ/kg, considering the same transmittance, there is a substantial increase of EE_{finale} per m² for the EPS compared to the cork one. In addition there is a percentage incidence considering the EE values of the other components, that demonstrates the relevance of using materials with low environmental footprint (Fig. 8).

Involucro in calceare	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riifiuti} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	(W/m ² K)	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	–	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE _{originaria} – EE _{riifiuti}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Trasmittanza termica involucro		IPR/EE _{eff}
Valori	1478,2	0	1478,2	1	1,72	20,93	20,93

Involucro in blocchi di cls	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riifiuti} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	(W/m ² K)	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	–	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE _{originaria} – EE _{riifiuti}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Trasmittanza termica involucro		IPR/EE _{eff}
Valori	500,4	0	500,4	1	2,32	15,52	15,52

Solaio intermedio	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riifiuti} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	Kg/m ²	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	–	Viene rimosso il massetto in calce; il pavimento viene	EE _{originaria} – EE _{riifiuti}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Considerando la struttura principale ed il tavolato		IPR/EE _{eff}
Valori	521,93	9,22	512,71	0,98	85	42,5	41,75

06 | Tabella calcolo indicatori IPR e PA Involucro e solaio

Calculation table index IPR and PA: limestone masonry and concrete blocks; intermediate floor

Copertura_Ed 1	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riifiuti} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	tra 0 e 1	(W/m ² K)	%	IPR/EE _{eff}
Note/Formola di calcolo	–	Tutti i materiali sono riutilizzabili	EE _{originaria} – EE _{riifiuti}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Trasmittanza termica copertura		da 0 a 1
Valori	983,84	0	983,84	1	1,75	19,43	19,43

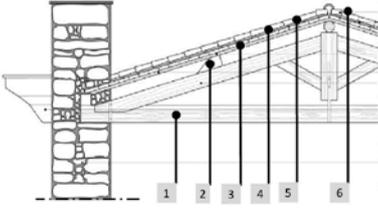
Copertura_Ed 2	Embodied Energy _{originaria} (EE _{orig})	Embodied Energy _{riifiuti} (EE _{rit})	Embodied Energy _{residua} (EE _{res})	Embodied Energy _{efficace} (EE _{eff})	Prestazione Tecnologica Residua (PR)	Indice di Prestazione Residua (IPR)	Potenziale Ambientale (PA)
UM	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²	%	W/m ² K	%	da 0 a 1
Note/Formola di calcolo	–	Viene rimosso lo strato in calce	EE _{originaria} – EE _{riifiuti}	EE _{residua} /EE _{originaria}	Trasmittanza termica copertura		IPR/EE _{eff}
Valori	528,94	9,22	519,72	0,98	1,63	20,9	20,50

07 | Tabella calcolo indicatori IPR e PA Coperture edifici 1 e 2

Calculation table index IPR and PA: pitched roof of build 1 and simple pitched roof, build. 2

Conclusions

The wide EE data variability of mate-

Copertura in legno edificio 1	Materiali	Funzione	Densità (kg/m ³)	Dimensione (cm)	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Energy (MJ/m ²)	
 <p>Copertura Superiore Inclinata su capriata e struttura secondaria in legno; tavolato e manto in tegole.</p>	1	Capriata in legno	strutturale/sostegno	640	20*20	7,4	378,88
	2	Struttura secondaria (12*12cm)	strutturale/sostegno	640	12*12	7,4	68,20
	3	Tavolato in legno	sostegno finitura	640	3	7,4	142,08
	4	Listellini in legno	Supporto finitura	640	2*2	7,4	39,78
	5.a	EPS ($\lambda=0,033W/mK$)	Isolamento termico	25	8	88,6	265,80
	5.b	Sughero ($\lambda=0,045W/mK$)		110	12	4	52,80
6	Manto in tegole	Protezione/Finitura	1500	45*14	6,5	354,90	
						EE_{totale} (eps)	1249,64
						EE_{totale} (sughero)	1036,64

di *decoupling* delle risorse (Xue, 2014), favorendo l'adozione di materiali a bassa impronta ecologica ed alta efficienza prestazionale. L'interesse di questi scenari operativi suggerisce ulteriori approfondimenti e sviluppi di quanto presentato per definire, oltre che un approccio progettuale, anche una base operativa utile alle pubbliche amministrazioni per avviare una programmazione territoriale eco-consapevole.

NOTE

¹ Un'abitazione più sicura ed efficiente e rispettosa dell'ambiente è preferita dal 70% degli intervistati da Ipsos Public Affairs.

² Dopo gli studi di fine XVIII° sec., R. Zant ne formalizza il concetto negli anni '50. L'exergia per un sistema chiuso è definita come la funzione di stato che fornisce il lavoro massimo ottenibile dal sistema nel portarlo all'equilibrio con l'ambiente.

rials and manufacturing processes of today's inventory implicates a margin of approximation for analytical experimentations, that increases when working on the pre-existing buildings. However, turn out to define the built environmental potential, by optimizing energy and resources, is the first step to limit the countable environmental impacts in climatic changes and consumption of non-renewable resources. Moreover, starting from residual performances, the subsequent comparison between used energy and used matter will be able to contribute to estimate the technological efficiency of constructive solutions in terms of decoupling of resources (Xue, 2014), promoting the adoption of low ecological footprint material and high efficiency performance. The interest of these operating scenarios suggest further detailed studies and developments

regarding what showed to define, not only a design approach but also an operating base useful to public administrations to enhance an eco-informed approach for a territorial planning.

NOTES

¹ A house more safer and efficient, environmental friendly, is preferred by 70% of interviewed by Ipsos Public Affairs

² After studying late 18th century, R. Zant states the notion in the 1950s. The *exergy* in a closed system is the function of state providing maximum work to get it in equilibrium with its environment.

REFERENCES

Caterina, G. (2016), "Strategie innovative per il recupero delle città storiche", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 12, pp. 33-35.

Giebler, G. and Kahlfeldt, P. (2009), "Il costruire come work in progress: riflessioni sugli interventi con l'esistente", in Giebler, G. et al. (Eds.), *Atlante della riqualificazione degli edifici. Modificazione, manutenzione, ampliamento*, UTET Scienze Tecniche, Turin, pp. 16-19.

Douglas, J. (2011), *Building Adaptation*, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.

ENEA (2017), *Rapporto Annuale - Detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio esistente*, Rome.

Ecorys and Copenhagen Resource Institute (2014), "Resource efficiency in the building sector", available at: [http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource efficiency in the building sector.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf).

Ruuska, A. and Häkkinen, T. (2014), "Material Efficiency of Building Construction", *Buildings*, Vol. 4, pp. 266-294.

Gartner, E.M. and Smith, M.A. (1976), "Energy cost of house construction", *Energy Policy*, Vol. 4, No. 2, pp. 144-157.

Dixit, M.K, Fernández-Solís, J-L., Lavy, S. and Culp, C.H. (2010), "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review", *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 1238-1247.

Menzies, G.F. (2011), *Embodied energy considerations for existing buildings*, Research report, Technical Paper 13 of Historic Scotland Research, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.

Preservation Green Lab (2012), *The Greenest Building: Quantifying the Environmental Value of Building Reuse*, available at: https://living-future.org/wp-content/uploads/2016/11/The_Greenest_Building.pdf.

Baker, N.V. (2009), *The Handbook of Sustainable Refurbishment*, Gutenberg Press, Malta.

Antonini, E. (2004), "Valutazione dell'idoneità tecnica al reimpiego di componenti edilizi", in Gangemi, V. (Ed.), *Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, Naples.

Schwartz, Y., Raslan, R. and Mumovic, D. (2018), "The life cycle carbon footprint of refurbished and new buildings - A systematic review of case studies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, pp.231-241.

Xue, J. (2014), *Economic Growth and Sustainable housing: an un easy relationship*, Routledge, Oxford, UK.

Le membrane strutturali in architettura: una soluzione eco-efficiente per il futuro?

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Carol Monticelli, Alessandra Zanelli,

Dipartimento di Architettura, Ambiente Costruito e Ingegneria delle Costruzioni, Politecnico di Milano, Italia

carol.monticelli@polimi.it

alessandra.zanelli@polimi.it

Abstract. Il saggio racconta la ricerca durante i quattro anni della *EU-COST Action TU1303 Novel Structural Skins (2014-17)*, in cui gli autori hanno coordinato il *Working Group 2: Sustainability and Life Cycle Analysis of structural skin*. Il primo obiettivo è stato indagare le tendenze di ricerca nell'ambito delle applicazioni innovative di membrane strutturali, le performances ambientali e la durabilità dei materiali tessili in un'ottica del ciclo di vita. Si sono poi sviluppati alcuni principi di sostenibilità delle membrane, quali strategie per un progetto più consapevole, e definiti tre principi preliminari a un approccio LCA ottimizzato per le strutture a membrana. La loro applicazione, nelle prime fasi progettuali, è finalizzata alla verifica di vantaggi e svantaggi e del corretto sfruttamento delle proprietà dei materiali a membrana nel contesto del progetto.

Parole chiave: Eco-efficienza; Membrane; Architettura tessile; Riciclo; Principi progettuali.

Introduzione

Oggi lo sviluppo di nuovi materiali tessili e film sintetici e il progressivo miglioramento delle soluzioni costruttive e dei dettagli tecnici, convalidati dalla prassi e altamente reversibili, ampliano le possibilità del progettista, che tende a proporre soluzioni dirompenti, basate sul trasferimento di materiali potenzialmente interessanti (per estetica, funzionalità o prestazioni) da altri settori applicativi più avanzati rispetto al campo dell'architettura.

In altre parole, si registrano in parallelo due fenomeni conflittuali. Da un lato, i materiali tessili sono diventati più diversificati (Fig. 1) e la loro sempre maggiore diffusione in molti campi tecnici è dovuto alla possibilità di personalizzare il loro processo di produzione in base a requisiti specifici. Dall'altro lato, l'estetica tipica della tensostruttura in trazione, la più facile da realizzare anche oggi, – la cosiddetta “tenda a gobba”, *hump tent* (Goldsmith, 2016) – ha ampiamente inibito la creatività dei designer meno esperti. Tuttavia è riscontrabile come i progettisti

apprezzino sempre più i materiali a membrana, sia per scopi estetici, sia per l'ammodernamento o la ristrutturazione, come involucri ultra leggeri o sistemi di rivestimento per facciate.

In questo scenario, il successo delle membrane tessili, sottili e flessibili e ben adattabili a nuove ricerche espressive, è riferibile principalmente all'utilizzo diffuso di strutture leggere o a installazioni temporanee dove il processo di installazione deve essere semplice e veloce; in entrambe le situazioni, la tecnologia tessile è vincente su altri sistemi costruttivi grazie al peso molto ridotto: per esempio i sistemi fluoropolimerici trasparenti possono pesare intorno a 0,2-0,5 kg/mq, mentre i sistemi a membrana tessile multistrato possono pesare da 0,5 kg/mq fino a 2 kg/mq in caso debbano resistere a condizioni di carico estreme. Fibre e granulo di polimero possono essere combinati in diversi modi, creando materiali personalizzati. Tuttavia, questa vasta gamma di potenzialità non è stata ancora pienamente sfruttata dai designer. Il 90% delle strutture a membrana è costituito da una gamma molto limitata di prodotti disponibili, così come la maggior parte delle architetture tessili si riferisce a un numero molto limitato di materiali compositi flessibili: PVC/poliestere (utilizzato in forma di tessuto impermeabile o protezione solare a maglie aperte), PTFE/vetro, silicone/vetro, tessuto ePTFE (Tenara®) e film ETFE, utilizzato quest'ultimo principalmente per cuscini pneumatici trasparenti.

Il trasferimento tecnologico dai settori più avanzati, quali l'automobilistico e il nautico, rappresenta lo scenario di innovazione più interessante per l'architettura tessile, che è sempre alla ricerca di materiali da costruzione più efficienti e performanti, al contempo eco-efficienti dal punto di vista ambientale.

Oggi è sempre più necessario sviluppare componenti edilizi che

Structural membranes
in architecture: an eco-
efficient solution for the
future?

Abstract. The essay concerns the research conducted during the four years of the *EU-COST Action TU1303 Novel Structural Skins (2014-2017)*, in which the authors coordinated the *Working Group 2: Sustainability and Life Cycle Analysis of structural skin*. The first objective was to investigate research trends in innovative applications of structural membranes, environmental performances and durability of textile materials in a life cycle perspective. Then, some principles of membrane sustainability have been developed, such as strategies for a more informed project, and three prerequisites for a Life Cycle Assessment (LCA) approach optimized for membrane structures have been identified. Their application, in the early design phases, is aimed at verifying the advantages and disadvantages, and the correct exploitation of the properties of membrane materials in the architectural design context.

Keywords: Eco-efficiency; Membranes; Textile architecture; Recycling; Design principles.

Introduction

Today, the development of new textile materials and synthetic films and the progressive improvement of constructive solutions and technical details, validated by practice and highly reversible, widen the possibilities of the designer, who tends to propose disruptive solutions, based on the transfer of potentially interesting materials (for aesthetics, functionality or performance) from other application sectors more advanced than the field of architecture.

In other words, two conflicting phenomena are recorded in parallel. On the one hand, textile materials have become more diversified (Fig. 1) and

their increasing popularity in many technical fields is due to the possibility of customizing their production process according to specific requirements. On the other hand, the typical aesthetics of tensile structure, the easiest to realize even today, – the so-called “tenda a gobba”, *hump tent* (Goldsmith, 2016) – has largely inhibited the creativity of less experienced designers. However, the designers are increasingly appreciating membrane materials, both for aesthetic purposes and for modernization or renovation, such as ultra-light envelopes or façade cladding systems.

In this scenario, the success of textile membranes, thin and flexible and well adaptable to new expressive research, is mainly due to the widespread use of light structures or temporary installations where the installation process must be simple and fast; in both

– a parità di prestazione in uso – impieghino meno materia, e la utilizzino in modi compatibili con la chiusura dei cicli produttivi a fine vita. Le membrane strutturali sfruttano da sempre quantità minime di materiale per coprire uno spazio, rispetto ai comuni materiali d’involucro, e inoltre si sono evoluti secondo due diverse tendenze legate ai progressi e alle potenzialità dei materiali dell’industria chimica e tessile.

Da un lato si registra l’uso delle membrane mono-componente, quali ePTFE Tenara e di film trasparenti, come l’ETFE. Dall’altro lato sovente la scelta dei progettisti ricade su membrane multi-componente, composte da uno strato tessile e più strati di finissaggio particolari. Da un’analisi delle applicazioni (Busi, 2015) emerge come la seconda tendenza prevalga e sia ampiamente più diffusa rispetto alla scelta del mono-componente.

Un’altra osservazione rilevante riguarda il cambiamento evolutivo dei tempi d’uso dei sistemi tessili: sono nati come dispositivi temporanei, spesso con cicli brevi di utilizzo, ma da recenti indagini e quantificazioni sulle attuali destinazioni d’uso emerge come siano sempre sistemi permanenti, con durate di vita simili a quelli tradizionali.

Questa tendenza giustifica la richiesta di sistemi tessili sempre più performanti, dal punto di vista termico, acustico e ottico, e la ricerca da parte dei produttori di finissaggi funzionalizzanti e possibili integrazioni con dispositivi attivabili chimicamente o elettronicamente. Purtroppo ciò implica un aumento dei componenti, tra loro matericamente diversi, e delle lavorazioni, quindi, di contenuto energetico ulteriore, per confluire poi verso un fine vita utile con volumi maggiori di materiali che dovranno poter essere disaggregati e smaltiti.

I produttori di tessili tecnici per l’architettura (film polimeri-

situations, textile technology is more successful than other construction systems thanks to its very low weight: for example, transparent fluoropolymer systems can weigh around 0.2-0.5 kg/m², while multi-layer textile membrane systems can weigh from 0.5 kg/m² up to 2 kg/m² in case they have to withstand extreme load conditions.

Polymer fibers and granules can be combined in different ways, creating custom materials. However, this wide range of potential has not yet been fully exploited by designers. 90% of membrane structures consists of a very limited range of available products, just as most textile architectures refer to a very limited number of flexible composite materials: PVC / polyester (used in the form of waterproof fabric or solar protection with open mesh), PTFE / glass, silicone / glass, ePTFE (Tenara®) and ETFE film, the latter

mainly used for transparent pneumatic cushions.

Technological transfer from the most advanced sectors, such as automotive and nautical, is the most interesting innovation scenario for textile architecture, which is increasingly looking for more efficient and performing building materials, and at the same time eco-efficient from the environmental point of view.

Today it is more and more necessary to develop building components that – with the same performance in use – involve less matter and are eco-efficient by closing the loop of the production process, thanks to virtuous end of life reuse or recycle approaches. Structural membranes have always used minimal amounts of material to cover a space, compared to common envelope materials, and have also evolved according to mainly two different trends linked

ci, membrane in tessuti rivestiti, non-tessuti, maglie) si stanno orientando verso l’eco-efficienza, sviluppando nuovi prodotti, al fine di conciliare sia il controllo delle emissioni pericolose (fase iniziale), sia il miglioramento delle prestazioni dei sistemi costruttivi leggeri (in fase d’uso), che l’ampliamento delle tecnologie di riciclaggio (a fine vita)¹.

In merito alla durata sempre più prolungata dei sistemi strutturali a membrana tessile, una ricerca condotta presso il Politecnico di Milano (Busi, 2015, Prevacini, Mangini, 2016) che ha mappato una casistica di 488 strutture realizzate, selezionandole tra quelle realizzate da alcuni dei principali produttori e installatori che si occupano dell’installazione dei più diffusi tessili tecnici presenti sul mercato. Da tale studio è emerso come le membrane siano sempre più impiegate in architetture con destinazioni d’uso molto diversificate e con una tendenza differente rispetto al passato. Le installazioni temporanee e le coperture di spazi aperti non prevalgono più rispetto alla loro integrazione in sistemi di involucro che prevedono una funzionalità lungo tutto l’arco dell’anno – come nel caso di edifici sportivi, culturali, per uffici, per il trasporto, per attività commerciali – e una necessaria integrazione di impianti di riscaldamento e raffrescamento. È evidente che le membrane sono sempre più impiegate per costruire edifici permanenti, con durate di vita maggiori a 25 anni, grazie alla possibilità di configurare sistemi di involucro o di copertura multi-strato chiusi e isolati.

Questo implica una richiesta di involucri altamente efficienti, con prestazioni sempre più simili alle soluzioni più tradizionali (Fig. 2). È emerso come anche la garanzia di durabilità dei prodotti sia aumentata grazie anche alla ricerca di migliori prestazioni, più stabili nel tempo, e alla ricerca chimica con l’aggiunta

to the material progress and the potential of the chemical and textile industry.

On one hand the use of mono-component membranes, such as ePTFE Tenara and transparent films, such as ETFE is under development. On the other hand, the choice of designers often falls on multi-component membranes, composed of a textile layer and several layers of particular coatings and/or finishes. From an in-depth analysis of the applications in architecture in the last 10 years (Busi, 2015), the second trend prevails and is more spread than the installation of the single component.

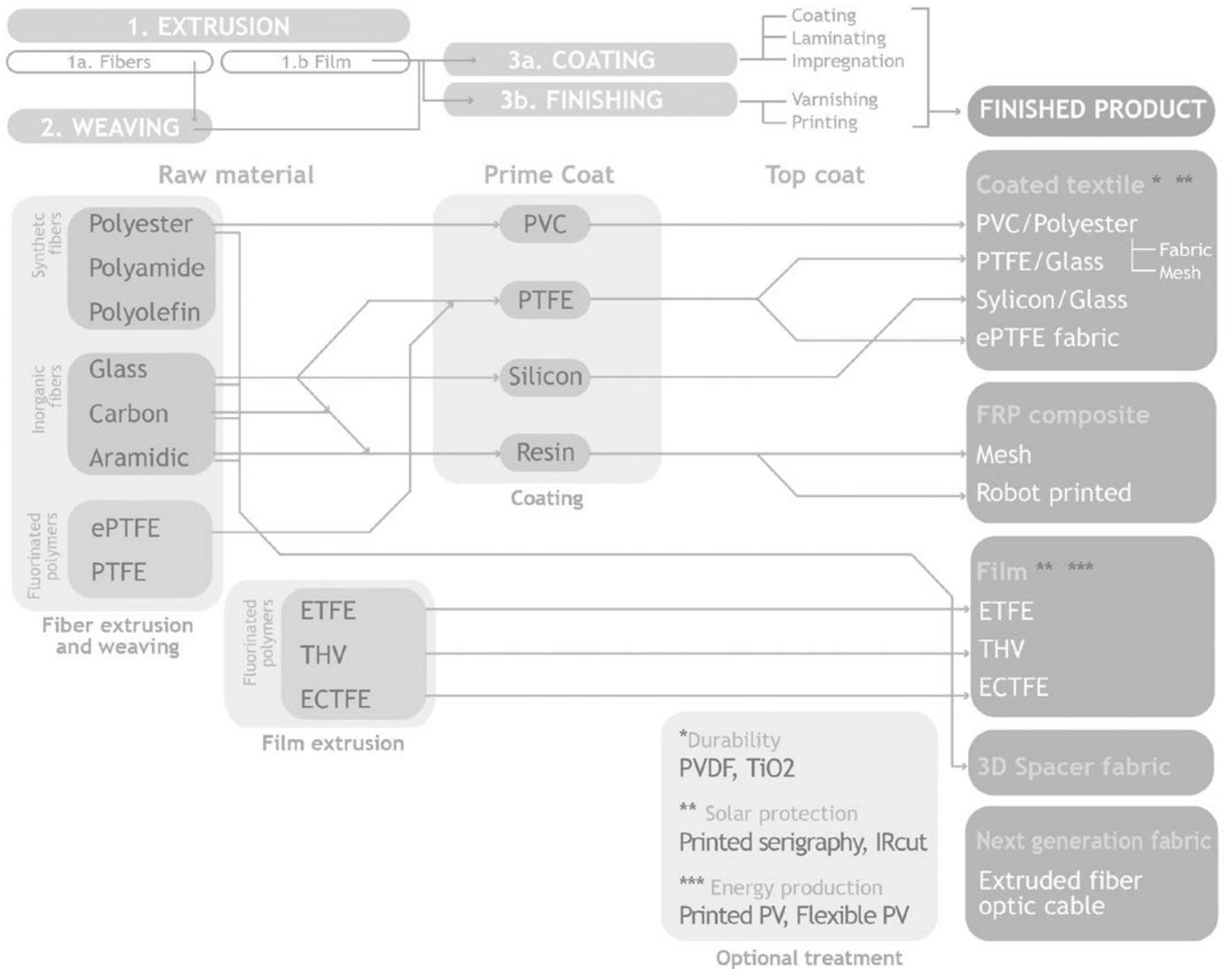
Another important observation regards the evolutionary change of the life span of textile systems in buildings: they were born as temporary structures, often with short life spans, but recent surveys and quantifications on

the current uses demonstrate that they are chosen to be mostly permanent systems, similar to the traditional ones.

This trend justifies the demand of ever more performing textile systems, from the thermal, acoustic and optical point of view, and the search of functionalizing finishing coatings and possible additions with chemically or electronically active devices. Unfortunately, this implies an increase of components, which are materially different from each other, and, therefore, a processing of a further energy content, to then flow towards a useful end of life with larger volumes of materials that must be disaggregated and disposed of.

Manufacturers of technical textiles for architecture (polymeric films, membranes in coated fabrics, non-woven fabrics, meshes) are moving towards eco-efficiency, developing new products, in order to improve both the

Fabrics and composite materials for architectural use. The type of finished products depends on their production chain (in gray). Performance can be improved by adding an optional treatment to the semi-finished product (Drawing made by the authors)



control of dangerous emissions during the materials' production (pre-operational phase in the life cycle) and the improvement of the physical technical performance of lightweight construction systems (operational phase in the life cycle) and the improvement of recycling technologies (at end of the life cycle)¹. Regarding the increasingly prolonged duration of textile membrane systems, a research was conducted at the Polytechnic University of Milan (Busi, 2015, Prevacini, Mangini, 2016) that mapped a series of 488 realized structures, selecting them among those carried out by some of the main producers and installers who deal with the installation of the most widespread technical textiles on the market. From this study it emerged how membranes are increasingly used in architectures with diversified uses and with a dif-

ferent trend compared to the past. Temporary installations and coverings of open spaces no longer prevail over the integration of membrane structural skins into enclosure systems that have to provide comfort throughout the year - as in the case of sport and cultural buildings, for offices, for transport, for commercial activities - with a necessary integration of heating and cooling systems. It is evident that membranes are increasingly used to be part of permanent buildings, with life spans longer than twenty-five years, thanks to the possibility of designing closed and isolated multi-layer housing or covering systems. This implies a demand for highly efficient and qualified closure systems, closer to that of the more massive solutions (Fig. 2). The guarantee of the durability of products has also increased thanks to the search for better perfor-

mance, more stable over time, and to chemical research with the addition of new additives making the membranes more resistant to obsolescence and external agents (Tab. 1).

Objectives of the research

The European research network TensiNet, active since 2004, continues its activity of sharing knowledge between different specialisms and overcoming the inevitable fragmentations that exist in a textile-manufacturing sector, characterized by continuous innovation and technological transfer and in a small limited compartment of the building sector, however lively and growing. Since 2007, the authors are collaborating within the TensiNet network with the aim of outlining an harmonized framework of local regulations in this field. The network is leading to the

implementation of the Eurocode for the design and verification of textile constructions. These activities aim to concentrate research on membrane constructions, to standardize test and analysis approaches in Europe and, sharing the state of the art, to guide innovation and development of new products and applications for structural skin, efficient from energy and environmental point of view. In the field of academic research on membrane structures, eco-efficiency is becoming a key theme, in order to gain full awareness of the embodied energy and the eco-profile of light materials and construction systems, aspects to be considered from the early stages of design. Most of the scientific results strongly emphasize the final eco-performance properties of a light membrane structure, rather than the information limited to a single mate-

di nuovi additivi per rendere più resistenti le membrane all'obsolescenza e agli agenti esterni (Tab. 1).

Obiettivi della ricerca

La rete di ricerca europea TensiNet, attiva dal 2004 continua nel suo lavoro di condivisione delle conoscenze tra specialismi differenti e di superamento delle inevitabili frammentazioni che si creano in un comparto tessile-manifatturiero, caratterizzato da continua innovazione e trasferimento tecnologico, e in una nicchia di comparto edilizio, comunque vivace e in crescita.

Dal 2007, gli autori stanno collaborando all'interno della rete TensiNet con l'obiettivo di tracciare un quadro armonizzato delle normative vigenti in materia a livello locale, che sta portando alla concretizzazione della stesura dell'Eurocodice per la progettazione e verifica delle costruzioni tessili. Queste attività mirano a concertare la ricerca sulle costruzioni a membrana, per standardizzare gli approcci di test e analisi in Europa e, condividendo lo stato dell'arte, per orientare l'innovazione e lo sviluppo di nuovi prodotti e applicazioni per le pelli strutturali, efficienti dal punto di vista energetico e ambientali.

Nell'ambito dell'attività di ricerca accademica sulle strutture a membrana l'eco-efficienza sta diventando un tema cardine, al fine di acquisire piena consapevolezza dell'energia incorporata e dell'eco-profilo dei materiali leggeri e dei sistemi di costruzione, da prendere in considerazione fin dalle prime fasi della progettazione. La maggior parte dei risultati scientifici rileva con forza le proprietà finali di eco-performance di una struttura leggera a membrana, piuttosto che le informazioni circoscritte al singolo materiale (Chilton et al., 2013; Monticelli et al., 2013).

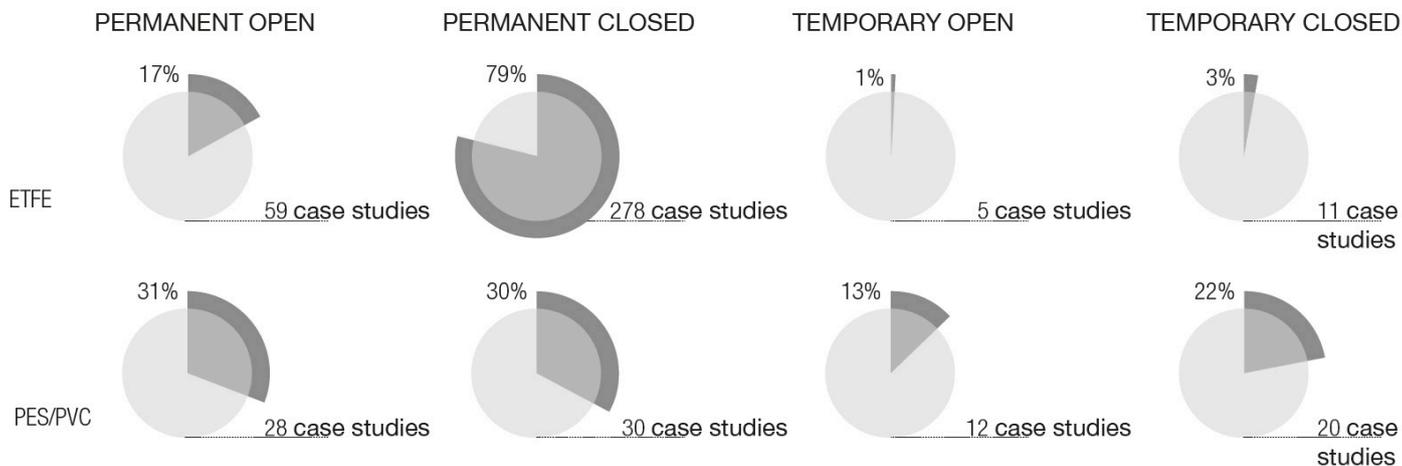
La rete si è rafforzata ulteriormente grazie allo scambio e alla

condivisione di esperienze tra ricerca, aziende e società di progettazione avvenute nell'azione europea *EU-COST TU 1303 - Novel Structural Skins: Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs* (EU-COST, 2018). Durante tale ricerca quadriennale (2014-2017), gli autori hanno coordinato i lavori del *WG 2 Sustainability and Life Cycle Analysis of structural skin*, per la comprensione delle prestazioni richieste e degli impatti ambientali di strutture a membrana e dei relativi materiali coinvolti e per la definizione di strategie di verifica dell'eco-efficienza delle scelte progettuali.

Un altro importante contributo è il lancio di un tavolo tecnico di lavoro multi-disciplinare *TensiNet-WG Sustainability and Comfort*, che, sempre tramite un lavoro di coordinamento, consente di concertare le esigenze dei diversi *stakeholders* e per i diversi livelli di azione (materiale, componente, edificio) sul tema in oggetto. Se la Cost-Action si è dimostrata essere maggiormente incentrata sulla ricerca accademica, il tavolo tecnico TensiNet - *WG Sustainability and Comfort* consente di rilanciare le attività impostate durante il precedente quadriennio, attraverso una più serrata sinergia tra accademia, industria e società di progettazione gravitanti nel network TensiNet.

Lo scopo della ricerca di seguito illustrata era rivolto alla elaborazione dei principi di eco-efficienza specifici per l'architettura delle membrane. Dall'indagine sullo stato dell'arte si sono sistematizzate le informazioni sull'eco-efficienza di tessuti, film e componenti a membrana e sull'applicazione della LCA alle architetture tessili, come base per la strutturazione di principi di eco-efficienza. Una matrice di confronto sui dati ambientali esistenti sulle membrane (impatti ambientali, EPD, riciclaggio e processi di up-cycling) e sugli studi LCA è uno degli esiti della

02 |



02 | Percentuali di utilizzo permanente e temporaneo dei sistemi a membrana con configurazioni aperte e chiuse, divise per tipo di materiale (Prevacini, Mangini, 2016)
Percentages of permanent and temporary use in open and closed configurations, divided by material (Prevacini, Mangini, 2016)

ricerca, che parte dal presupposto di una disomogeneità di dati e informazioni. Inoltre s'illustra la proposta di principi di eco-design per le membrane, definiti sulla base delle informazioni acquisite e dell'analisi delle esigenze sul campo, derivanti dal confronto di diretto con il network sopramenzionato.

Stato dell'arte dell'applicazione della LCA sui sistemi di costruzione di membrane

Come emerge da fonti di letteratura, le indagini sugli impatti ambientali dell'industria tessile per l'abbigliamento, il rivestimento dei mobili e l'architettura d'interni sono iniziate alcuni decenni fa, mentre l'interesse per l'impatto ambientale delle membrane per l'architettura è più giovane. Gli studi riguardano alcune fasi specifiche della filiera che possono essere correlate o simili alle stesse procedure nella catena di produzione per le membrane e possono suggerire le fasi rischiose della produzione.

In questa fase si sono individuati studi metodologici e studi LCA comparativi di prodotti tessili impiegati in altri settori, da riferimento per un possibile trasferimento all'architettura tessile. Un lavoro di sistematizzazione, con l'individuazione di diverse categorie, ha offerto spunti interessanti per il campo delle membrane in architettura: studi di valutazione LCA al livello di materiale e di prodotto (fibre tessili, tessuti per l'abbigliamento, agenti di coating per tessuti in PVC con altri presenti in commercio) (Smith, 1995; Bidoki, 2010; Fournier, 2009); di valutazione LCA del materiale nel settore tessile per l'abbigliamento, di ispirazione per gli approcci metodologici² (Subramanian et al., 2012; Kalliala, 2000; Dahllöf, 2004; Nieminen et al., 2007); di valutazione comparativa LCA di soluzioni alternative di componenti e sistemi

rial (Chilton et al., 2013, Monticelli et al., 2013).

The TensiNet network has strengthened further thanks to the exchange and sharing of experiences between research, companies and design companies that took place in the European action EU-COST TU 1303 - Novel Structural Skins: Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and designs (EU-COST, 2018). During this four-year research (2014-2017), the authors coordinated the work of the WG 2 Sustainability and Life Cycle Analysis of structural skin, for the understanding of the required performances and environmental impacts of membrane structures and related materials involved, and for the definition of strategies to verify the eco-efficiency of membrane design choices.

Another important contribution is the launch of a multi-disciplinary techni-

cal working group TensiNet WG Sustainability and Comfort, which, always through a coordination work by the authors, allows collecting the needs of the various stakeholders and for the various action levels (material, component, building) on the topic in question. If the Cost-Action proved to be more focused on academic research, the TensiNet technical table - WG Sustainability and Comfort allows the re-launching of the activities set during the previous four-year period, through a closer synergy between academy, industry and design companies that are members in the TensiNet network.

The purpose of the research hereby described was to elaborate eco-efficiency principles specific to membrane architecture. From the state-of-the-art survey, information on the eco-efficiency of fabrics, films and membrane components and on the application of LCA

to textile architectures as a basis for structuring, eco-efficiency principles have been systematized. A comparison matrix on the environmental data existing on membranes (environmental impacts, EPD, recycling and up-cycling processes) and on the LCA studies is one of the results of the research, which starts from the assumption of a lack of homogeneity of data and information. Furthermore, the proposal of eco-design principles for membranes, defined on the basis of the information acquired and the analysis of the needs in the field, deriving from the direct comparison with the aforementioned network, is illustrated.

edilizi, come *benchmarking* (Azari, 2012; Kim, 2011; Kosareo, 2007)³.

Nel campo delle membrane strutturali la letteratura mostra che gli studi LCA hanno approfondito, da un lato, l'eco-efficienza del film fluoropolimerico ETFE (etilene tetrafluoroetilene) rispetto ai tradizionali materiali da costruzione trasparenti (vetro (Robinson-Gayle, 2001) o PVC crystal, Policarbonato (Monticelli, 2010) e sistemi tradizionali per tetti o facciate di edifici (Monticelli et al., 2013); dall'altro l'eco-efficienza del tessuto poliestere PES/PVC rivestito con polivinilcloruro, che è il materiale tessile più comune per le membrane strutturali, rispetto a altri componenti di finitura per facciate (Cremers, 2014).

Gli studi condotti sull'eco-efficienza delle membrane in architettura non contemplano un intero ciclo di vita come limite del sistema nella valutazione LCA: molti di essi si focalizzano sugli impatti ambientali della fase di pre-uso dei materiali a membrana e sull'inventario dei componenti di tali sistemi a membrana, calcolando gli impatti in termini di consumo energetico per la produzione (energia incorporata) mostrando il contributo dei materiali della membrana stessi e dei loro sistemi di supporto (tipicamente in acciaio, alluminio e plastica) (Chilton et al., 2013; Monticelli, 2010; Cremers, 2014). Questi studi evidenziano come nella LCA di materiali di membrana, sintetizzati dal cracking di combustibili fossili, è preminente valutare gli impatti (e confrontarli con gli impatti dei materiali da costruzione tradizionali) per peso dei componenti (cioè kg/m² componente di costruzione), invece di un semplice confronto per unità di peso materiale (cioè kg di materiale da costruzione). Da qui emergono i vantaggi della leggerezza. In un recente studio (Maywald, 2016) l'LCA di una struttura pneumatica costruita con cuscini in

of the textile industry for clothing, furniture cladding and interior design began a few decades ago, while interest in the environmental impact of membranes for the architecture is recent. The studies cover some specific phases of the supply chain that may be related or similar to the same procedures in the production chain for the architectural membranes and may suggest the risky phases of production. In this phase we have identified methodological studies and comparative LCA studies of textile products used in other sectors, as a reference for a possible transfer to textile architecture. A systematic work, with the identification of different categories, offered interesting ideas for the field of architectural membranes: LCA evaluation studies at the level of material and product (textile fibers, clothing fabrics, coating agents for PVC fabrics with

State of the art regarding the application of the LCA on membrane construction systems

As evidenced by literature sources, surveys on the environmental impacts

Tab. I | Una matrice di confronto dei dati ambientali esistenti e delle informazioni sulle fasi del ciclo di vita dei tessuti e dei film utilizzati in architettura (Elaborazione degli autori)
 A comparative matrix of existing environmental data and information on the life cycle stages of fabrics and films used in architecture (Authors processing)

Tab. I |

	Types of membranes				
	PES/PVC	Fiber Glass/PTFE	PTFE fabric	ETFE foil	
Pre-use	EE [MJ/kg]	96÷113,3 [11, 12, 13, 14, 10, 12]	295 ⁽¹⁾	295 ⁽¹⁾	26÷337,3 [16, 17, 18, 4]
	EE [MJ/m ²]	54÷68 [11, 12, 13, 14, 10, 12]	-	-	315 for a 5-layer cushion [20] 326,2 for a 3-layer cushion [4]
	GWP [CO ₂ eq/kg]	4,6÷6,13 [11, 12, 13, 14, 10, 12]	-	-	89 [20] 170 for a 3layer cushion [4]
	GWP [CO ₂ eq/m ²]	2,2÷4,1 [11, 12, 13, 14, 10, 12]	-	-	137 for a 5-layer cushion [20]
	Durability of material (yrs)	10, till 30 [2]	25 [6]	15 industry warranty 25+ expected lifespan [7]	up to 50 [3]
Use	Life span of the construction system (yrs)	15 [3]		30 [3], 25 [4, 8], 20 [5,9]	
	Maintainance	Periodical and planned controls are needed to search possible damages to be as quik as possible repaired	Anti-adhesivity propriety, self cleaning by rain Periodical and planned controls are needed to search possible damages to be as quik as possible repaired	Anti-adhesivity propriety, self cleaning by rain Periodical and planned controls are needed to search possible damages to be as quik as possible repaired	Anti-adhesivity propriety, self cleaning by rain. Inspection of the holes generated by birds [15] Periodical and planned controls are needed: a. to verify the dirty deposition on the edges and on the frame alu profiles; b. to search possible damages to be as quik as possible repaired
	On going practices of recycling	Composite material, non omogeneous - Reuse and Recycling (down cycling) [11]	Composite material, non omogeneous - Recycling PTFE [1] up cycling	Composite material, non omogeneous - Recycling PTFE [1] up cycling	Omogeneous material, dry assembled system, easy to be disassembled and separated - R down cycling [20]

⁽¹⁾ Datus derived from the Eco-Invent database assessed by the method EPD2007 with the SimaPro 8.1: it seems to refer to the production phase to obtain the pellets of TFE

References in the table

- Hintzer K., Beckers H. G. (2011), "Neues PTFE-Recyclingverfahren erhält Materialeigenschaften vollständig", in *Gummi Fasern Kunststoffe* 12, p. 727; Wifler C. (2010), "New Process for Recycling of Fluoropolymers", in *CHEManager International 4 Oct.*, Patent CN000102216246A, <http://www.invertec-ev.de/en/projects/environmental-care/pf-recycling/>; Dyneon 3M, Leading the way with sustainable production Technical communication of the Company (2014).
- Llorens I. (2014), *Report of the Nineteenth International Workshop Textile Roof 2014*, 26-28 May 2014, Berlin, Germany, p. 10.
- Zeh M. (2009), "Aging of membrane materials. How to keep membrane materials looking new over time", in *Fabric Architecture* n. 11.
- 5 Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025 TEXLON® System - Vector Foiltec, Nowofol, Dyneon - Declaration number EPD-VND-2011111-E
Cremers J. (2014), "Environmental impact of membrane and foil materials and structures – status quo and future outlook", in *Technical Transactions Architecture*, 7-a/2014, Poland.
- 6 Saint Gobain Sherfill www.sherfill.com
- 7 Report "Comparison of PTFE Glass vs TENARA Fabric" article, URL <http://www.sefar.com/es/573/News-Detail.pdf?Article=2443749>
- 8, 9 Cremers J. (2014), "Environmental impact of membrane and foil materials and structures – status quo and future outlook", in *Technical Transactions Architecture*, 7-a/2014, Poland.
Cremers J. (2014), " High Performance Lightweight Building Envelopes Made of Foils and Textiles", in 2015, Zanelli A., Spinelli M.L., Monticelli C, Pedrali P., Lightweight Landscape, Polimi – SpringerBriefs
- 10 Laratte B., Le Pochat S., Meurville E., PéchenartE. (2009), "LCA of a technical PVC textile including an original recycling process", in *Ecochem 2009 Chemistry & Ecodesign*, Montpellier, France
- 11, 12, EVEA and SERGE FERRARI (2008), Etude AVC de la Batyline in accordance with ISO 14040,
- 13, 14 EVEA and SERGE FERRARI (2009), Life Cycle Assessment of PRECONTRAIINT® 502 (GB) in accordance with ISO 14040
EVEA and SERGE FERRARIEVEA (2009), Life Cycle Assessment of PRECONTRAIINT® 1002 S in accordance with ISO 14040
Laratte B., Pechenart E. and other (2008), Etude ACV de la Batyline – analyse de Cycle de Vie réalisée selon ISO 14040, Nantes.
- 32 Laratte B., Le Pochat S., Meurville E., Péchenart E. (2009), LCA of a technical PVC textile including an original recycling process, *Ecochem 2009 Chemistry & Ecodesign*, Montpellier, France
- Monticelli C. (2013), Zanelli A., Campioli A., Life cycle assessment of textile facades, beyond the current cladding systems, in H. Bogner-Balz, M. Mollaert, E. Pusat (eds.), [RE]Thinking Lightweight Structures, TensiNet, Istanbul, Tensinet Symposium. 08-10/05/2013, pp. 467- 476, Istanbul, ISBN 9789072325068.
- 15 Escoffier A., Albrecht A., Consigny F. (2013), "Nice Stadium: Design of a flat single layer", in H. Bogner-Balz, M. Mollaert, E. Pusat (eds.), [RE]Thinking Lightweight Structures, TensiNet, Istanbul, Tensinet Symposium. 08-10/05/2013, pp. 467- 476, Istanbul, ISBN 9789072325068.
- 16, 17, Robinson-Gayle S., Kolokotroni M., Cripps A., Tanno S. (2001), ETFE foil cushions in roofs and atria, in *Construction and Building Materials*, n.15, pp. 323-327.
- 18, 19, Ashby M., *Materials engineering, science, processing and design*, Elsevier, Oxford, 2007; 167.
- 20 Fernandez J. (2006), *Materials Architecture. Emergent materials for innovative buildings and ecological construction*, Elsevier, Oxford, p. 169.
- Monticelli C. (2010), Environmental assessment of ultralight roof structures built with new materials: the case of the ETFE cushions, in Vegh L. (eds.) *Environmentally compatible structures and structural materials (ECS)*, Czech Technical University, Praga, 24-25/09/2009, p. 28-37, ISBN/ISSN: 9788001045060.
- (2011) Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025 TEXLON® System - Vector Foiltec, Nowofol, Dyneon - Declaration number EPD-VND-201111

ETFE, valutato anche gli impatti della fase operativa (il consumo di energia per i sistemi di pompaggio), oltre alla fase di pre-uso, secondo gli indicatori ambientali richiesti in una *Environmental Product Declaration*.

Tali studi scientifici sono stati un supporto per la sistematizzazione di informazioni ambientali disponibili sulle fasi del ciclo di vita dei tessuti e dei film più utilizzati per l'architettura⁴, riportati nella Tab.1. I dati ottenuti sono quindi un buon riferimento per una LCA. Permane come costante la necessità di armonizzare i dati: un'opportunità da condividere ed essere da guida alle industrie dei polimeri che producono i materiali di base, i tessuti e i film.

Strategie di Eco-efficienza per le membrane in architettura

Rispetto alla specificità delle analisi dettagliate e specialistiche LCA, in cui il raffinamento dei dati di base è ancora un per-

corso in essere e in cui la complessità di analisi rende molto costosa e laboriosa l'applicazione, soprattutto ex-ante e non a fine del progetto, la ricerca ha individuato alcune strategie di eco-efficienza che iniziano a orientare il pensiero del progettista per un progetto di un'architettura leggera più consapevole:

a. *Doing more with less*: ridurre i materiali alla quantità minima. La progettazione e lo studio di nuovi componenti strutturali minimi gioca un ruolo chiave nella definizione di costruzioni leggere e nella qualificazione dell'ambiente costruito, quindi l'uso oculato di risorse ed energia da calibrare correttamente per il progetto di strutture minime [41].

b. *Time-based structures*: la durabilità delle membrane e dei film è oggetto di analisi in relazione alla durata di vita prevista per la

others on the market) (Smith, 1995; Bidoki, 2010; Fournier, 2009); LCA evaluation of material in the textile sector for clothing, inspired by methodological approaches² (Subramanian et alii, 2012; Kalliala, 2000; Dahllöf, 2004; Nieminen et alii, 2007); comparative LCA evaluation of alternative solutions of components and building systems, such as benchmarking (Azari, 2012; Kim, 2011; Kosareo, 2007)³. In the field of structural membranes, the literature shows that LCA studies have been investigated, on the one hand: the eco-efficiency of the fluoropolymer film ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) compared to traditional transparent building materials (glass (Robinson-Gayle, 2001) or PVC crystal, Polycarbonate (Monticelli, 2010) and traditional systems for roofs or building facades (Monticelli et al., 2013), and on the other hand, the

eco-efficiency of the polyester fabric coated with polyvinylchloride, which is the most common textile material for structural membranes, compared to other façade finishing components (Cremers, 2014).

The studies conducted on the eco-efficiency of membranes in architecture do not consider a whole life cycle as a limitation of the system in the LCA evaluation: many of them focus on the environmental impacts of the pre-use phase of membrane materials and on the inventory of components of such membrane systems, calculating the impacts in terms of energy consumption for production (embodied energy), showing the contribution to the impacts of the membrane materials themselves and their support systems (typically made by steel, aluminum and plastic) (Chilton et al., 2013; Monticelli, 2010; Cremers, 2014). These

struttura, considerando la variabile 'tempo' come funzione chiave in tutti i processi decisionali della progettazione.

c. *Closing the loop*: nuove tecnologie cercano di integrare i rifiuti polimerici nel ciclo di produzione di nuovi materiali strutturali (down- or up-cycling) e di trovare una nuova vita per le vecchie strutture a membrana disassemblate (riutilizzo o riciclaggio). L'analisi degli scenari di riciclo/riutilizzo fa parte dell'approccio alla progettazione del ciclo di vita.

d. *Life Cycle Design*: la metodologia di analisi del ciclo di vita svolge un ruolo fondamentale per ottenere procedure più sostenibili in fase di progettazione, costruzione e ristrutturazione.

Tali strategie, quali elementi di verifica da considerare in generale nella progettazione, sono ancor più fondamentali nella progettazione di strutture a membrana e vanno considerate fin dalle prime fasi di concept, per essere in modo reiterativo riverificate in ogni stadio del progetto, al fine di orientare e trovare compromessi nella scelta di materiali e tecnologie in relazione alla destinazione d'uso e alla durata ipotizzata.

Definizione di principi preliminari a un approccio LCA ottimizzato per le membrane

Sulla base delle strategie di eco-efficienza un passo ulteriore è stato compiuto grazie all'esperienza di ricerca sulla sostenibilità ambientale delle membrane

strutturali, sviluppata dagli autori negli ultimi sei anni, per arrivare a individuare alcuni primi principi specifici (passibili di implementazioni future) come riferimento per la valutazione preliminare alla analisi LCA delle strutture a membrana. La loro applicazione consente di individuare vantaggi e svantaggi delle scelte formali, materiche (di tessuto o film e di componenti

studies show that in the LCA of membrane materials, synthesized by the cracking of fossil fuels, it is paramount to evaluate the impacts (and compare them with the impacts of traditional building materials) taking into account the weight of the components (i.e. kg/m² component of construction), instead of a simple comparison per units of material weight (i.e. kg of construction material). As a consequence of these considerations, the advantages of lightness emerge. In a recent study (Maywald, 2016) the LCA of a pneumatic structure built with ETFE cushions, also assessed the impacts of the operating phase (the energy consumption for pumping systems during the operation phase), in addition to the pre-use phase, according to the environmental indicators required in an Environmental Product Declaration. These scientific studies have been a

support for the systematization of environmental information available on the life cycle stages of the most used fabrics and films for architecture⁴, reported in Tab. 1. The data obtained are therefore a good reference for an LCA. The need to harmonize data remains as a constant: an opportunity to be shared and to be as a guide for the polymer industries that produce basic materials, fabrics and films.

Eco-efficiency strategies for membranes in architecture

Compared to the specificity of detailed and specialized LCA analysis, where the refinement of basic data is still an existing path and in which the complexity of analysis makes the application very expensive and laborious, especially if applied at the beginning of the design process and not at the end of the project, the research has identi-

strutturali) di una struttura a membrana, e il necessario corretto sfruttamento delle potenzialità dei materiali a membrana.

Nella sequenza di applicazione/verifica i principi sono:

- 1° principio p01- dimensionale: verifica del rapporto 'lunghezza del perimetro del telaio/superficie chiusa' (m/m^2) (nel caso di membrane strutturali per coperture o per l'involucro dell'edificio) (Chilton et al., 2013; Monticelli, 2010). Al fine di valutare l'eco-efficienza di una specifica superficie da chiudere/coprire, un'area molto ampia di un "foglio" di membrana corrisponde alla minore lunghezza perimetrale dei telai, rispetto a pannelli più piccoli accostati tra loro con un telaio ciascuno. Ciò riduce il numero di profili e sottostruttura necessari, quindi i materiali per la loro produzione e di conseguenza gli impatti ambientali (*Doing more with less*).
- 2° principio p02- pesatura dei componenti: verifica del rapporto fra i pesi del 'sistema di fissaggio (o struttura primaria)/membrana' (nel caso di membrane strutturali per facciate) (Monticelli, 2010, Monticelli et alii (2013): con l'obiettivo di analizzare l'impatto lungo il ciclo di vita delle membrane per l'involucro e misurare l'efficacia della loro scelta, è necessaria la verifica della quantità/pesi (kg/kg) dei sistemi di fissaggio, rispetto al peso dello strato di finitura, e comprendere la loro reale necessità in termini di carichi strutturali e rigidità: essi supportano materiali ultrasottili e leggeri invece di pannelli rigidi (meno o più) leggeri, che devono lavorare in tensione, ma non obbligatoriamente intelaiati come pannelli (*Doing more with less*).
- 3° principio p03 (dimensione-carico): verifica del rapporto 'Struttura a membrana/Carico meccanico della struttura', considerando l'acciaio o il legno come principali materiali

fied some eco-efficiency strategies that can help to orient the designer's thinking towards a project of a more aware light architecture:

a. Doing more with less: reduce the materials to the minimum quantity. The design and study of new minimal structural components plays a key role in the definition of light constructions and in the qualification of the built environment, hence the prudent use of resources and energy to be calibrated correctly for the design of minimum structures [41].

b. Time-based structures: the durability of membranes and films is analysed in relation to the expected life span of the structure, considering the variable 'time' as a key function in all decision-making processes of the design.

c. Closing the loop: new technologies try to integrate polymeric waste into the production cycle of new structural

materials (down-up-cycling) and to find a new life for the old disassembled membrane structures (reuse or recycling). The analysis of the recycling / reuse scenarios is part of the lifecycle design approach.

d. Life Cycle Design: the life cycle analysis methodology plays a fundamental role in obtaining more sustainable procedures during the design, construction and restructuring phases.

These strategies, as elements of verification to be considered generally in the design, are even more fundamental in the design of membrane structures and must be considered from the early concept stages, to be repeated in every stage of the project, in order to orientate and find compromises in the choice of materials and technologies in relation to the intended use and the assumed life span.

strutturali coinvolti nel campo delle membrane: l'ottimizzazione dei comportamenti meccanici e strutturali di una struttura a membrana, e della forma, significa un uso corretto delle membrane e un'efficace interpretazione delle loro proprietà incorporate (*Time Based Structures, Life Cycle Design*).

L'ottimizzazione di questi rapporti significa lo sfruttamento delle caratteristiche e dei comportamenti delle membrane rispetto ad altri materiali da costruzione tradizionali, meno flessibili e leggeri. Nella progettazione delle membrane la loro verifica, preliminare a una LCA, da indicazioni sulla coerenza tra scelte materiche ultraleggere e scelte formali/strutturali; ciò implica anche il corretto sfruttamento delle proprietà dei materiali a membrana, molto spesso sotto-sfruttati e assimilati a prodotti più tradizionali nella messa in opera.

La ricerca ha portato alla validazione dei principi, attraverso l'applicazione *ex post* dei stessi su diverse soluzioni alternative di cinque casi di architetture leggere a membrana. Si sono confrontate la soluzione progettata e realizzata, costituita da un involucro pneumatico di film fluoropolimerici sottili, con altre soluzioni alternative di facciata realizzate con altre tecnologie trasparenti, al fine di convalidare la ripetibilità di applicazione dei due principi nella pratica di progettazione delle strutture a membrana (Fig. 3). Lo scopo è stato quello di verificare le differenze tra i risultati e comprendere non solo come le scelte di una tecnologia rispetto a un'altra possano incidere sugli impatti ambientali nel ciclo di vita, ma anche come nell'ambito di una specifica tecnologia sia importante valutare l'uso coerente ad ottimizzato della stessa (Centrulli, 2016). Questo processo di progettazione volta all'ottimizzazione può essere realizzato correttamente sia con su-

Definition of preliminary principles for an LCA optimized approach for membranes

On the basis of eco-efficiency strategies, a further step has been taken thanks to the research experience on environmental sustainability of structural membranes, developed by the authors in the last six years, to identify some first specific principles (likely to be implemented in the future) as reference for the preliminary evaluation of the LCA analysis of membrane structures. Their application allows identifying the advantages and disadvantages of the formal, material (fabric or film and structural components) choices of a membrane structure, and the necessary correct exploitation of the potential of membrane materials.

In the application / verification sequence the principles are:

- 1st principle p01- dimensional principle: verification of the ratio 'length of the frame perimeter/closed surface' (m/m^2) (in the case of structural membranes for roofing or for the building envelope) (Chilton et alii, 2013; Monticelli, 2010). In order to evaluate the eco-efficiency of a specific surface to be closed/covered, a very large area of a membrane "sheet" corresponds to the smaller perimeter length of the frames, compared to smaller panels adjacent to one another, each with its frame. This reduces the number of profiles and substructure needed, the materials for their production, and, consequently, the environmental impacts (*Doing more with less*).
- 2nd principle p02- weighing of components: verification of the relationship between the weights of the fixing system (or primary

perfici d'involucro efficaci (p01), che con un rapporto di peso ben calibrato tra la struttura di supporto e il peso della superficie dell'involucro (p02). I risultati e i dati possono offrire al lettore un'interpretazione sul modo in cui le tecnologie costruttive a membrana possano soddisfare le esigenze dei progettisti, solo se rispettano i due principi volti alla sostenibilità ambientale e alla strategia del *Doing more with less*. In altre parole, la lettura dei dati di analisi attraverso i diversi casi di studio ha dimostrato che le tecnologie leggere consentono ai progettisti un alto grado di libertà nella modellazione di forme e geometrie minime, mentre solo la loro applicazione ottimizzata garantirà un risultato efficiente con anche l'impatto ambientale minimo.

Conclusioni

I risultati emersi dalla ricerca sono solo i primi passi verso la definizione di criteri per l'applicazione della LCA alle strutture a membrana. Gli studi condotti convergono sulla necessità di diffondere maggiore consapevolezza dei progettisti sia sui materiali leggeri e flessibili sia sulle loro prestazioni, in una prospettiva di pensiero volta all'intero ciclo di vita, per realizzare architetture a membrana con il minor impatto ambientale e il miglior risultato formale, sfruttando coerentemente le loro potenzialità. La necessità di studi futuri di ricerca sull'eco-efficienza delle membrane è di allargare i confini del sistema degli impatti ambientali dalla fase di pre-uso, tipicamente già oggetto di indagine nella prassi attuale, all'intero ciclo di vita, con gli impatti in fase d'uso (funzionamento, manutenzione e sostituzione) e a fine vita: nel caso delle tensostrutture la fase di utilizzo è caratterizzata principalmente dalla manutenzione; nel caso di strutture pneumatiche la fase di utilizzo è caratterizzata dal consumo di

energia dell'impianto di pompaggio per il mantenimento della pressione interna. Un passo in avanti potrebbe emergere dalla cooperazione delle industrie e dei centri di ricerca LCA, al fine di raccogliere i dati primari sugli input/output durante la catena di produzione di materiali a membrana ed elaborare i propri dati LCI (per le industrie come stakeholder), come base comune per preparare e sviluppare le LCA di varie membrane strutturali (quelle che hanno i designer come stakeholder). L'armonizzazione dei dati LCA delle membrane e dei film, consentirebbe di avere valori medi (tra i diversi prodotti) da aggiungere ai database LCA esistenti. Infatti, c'è un crescente interesse nel qualificare i dati ambientali relativi alla fase di pre-utilizzo, quantificare precisamente gli impatti ambientali e modificare le Dichiarazioni ambientali di prodotto, al fine di essere competitivi sul mercato. La condivisione di competenze, tecniche, strutture e dati grazie al network e al gruppo di lavoro già attivi, consentirà di raggiungere un consenso tecnico e di orientarsi alla standardizzazione europea per l'analisi, la progettazione e la realizzazione di strutture a membrana eco-efficienti per edifici multifunzionali e usi permanenti.

Un obiettivo futuro della ricerca è di perseguire le regole di eco-efficienza, e introdurre procedure di valutazione del comfort termico, ottico e acustico in un processo di standardizzazione europea, come succede per altri materiali d'involucro.

structure)/membrane (in the case of structural membranes for facades) (Monticelli, 2010, Monticelli et alii (2013): with the objective of analysing the impact on the life cycle of the membrane skins and measuring the effectiveness of their choice, it is necessary to verify the quantity / weights (kg/kg) of the fixing systems, with respect to the weight of the finishing layer, and understand their real need in terms of structural loads and rigidity: they support ultra-thin and lightweight materials instead of rigid (less or more) lightweight panels, which must work in tension, but not necessarily framed as panels (Doing more with less).

– 3rd principle p03 (dimension-load): verification of the ratio 'Membrane structure/Mechanical load of the structure', considering steel or wood as the main structural materials in-

involved in the field of membranes: the optimization of mechanical and structural behaviour of a membrane structure and of the shape means a correct use of the membranes and an effective interpretation of their incorporated properties (Time Based Structures, Life Cycle Design).

The optimization of these ratios means the exploitation of the characteristics and behaviours of the membranes compared to other traditional, less flexible and light construction materials. In the design of the membranes their verification, preliminary to an LCA, gives indications on the coherence between ultra-lightweight material choices and formal/structural choices; this also implies the correct exploitation of the properties of membrane materials, very often under-exploited and assimilated to more traditional products in the installation.

The research led to the validation of the principles, through the ex post application of the same on different alternative solutions of five cases of lightweight membrane architectures. The projected and realized solution, consisting of a pneumatic casing of thin fluoropolymer films, with other alternative façade solutions made with other transparent technologies, was compared in order to validate the repeatability of application of the two principles in the practice of designing membrane structures (Fig. 3). The aim was to verify the differences between the results and to understand not only how the choices of one technology with respect to another can affect the environmental impacts in the life cycle, but also how in the context of a specific technology it is important to evaluate the use consistent with the optimized one (Centrulli, 2016). This

design or optimization process can be performed correctly both with effective casing surfaces (p01), and with a well-balanced weight ratio between the support structure and the weight of the envelope surface (p02). Results and data can provide the reader with an interpretation of how membrane construction technologies can meet the needs of designers, only if they respect the two principles of environmental sustainability and the *Doing more with less* strategy. In other words, the reading of the analysis data through the different case studies showed that the lightweight technologies allow designers a high degree of freedom in modelling minimal shapes and geometries, but only their optimized application will ensure an efficient result with even minimal environmental impact.

03 | Risultati dell'analisi, applicata a un caso di studio, dei primi due principi di eco-efficienza delle strutture a membrana: più il coefficiente *Principle 1* tende a zero, migliore è il rapporto perimetro/area, più alto è il rapporto del *Principle 2*, più efficiente è l'uso della tecnologia scelta, quindi migliori sono lo sfruttamento delle caratteristiche in site al materiale e alla tecnologia e gli impatti ambientali: nell'esempio il confronto tra vetro e ETFE con il primo principio dà merito all'ETFE che consente di coprire la stessa superficie con un pannello talmente grande da ridurre al minimo i profili di sostegno; se analizziamo il secondo principio il merito va alla tecnologia del vetro, in cui il sistema strutturale è efficacemente minimizzato rispetto al peso notevole delle lastre di chiusura. Sui materiali ultra-leggeri c'è ancora spazio per la ricerca

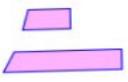
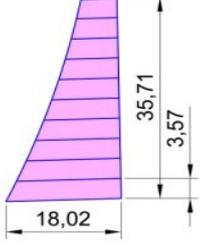
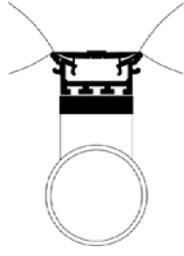
The analysis results, applied to a case study, of the first two principles of eco-efficiency of membrane structures: the more the *Principle 1* coefficient tends to zero, the better is the perimeter/area ratio, the more the *Principle 2* ratio is higher the better is the efficient use of the chosen technology, as well the exploitation of the characteristics inherent to the material and technology and the environmental impacts: in the example the comparison between glass and ETFE related to the first principle advantages the ETFE which allows to cover the same surface with a wide panel as to reduce the support profiles to a minimum; if we analyse the second principle, the merit goes to the glass technology, where the structural system is effectively minimized compared to the considerable weight of the closing plates. The improvement of the ultra-lightweight membrane technology gives opportunities to the research

03 | **case study A: KAPUZINERCARREE, Aachen (Germany) - Architects: Ingenhoven Overdiek + Partner (2002)**

Principle 1 [P/A] **Principle 2** [We/Ws]

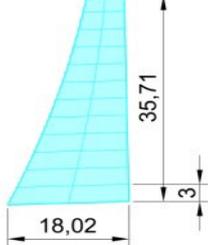
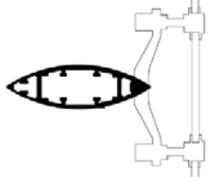
A1 - ETFE

FIXING SYSTEM

 <p>Different cushions</p>						0,45	0,097
P (m)	195,07	A (m ²)	390,82	We (kg)	410,36	Ws (kg)	4.247,00
We/m ² (Kg/m ²)	1,05	Ws/m ² (kg/m ²)	10,87	Wtot (Kg)	4.657,36	Wtot/m ² (kg/m ²)	11,92

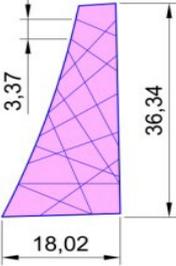
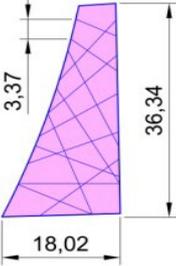
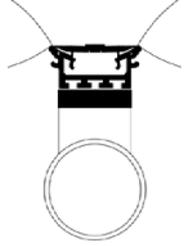
A2 - GLASS

FIXING SYSTEM

 <p>Different panels</p>						0,65	9,852
P (m)	252,76	A (m ²)	390,82	We (kg)	17.820,00	Ws (kg)	1.809,00
We/m ² (Kg/m ²)	45,60	Ws/m ² (kg/m ²)	4,63	Wtot (Kg)	19.629,00	Wtot/m ² (kg/m ²)	50,23

A3 - ETFE

FIXING SYSTEM

						0,25	0,188
P (m)	97,22	A (m ²)	390,82	We (kg)	410,36	Ws (kg)	2.180,65
We/m ² (Kg/m ²)	1,05	Ws/m ² (kg/m ²)	5,58	Wtot (Kg)	2.591,01	Wtot/m ² (kg/m ²)	6,63

NOTE

¹ Alcune pratiche virtuose volte al riuso e al riciclo di membrane sono già in atto; i produttori di membrane si stanno orientando verso l'eco-efficienza, sviluppando nuovi prodotti, controllando le emissioni pericolose, migliorando le tecnologie per il riciclaggio (Fournier, 2013, Maywald, 2014, Dyneon, 2008, 2014).

² L'Institute of Textiles and Clothing dell'Università Politecnica di Hong Kong ha riportato in un articolo lo sviluppo di un modello unico per quantificare l'impatto ambientale delle varie fibre tessili (cotone organico, lino, viscosa, poliestere, polipropilene, acrilico, nylon) e compararle in termini di sostenibilità ecologica. Lo studio sul profilo ambientale della lavorazione tessile a umido in Finlandia è stato realizzato al fine di definire l'eco-efficienza delle principali aziende tessili finlandesi per la lavorazione di maglie o tessuti e l'approccio può essere considerato simile alla produzione di tessuti tecnici per l'architettura. Un'azione UE COST 628 dedicata al tema della valutazione del ciclo di vita dei prodotti tessili (2001-2004) ha approfondito l'eco-efficienza e la definizione della migliore tecnologia disponibile (Best Available Technology) della lavorazione tessile, per quantificare i dati ambientali primari dei tessili in Europa, oltre a suggerire strumenti per il confronto di tecnologie e pratiche attuali con applicazioni più efficienti e criteri per gli standard di certificazione ambientale (EPD) ISO (Tipo III).

³ Nel settore dell'architettura e dell'edilizia la LCA comparativa è, da circa 15 anni, un approccio consolidato al fine di comprendere i contributi degli impatti ambientali dei sistemi di costruzione alternativi e aiutare le scelte progettuali: lo studio sui montanti delle facciate continue (fase di pre-utilizzo fino all'installazione nell'edificio, con LCI basato su dati primari), la valutazione comparativa del ciclo di vita di un sistema di facciata composita trasparente e un sistema di facciata continua in vetro (fase di pre-uso, fase d'uso, scenario di fine vita), la valutazione comparativa del ciclo di vita ambientale dei tetti verdi (fase di pre-uso con trasporto al cantiere).

⁴ Pre-uso con quantificazioni disponibili di energia incorporata e potenziale di riscaldamento globale; fase d'uso con indicazioni relative alla manuten-

zione, fine vita con processi di riciclo e up-cycling attivi nell'industria tessile e delle industrie di film.

REFERENCES

- Azari, N.R. and Kim, Y.W. (2012), "Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions", *Building and Environment*, No. 48, pp. 135-145.
- Bidoki, S.M. and Wittlinger, R. (2010), "Environmental and economical acceptance of polyvinyl chloride (PVC) coating agent", *Journal of Cleaner Production*, No. 18, pp. 219-225.
- Busi, L. (2015), *Sostenibilità e valutazione ambientale di strutture a membrane. Il caso del Winter Garden di Verona*, Politecnico di Milano, Scuola di Architettura e Società, Laurea in Architettura Progettazione Tecnologica e Ambientale, A.A. 2014-2015.
- Centrulli, M., Monticelli, C. and Zanelli, A. (2017), "Application and validation of eco-efficiency principles to assess the design of lightweight structures: case studies of ETFE building skins", in Bögle, A. and Grohmann, M. (Eds.), *Proceedings IASS Annual Symposium 2017 "Interfaces: architecture, engineering, science"*, September 25-28, 2017, Hamburg, DE.
- Cremers, J. (2014), "Environmental impact of membrane and foil materials and structures – status quo and future outlook", *Technical Transactions Architecture*, No. 7, Vol. a, Poland.
- Dahlöf, L. (2004), *LCA Methodology Issues for Textile Products*, Technical report n. 2004:8, Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Dyneon 3M (2008), *New Dyneon Emulsifier Eliminates APFO from Production of Fluoropolymers*, Technical communication of the Company, Burgkirchen, DE.
- Dyneon 3M (2014), *Leading the way with sustainable production*, Technical communication of the Company Burgkirchen, DE.
- ERC (2018), *ERC Sectors: PE8 Products and process engineering - Lightweight*

Conclusions

The results of the research are only the first steps towards defining criteria for the application of LCA to membrane structures. The studies carried out converge on the need to spread greater awareness of the designers on lightweight and flexible materials and on their performance in a life cycle thinking perspective, and to create membrane architectures with the lowest environmental impact and best formal result, consistently exploiting their potential.

The need for future research studies on membrane eco-efficiency is to broaden the boundaries of the system of environmental impacts from the pre-use phase, typically already investigated in current practice, to the whole life cycle, with impacts during use (operation, maintenance and replacement) and end of life: in the case of tensile

structures, the use phase is mainly characterized by maintenance; in the case of pneumatic structures, the use phase is characterized by the energy consumption of the pumping system for maintaining the internal pressure. A step forward could emerge from the cooperation of LCA industries and research centers, in order to collect primary input/output data during the membrane material production chain and to process their LCI data (for industries as stakeholders), as a common basis for preparing and developing LCAs of various structural membranes (those that have designers as stakeholders).

The harmonization of LCA data of membranes and films would allow having average values (among the different products), to be added to existing LCA databases. In fact, there is a growing interest in qualifying envi-

ronmental data related to the pre-use phase, quantifying precisely the environmental impacts and modifying the product Environmental Product Declarations, in order to be competitive on the market.

The sharing of skills, techniques, structures and data, thanks to the already active network and working group, will allow to reach a technical consensus and orient itself towards European standardization for the analysis, design and construction of eco-efficient membrane structures for multifunctional buildings and permanent uses. A future objective of the research is to pursue the eco-efficiency rules, and introduce procedures for evaluating thermal, optical and acoustic comfort in a European standardization process, as happens with other envelope materials.

NOTES

¹ Some virtuous practices aimed at the reuse and recycling of membranes are already underway; membrane manufacturers are moving towards eco-efficiency, developing new products, controlling hazardous emissions, improving recycling technologies (Fournier, 2013, Maywald, 2014, Dyneon, 2008, 2014).

² The Institute of Textiles and Clothing of the Polytechnic University of Hong Kong reported in an article the development of a unique model to quantify the environmental impact of various textile fibers (organic cotton, linen, viscose, polyester, polypropylene, acrylic, nylon) and to compare them in terms of ecological sustainability. The study on the environmental profile of wet textile processing in Finland was carried out in order to define the eco-efficiency of the main Finnish textile

construction, textile technology, available at: <http://erc.europa.eu> (accessed 20 January 2018).

EU-COST Action TU1303 (2018), "Novel structural skins: Improving sustainability and efficiency through new structural textile materials and design", available at: www.novelstructuralskins.eu (accessed: 25 March 2018).

Fournier, F. (2009), "PVC Composites: Life Cycle Analysis & Recycling including an Australian case study", *Proceedings of Lightweight Structures Association of Australasia LSAA 2009 Conference Technology and Sustainability Applications*, Melbourne, A.

Fournier, F. (2013), "LCA of PRECONSTRAINT composite membranes & TEXYLOOP recycling cases studies", in Bogner-Balz, H., Mollaert, M. and Pusat, E. (Eds.), *[RE]THINKING Lightweight Structures, Tensinet Symposium Proceedings, 8-10 maggio 2013*, Mimar Sinan Fine-Art University, Maya Basim Yayin ve Matbaacilik Ltd., Istanbul, Turkey, pp. 487-496.

Goldsmith, N. (2016), "The Physical Modeling Legacy of Frei Otto", *International Journal of Space Structures*, Vol. 31, No.1, pp. 25-30.

Kalliala, E. and Talvenmaa, P. (2000), "Environmental profile of textile wet processing in Finland (Tampere University of Technology, Finland)", *Journal of Cleaner Production*, No. 8, pp. 143-154.

Kim, K.H. (2011), "The comparative life cycle assessment of a transparent composite facade system and a glass curtain wall system", *Energy and Buildings*, No. 43, pp. 3436-3445.

Kosareo, L. and Ries R. (2007), "The comparative environmental Life Cycle assessment of green roofs", *Building and Environment*, No. 42, pp. 2606-2613.

Maywald, C. (2014), "Vector Foiltec's activities in the field of sustainability and the experience of the EPD", *Oresentation and contribute, EU COST 1303, Bruxelles meeting*.

Maywald, C. (2014), "Vector Foiltec's activities in the field of sustainability and the experience of the EPD", *Technical communication of the Company at*

the COST ACTION 1303 meeting in Brussel on 29.09.2014.

Monticelli, C. (2010), "Environmental assessment of ultralight roof structures built with new materials: the case of the ETFE cushions", in Vegh, L. (Ed.), *Environmentally compatible structures and structural materials (ECS)*, Czech Technical University, Praga, CZ, pp. 28-37.

Monticelli, C., Zanelli, A. and Campioli, A., (2013), "Life cycle assessment of textile facades, beyond the current cladding systems", in Bogner-Balz, H., Mollaert, M. and Pusat, E. (Eds.), *[RE]Thinking Lightweight Structures, Tensinet*, Istanbul, Tensinet Symposium, pp. 467-476, Istanbul, TK.

Nieminen, E., Linke, M., Tobler, M. and Van Der Beke, B. (2007), "EU COST Action 628: life cycle assessment (LCA) of textile products, eco-efficiency and definition of best available technology (BAT) of textile processing", *Journal of Cleaner Production*, No. 15, pp. 1259-1270.

Prevacini, L. and Mangini, S. (2016), *L'involucro tessile in architettura. Dal temporaneo al permanente verso l'ottimizzazione del comfort indoor*, tesi di laurea in Scienze dell'Architettura, Politecnico di Milano, Scuola di Architettura e Società, A.A. 2015-2016.

Robinson-Gayle, S., Kolokotroni, M., Cripps, A. and Tanno, S. (2001), "ETFE foil cushions in roofs and atria", *Construction and Building Materials*, No. 15, pp. 323-327.

Smith, G.G. and Barker, R.H. (1995), "Life Cycle analysis of a polyester garment", *Resources, Conservation and Recycling*, No. 14, pp. 233-249.

Subramanian Senthilkannan, M., Hu, J.Y. and Mok, P.Y. (2012), "Quantification of environmental impact and ecological sustainability for textile fibres", *Ecological Indicators*, No. 13, pp. 66-74.

Tensinet (2018), "Multi-disciplinary association for all parties interested in tensioned membrane construction", available at: www.tensinet.com (accessed 25 March 2018).

companies for the processing of knits or fabrics, and the approach can be considered similar to the production of technical fabrics for architecture. A COST 628 EU action dedicated to the issue of life cycle assessment of textile products (2001-2004) has deepened the eco-efficiency and the definition of the best available technology for textile processing, to quantify primary data on environmental issues of textiles in Europe, as well as suggesting tools for comparing current technologies and practices with more efficient applications and criteria for ISO (Type III) environmental certification standards (EPD).

³ In the field of architecture and construction, the comparative LCA has been a consolidated approach for about 15 years in order to understand the contributions of the environmental impacts of alternative building systems

and to help design choices: the study of the uprights of curtain walls (pre-use phase up to installation in the building, with LCI based on primary data), the comparative evaluation of the life cycle of a transparent composite facade system and a glass curtain wall system (pre-use, use phase, end of life scenario), the comparative assessment of the environmental cycle of green roofs (pre-use phase with transport to the building site).

⁴ Pre-use with available quantifications of embedded energy and global warming potential; use phase with indications related to maintenance, end of life with recycling and up-cycling processes active in the textile industry and film industries.

Elisabetta Palumbo^a, Stefano Politi^b,

^aInstitut für Nachhaltigkeit im Bauwesen, RWTH Aachen University, Germania

^bDipartimento di Architettura, Università di Bologna, Italia

elisabetta.palumbo@inab.rwth-aachen.de
stefano.politi2@unibo.it

Abstract. Lo studio si propone di valutare la relazione che intercorre tra l'impronta di carbonio prodotta dal miglioramento energetico dell'involucro edilizio, assunto come l'unità tecnologica che incide maggiormente nella definizione della performance energetica globale dell'edificio, e quella inglobata nei materiali che lo compongono. La finalità della ricerca è di osservare la relazione che intercorre tra la riduzione degli impatti dovuti alla fase operativa e la variazione degli impatti incorporati nei materiali e componenti impiegati per ottenere tali benefici, inclusi gli effetti indotti nella prestazione ambientale globale dell'intero processo.

Parole chiave: Involucro edilizio; Prestazione energetica; LCA; Energia inglobata; Impronta di carbonio.

Energia operativa ed energia inglobata: il livello ottimale di efficienza energetica

Da ormai diversi decenni la riduzione degli impatti ambientali relativi ai processi edilizi rappresenta uno dei principali obiettivi delle politiche comunitarie.

L'indirizzo normativo che sta consolidando maggiormente gli obiettivi di sostenibilità delle politiche europee e che sta inducendo, attraverso l'introduzione del concetto di *Nearly Zero Energy Buildings* (nZEB), azioni di cambiamento rilevanti sia nelle teorie progettuali sia nelle prassi tecnico-costruttive (D'Olimpo, 2017), è la recente Direttiva Europea 2018/844 (aggiornamento della *Energy Performance Building Directive* - EPBD 31/2010).

Benché il livello di prestazione andrebbe valutato durante l'intera vita dell'edificio, la EPBD considera il ciclo di vita principalmente dal punto di vista economico, tralasciando ogni riferimento alle implicazioni ambientali derivanti dalle fasi di produzione, costruzione, uso, mantenimento e fine vita.

Secondo alcuni autori (Jia e Crabtree, 2015; Copiello, 2017), la

minimizzazione del consumo energetico in fase operativa, se non opportunamente ponderata all'interno del bilancio energetico globale e, quindi, rispetto all'intero ciclo di vita dell'edificio, rischia di innescare il cosiddetto "paradosso di Jevons".

Questa teoria afferma che i miglioramenti apportati per aumentare l'efficienza di una risorsa possono farne aumentare il consumo, anziché diminuirlo, incrementando di conseguenza gli impatti ad esso connessi.

Ne consegue che, se il bilancio globale tra energia inglobata ed energia operativa lungo l'intero ciclo di vita risultasse non adeguatamente equilibrato, potrebbe verificarsi l'effetto opposto rispetto a quello atteso. Pertanto, al miglioramento delle prestazioni in fase di esercizio corrisponderebbe anche un indesiderato innalzamento del contenuto di risorse energetiche e degli impatti inglobati nei materiali (*embedded impacts*) utilizzati per realizzarlo, associabili alle più complesse operazioni di manifattura, messa in opera, manutenzione e fine vita.

Questa circostanza impone, pertanto, una riflessione approfondita circa le condizioni entro le quali sia possibile conseguire l'*optimum* tra performance energetica e riduzione degli impatti ambientali.

In letteratura, l'energia operativa (OE) viene spesso identificata quale componente predominante all'interno del bilancio globale (Verbeeck e Hens, 2010). Tuttavia, dalle analisi condotte in alcuni studi sulla relazione tra energia operativa ed energia inglobata (EE) relativamente a diverse tipologie di edifici, emerge che all'aumentare dei livelli prestazionali in esercizio, il rapporto tende, quasi linearmente, verso l'innalzamento della EE.

Improving building envelope efficiency: interaction between embedded energy and operational energy

Abstract. This study aims to evaluate the relationship between the carbon footprint produced by the energy improvement of the building envelope, assumed as the technological component that most affects the over-all energy performance of the building, and that embedded in the materials of which it is assembled. The purpose of this research is to observe the relationship between the reduction of impacts due to the operational phase and the variation of impacts incorporated in the materials and components used to obtain these benefits, including the effects induced in the overall environmental performance of the entire process.

Keywords: Building envelope; Energy performance; LCA; Embedded energy; Carbon footprint.

Operational energy and embedded energy: the optimal level of energy efficiency

For several decades now, the reduction of environmental impacts related to building processes has been one of the main objectives of EU policies.

The regulatory approach fostering the sustainability objectives of European policies and leading, through the introduction of the *Nearly Zero Energy Buildings* (nZEB) concept, to important changes in both design theories and technical practices (D'Olimpo D., 2017), is the new European Directive 2018/844 (updated *Energy Performance Building Directive* - EPBD 31/2010).

Although energy efficiency should be taken into account throughout the entire lifespan of buildings, the EPBD considers the life cycle mainly from an economic point of view, omitting any

reference to the environmental implications resulting from the production, construction, use, maintenance and end of life of buildings.

According to some authors (Jia and Crabtree, 2015; Copiello, 2017), the minimization of energy consumption in the operational phase, if not appropriately weighted within the global energy balance and, therefore, compared to the entire life cycle of buildings, risks provoking the so-called "Jevons paradox".

This theory asserts that improvements made to increase the efficiency of a resource can intensify consumption rather than decrease it, thus raising the associated impacts.

Consequently, if the overall balance between embodied and operational energy during the entire life cycle is not adequately weighted, opposite effects to those expected can occur.

Studiando la variazione di questo rapporto tra edifici tradizionali ed edifici ad alta efficienza energetica, Sartori e Hestnes (2007), attraverso una analisi bibliografica sull'uso dell'energia nel ciclo di vita di 60 edifici, situati in 9 differenti Paesi, osservano che la quota parte di EE può raggiungere anche il 46% del fabbisogno di energia totale negli edifici a basso consumo energetico e valori fino al 38% in quelli tradizionali.

Nella stessa direzione, Optis e Wild (2010), analizzando i risultati provenienti da 20 articoli scientifici relativi a edifici ad alta efficienza energetica, hanno evidenziato variazioni dal 2% al 51% dell'energia inglobata rispetto a quella totale nel ciclo di vita.

Più specificatamente, l'analisi eseguita su un tipico modello di casa passiva in Belgio (Stephan et al. 2013) ha rilevato valori di energia inglobata, includendo anche l'energia per il trasporto, del 40% rispetto a quella totale.

In ambito italiano, uno studio LCA condotto su una casa passiva in Umbria (Proietti et al., 2013), escludendo dal calcolo il contributo delle fonti rinnovabili, imputa all'involucro e agli impianti una quota di fabbisogno energetico lordo (GER) variabile tra il 48 e il 61%.

Più recentemente, Chastas et al. (2017), esaminando 90 edifici residenziali, hanno riscontrato che in quelli energeticamente efficienti la porzione di energia inglobata varia tra il 26 e il 57% del totale, riducendosi tra l'11 e il 33% in quelli passivi.

Partendo dalla evidenza che la EE rappresenta il 10-12% del consumo totale di energia delle residenze convenzionali nel ciclo di vita e il 31-46% in quelle che adottano livelli più elevati di isolamento, una ulteriore ricognizione della letteratura sulla variabilità

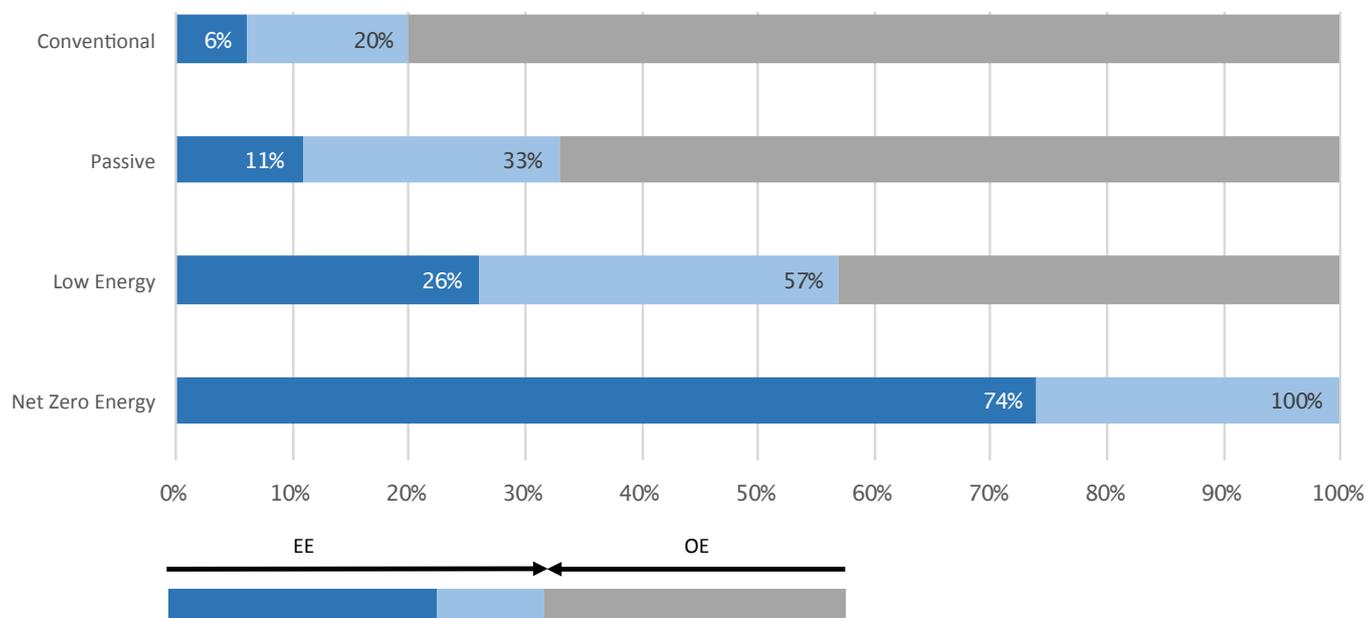
del rapporto tra EE ed EO, prevede che esso mutui ulteriormente entro il 2050 (Azari, Abbasabadi, 2018) (Fig. 1). In tale studio si presume che, all'aumento della EE dal 26% al 35% (ipotizzando un tasso di rinnovamento degli edifici esistenti dall'1,4 all'1,9%), possa corrispondere una diminuzione della OE% tra il 19% e il 46%.

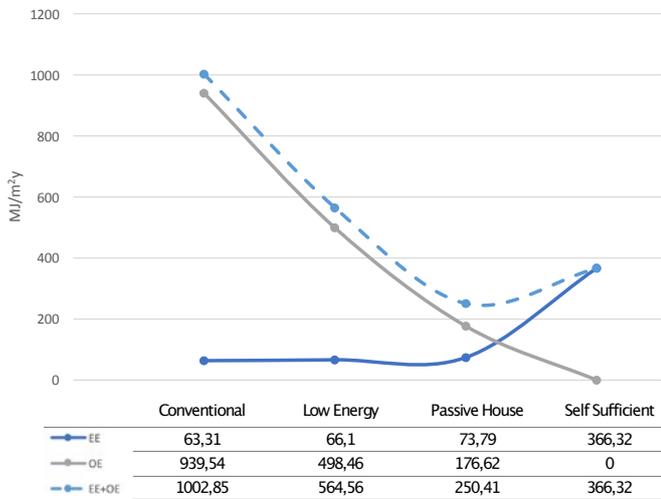
In conclusione, altre fonti sottolineano come la sola diminuzione dei consumi in esercizio, senza l'utilizzo di ulteriori cautele sulla prestazione termica dell'involucro e quindi sull'effettivo fabbisogno energetico degli edifici, non comporti evidenti benefici sul bilancio energetico finale (Paleari et al., 2016).

Riferendosi alla nozione complementare del ritorno di un investimento, Copiello (2017) si è interrogato su quale fosse il livello di efficienza energetica ottimale, tale da "ripagare" il maggior consumo di risorse nelle fasi non operative a fronte di minori consumi di esercizio nell'arco del ciclo di vita. Da ciò si deduce come una attenta progettazione delle caratteristiche tecnologiche volte alla riduzione dei consumi, di cui l'involucro costituisce un elemento fondamentale, porti al raggiungimento del livello ottimale di efficienza energetica globale mentre, incrementi eccessivi delle prestazioni, come ad esempio l'implementazione di tecnologie per l'autosufficienza energetica, rischiano di invalidare gli obiettivi di efficientamento (Fig. 2).

Questa ricognizione sullo stato dell'arte conferma la tesi del paradosso enunciata in premessa.

Uno dei più significativi e robusti indicatori che è possibile considerare per monitorare l'impatto ambientale derivato dai processi edilizi è il Potenziale di Riscaldamento Globale (*Global*





Warming Potential-GWP), espresso in kg di CO₂ equivalente, che misura il potenziale contributo al riscaldamento dell'atmosfera indotto da un gas, rapportato a quello caratteristico del CO₂ (European Commission, 2017). È pertanto evidente che le emissioni climalteranti dipendono in modo proporzionale dalla quantità di energia incorporata nei materiali, il cui apporto risulta pertanto non trascurabile nell'arco del ciclo di vita (Ibn-Mohammed et al., 2013). Conseguentemente, lo sfruttamento di risorse rinnovabili comporta una riduzione intrinseca di tale indicatore (Pelsmakers, 2012). Focalizzando l'attenzione sull'indicatore GWP, uno studio condotto sul carbonio inglobato negli edifici esistenti nel Regno Unito, individua valori tra il 10 e il 25% del totale delle emissioni imputate agli edifici inglesi (Anderson e Thornback, 2012).

Allo stesso modo, lo studio Life Cycle Assessment (LCA) condotto da Asdrubali et al. (2013) su tre differenti tipologie di edifici italiani – residenza indipendente, multi-familiare e edificio per uffici multipiano – rileva valori di GWP tra il 15% (per le residenze unifamiliari) e il 25% (per gli uffici), dei quali circa il 18% è da attribuire ai materiali e ai componenti impiegati.

Indeed, along with performance enhancement during operation, it would also correspond to an undesirable increase in the energy resources and impacts incorporated into the materials employed in the construction stage (embedded impacts), resulting from the more complex production phases, management (frequent maintenance cycles) and end of life of components. This circumstance should therefore foster a reflection on the conditions required to achieve the optimum balance between energy performance and impact reduction.

In the literature, operational energy (OE) is often identified as a predominant component within the global balance (Verbeeck and Hens, 2010). However, several studies on the relationship between operating and embodied energy (EE), as related to different types of buildings, highlight that when

performance level is enhanced during the operational phase, the ratio almost linearly leans towards the increase of embedded energy.

An analysis of the discrepancy of this relationship both for traditional buildings and edifices with high energy performance, Sartori and Hestnes (2007), through a bibliographic examination of the Life Cycle Energy Analysis associated with 60 case studies in 9 different countries, revealed that the EE can reach up to 46% of the total energy needs of buildings with low energy consumption and up to 38% for traditional ones.

Likewise, by analyzing the outcomes of 20 scientific articles on buildings with high energy efficiency, Optis and Wild (2010) detected variations from 2% to 51% of the embodied energy compared to the non-operating phases. More specifically, the investigation car-

Più recentemente lo studio di Din e Brotas (2016), condotto a partire da una ricognizione della letteratura relativa alle analisi LCA di edifici residenziali in Europa, ed ulteriormente approfondito attraverso lo studio di una casa passiva monofamiliare in Galles, evidenzia che il GWP risulta più elevato nelle fasi iniziali del processo (*from cradle to gate*).

Quanto finora detto rafforza il principio che un involucro particolarmente performante implica una più delicata gestione delle variabili sia energetiche che ambientali.

Obiettivi e metodologia

Partendo dall'assunto che l'involucro edilizio di un edificio assume un ruolo determinante nella definizione delle prestazioni termiche ed energetiche, costituendo il componente più rilevante dal punto di vista dimensionale e, pertanto, anche sotto il profilo ambientale (Azari, 2014), lo studio si propone di valutare la variazione dell'impronta di carbonio, espressa in kg CO₂ equivalente, a seguito di azioni di miglioramento energetico dell'involucro edilizio e degli effetti che esse inducono.

La finalità ultima è quella di osservare la correlazione tra la riduzione degli impatti dovuti alla fase operativa e la variazione degli impatti incorporati nei materiali e componenti impiegati per ottenere tali benefici, inclusi gli effetti indotti nella prestazione ambientale globale dell'intero processo.

Al fine di limitare le variabili e meglio focalizzare gli obiettivi dello studio, le analisi sono state condotte prendendo ad oggetto una residenza unifamiliare modellata specificatamente per le finalità prefissate.

Per poter meglio definire la relazione tra l'impronta di carbonio e la prestazione energetica dell'involucro, sono state simulate

ried out on a typical passive house in Belgium (Stephan et al., 2013) showed that the embedded energy amounted to 40% of the total, including energy for transport.

Within the Italian context, an LCA study conducted on a passive house located in Umbria (Proietti et al., 2013), excluding the contribution of renewable sources from the calculation, attributes a gross energy requirement (GER) of between 48 and 61% to envelope and technical installations.

More recently, Chastas et al. (2017), examining 90 residential case studies, acknowledged that in energy-efficient buildings embodied energy varies between 26 and 57% of the total, while, when buildings are passive, this number reduces to between 11 and 33%.

A further literature review on the inconsistency between embodied energy and the energy consumption of build-

ings during their life cycle (Azari R., Abbasbadi N., 2018) (Fig. 1), starting with the fact that EE represents 10-12% of the life cycle energy consumption in conventional buildings and 31-46% in those with enhanced envelope insulation, foresees a further change in the EE and EO ratio by 2050. In fact, with respect to an EE increase from 26% (assuming a renewal rate of 1.4% for existing buildings) to 35% (assuming a renewal rate of 1.9%), a decrease of between 19% and 46% of OE is expected.

In conclusion, other recent studies point out that minimizing energy consumption during operation, without additional cautions with respect to the thermal performance of a building envelope and, therefore, the actual energy needs, does not result in apparent benefits for the final energy balance (Palaeri et al., 2016).

alcune variazioni delle caratteristiche sia dell'involucro opaco, modificandone lo strato di isolamento termico, sia di quello trasparente, sostituendo la tipologia di infisso. In particolare, in quest'ultimo caso, sono state identificate le tre differenti configurazioni:

- A: infisso di partenza (termicamente meno efficiente);
- B1: incremento della prestazione termica dell'infisso;
- B2: incremento della prestazione termica dell'infisso e modifica della composizione materica del telaio, introducendo una quota di materiale riciclato.

Delle tre configurazioni così definite, si è proceduto a calcolarne la prestazione energetica (in termini di kWh/m² anno) e il profilo ambientale (in termini di kgCO₂ anno).

La determinazione del GWP incorporato nelle tre diverse configurazioni di infissi è stata condotta attraverso l'ausilio della banca dati tedesca Ökobaudat, limitando però l'analisi alla sola fase di produzione dei componenti (*from cradle to gate*).

Il caso studio

Rispetto agli obiettivi dello studio, volti all'analisi del solo involucro esterno, il modello preso come caso studio è stato definito con caratteristiche dimensionali, funzionali e tipologiche semplificate (Fig. 3). La tipologia costruttiva è quella tipica del tessuto costruttivo esistente nella zona ravennate (struttura in c.a., chiusure esterne e partizioni interne verticali in laterizio, solai in latero-cemento e copertura inclinata a doppia falda). Le geometrie sono elementari e non sono presenti ostruzioni di alcun genere, quali sporti ai piani superiori, presenza di vegetazione o di edifici adiacenti, tali da poter influenzare l'esito delle analisi.

Referring to the complementary notion of return on investment, Copiello (2017) explored the optimal level of energy efficiency capable of "repaying" the larger use of resources in the non-operational phases in order to achieve lower consumption during the life cycle. This prompts a consideration of how the meticulous design of the technological features of a building aimed at reducing consumption, such as a fundamental element like the envelope, leads to the achievement of the optimal level of global energy efficiency, while the excessive improvement of performance (such as the implementation of technologies for energy self-sufficiency) can invalidate the efficiency objectives (Fig. 2).

This recognition of the state of the art confirms the thesis of the paradox set forth in the premise.

One of the most significant and robust

indicators for monitoring the environmental impact deriving from building processes is the Global Warming Potential (GWP), expressed in kg of CO₂ equivalent, which measures the potential contribution of a gas to atmospheric warming compared to that of CO₂ (European Commission, 2017). It is evident, therefore, that climate-altering emissions depend proportionally on the amount of energy embedded into materials, whose contribution is therefore not negligible during the life cycle (Ibn-Mohammed et al., 2013). Consequently, the exploitation of renewable resources involves an intrinsic reduction of this indicator (Pelsmakers, 2012).

Focusing on GWP, a study conducted on embodied carbon relating to existing buildings in the UK shows values of around 10-25% of the total emissions attributed to the Eng-

Le configurazioni di involucro

La modellazione del caso studio, ipoteticamente collocato a Ravenna (Emilia-Romagna) è stata condotta con riferimento ai requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici di cui alla DGR 967/2015.

La Tab. 1 riassume i valori di trasmittanza termica degli elementi costituenti la struttura dell'edificio, corredata dei valori limite presenti nei riferimenti normativi.

Le stratigrafie relative alle diverse configurazioni di involucro opaco e i dettagli costruttivi dei nodi di connessione delle pareti esterne con la fondazione, il solaio e la copertura sono schematizzati in Tab. 2.

Mentre gli infissi selezionati presentano le caratteristiche elencate nella Tab. 3.

Analisi delle prestazioni nella fase di esercizio

L'operazione preliminare è stata quella di calcolare, tramite il software *Iris*, le trasmittanze termiche lineari nei nodi critici della struttura – connessioni tra pareti esterne, solai e copertura – verificando l'assenza di ponti termici.

Successivamente si è proceduto all'analisi energetica dell'edificio nelle diverse configurazioni di involucro utilizzando il software *Termo Namirial*, sviluppato secondo le disposizioni del D.M. 26/06/2015 e il metodo di calcolo previsto dalla UNI TS 11300.

Attraverso l'analisi è stato possibile determinare sia l'indice di prestazione energetica globale – rinnovabile (E_{pgl}) e non (E_{pgl_nren}) – che rappresenta il fabbisogno di energia primaria annuale su m², sia le emissioni di CO₂ associate al funzionamento annuale. Nel caso delle residenze (Tab. 4) il coefficiente E_{pgl_nren} comprende:

lish built environment (Anderson and Thornback, 2012).

Likewise, the Life Cycle Assessment (LCA) conducted by Asdrubali et al. (2013) referring to three traditional types of Italian buildings – detached houses, multi-family houses and office buildings – indicates GWP values between 15% (for single-family residences) and 25% for offices, of which around 18% pertain to the materials and components employed.

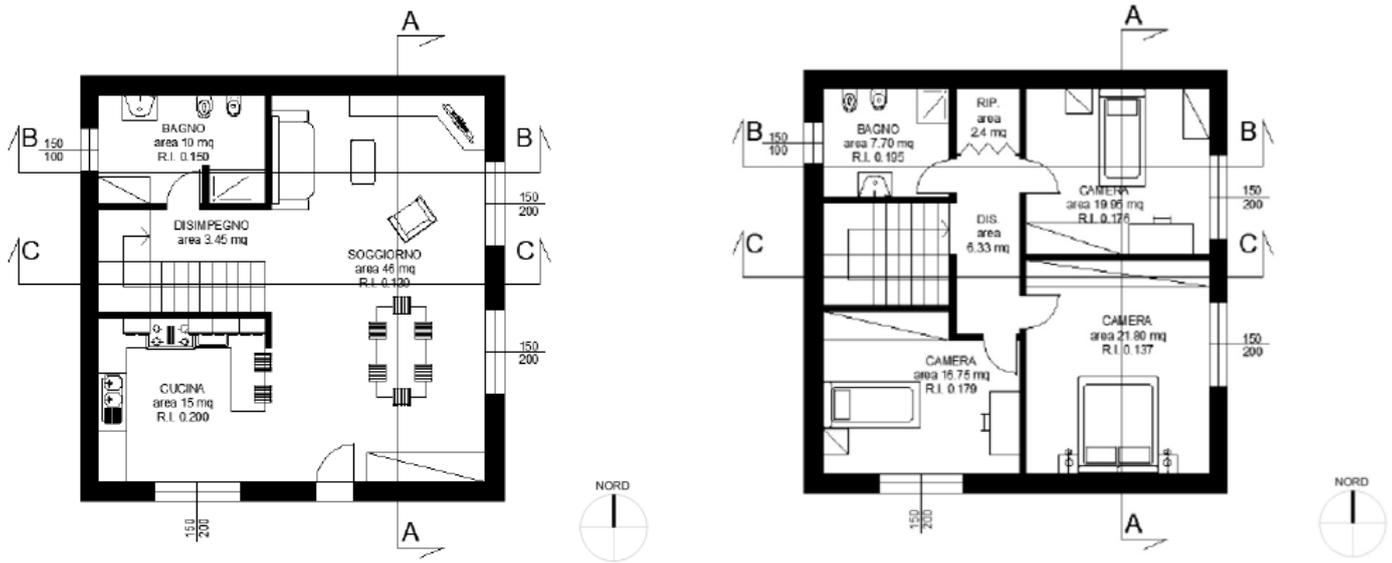
Finally, a more recent study (Din and Brotas, 2016) based on the literature review of the LCA of residential buildings in Europe, and further investigated through the analysis of a single-family passive house in Wales, shows that, by analyzing the entire life cycle, the GWP is higher in the initial stages of the process (from cradle to gate). This emphasizes the assumption that an envelope with particularly good

performances implies more delicate management of both energy and the environmental variables.

Objectives and methodology

Starting from the assumption that building envelopes play a crucial role in defining thermal and energy performances and represent the most relevant component from a dimensional and environmental perspective (Azari, 2014), this study aims to evaluate the variation in the carbon footprint, expressed in kgCO₂eq, as a consequence of the energy performance improvement of the building envelope and its induced effects.

The main purpose is to observe the correlation between the reduction of impacts related to the operational phase and the variation of impacts embedded in the materials and components employed to obtain these ben-



Tab. 1 | Valori di trasmittanza termica degli elementi costituenti la struttura dell'edificio, rispetto ai parametri limite indicati dai riferimenti normativi (DM 25/06/2015)
 Thermal transmittance values of the elements forming the building structure, with respect to the limit parameters indicated by the regulatory references (Ministerial Decree 25/06/2015)

Element	Maximum thermal transmittance U for climate zone E (Appendix B – Inter-ministerial Decree 26.6.2015) [W/(m ² K)]	Thermal transmittance [W/m ² K]	Verified
Roof	0,250	0,205	YES
Ground floor slab	0,300	0,246	YES
External walls type A	0,300	0,244	YES
External walls type B	0,300	0,188	YES

| Tab. 1

efits, including the effects produced in the overall environmental performance of the whole process.

In order to limit the variables and to better focus on the objectives of the study, the analysis was conducted on a single-family house, designed specifically for the purpose.

In order to better ascertain the relationship between the carbon footprint and the energy performance of the building envelope, some variations of the opaque envelope attributes have been simulated, modifying the thermal insulation layer. Some modifications to the windows were also made, replacing the type of frame and selecting, in particular, the three following different configurations:

- A: starting window (thermally less efficient);
- B1: increase in the thermal performance of the window;

- B2: increase in the thermal performance of the window and modification of the material composition of the frame, introducing a portion of recycled material.

For the three described configurations, the energy performance (in terms of kWh/m² year) and the environmental profile (in terms of kgCO₂ year) have been calculated.

The calculation of the GWP of the three different window configurations was carried out based on the German Ökobaudat database, limiting the analysis to the production phase of the components (from cradle to gate).

The case study

With respect to the objectives of the study, aimed at analyzing the outer envelope, the model taken as a case study was modelled with simplified dimensional, functional and typologi-

cal characteristics (Fig 3). The type of construction coincides with the typical buildings of the Ravenna area (reinforced concrete structure, external and internal brick partitions, reinforced concrete and hollow tile mixed floor and inclined double-pitched roof). The geometries are elementary and there are no obstructions of any kind (such as overhangs on the upper floors, vegetation or adjacent buildings), in order not to influence the results of the analysis.

Outer envelope configurations

The modelling of the case study, ideally located in Ravenna (Emilia-Romagna) has been referred to the minimum energy performance requirements listed in the regional regulation DGR 967/2015.

Table 1 summarizes the thermal transmittance values of the elements form-

ing the building structure, also indicating the limit values indicated in the regulatory references.

The stratigraphy of the different opaque envelope configurations along with details of the connection nodes of the external walls with the foundation, the floor and the roof, are summarized in Tab. 2.

Regarding the selection of the windows, the attributes of the selected ones are listed in Tab. 3.

Performance analysis during the operational phase

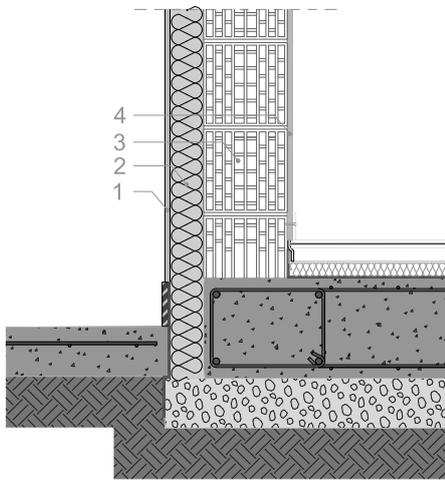
The preliminary action to define energy performance during operation was to calculate, using *Iris* software, the linear thermal transmittances along the critical nodes of the structure (connections between the external walls, floors and roof), verifying the absence of thermal bridges.

Tab. 2 | Stratigrafie, proprietà, prestazioni e dettagli costruttivi dei nodi delle connessioni dell'involucro esterno
 Stratigraphy, attributes, performance and technical details of the connections with the outer envelope

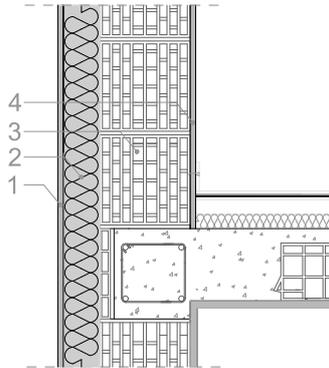
Tab. 2 |

Stratigraphy	Config. A	Config. B
1. External plaster (mm)	15	15
2. XPS thermal insulation panel with graphite (mm)	100	140
3. Hollow bricks (mm)	300	300
4. Internal plaster (mm)	15	15
Attributes and Performance		
Exposed thermal mass [Kg/m ²]	209,6	211,0
Thermal periodic transmittance [W/m ² K]	0,030	0,021
Thermal lag [h]	12,27	12,95
Total thermal transmittance [W/m ² K]	0,244	0,188

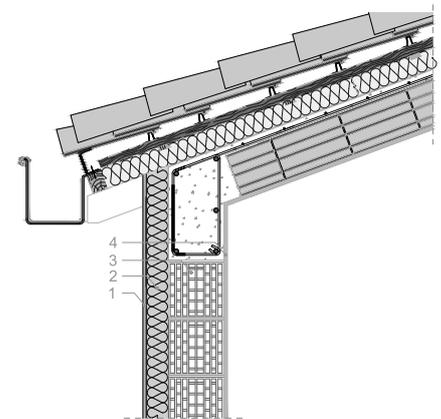
Connections technical details



1. Vertical wall –foundation



2. Vertical wall –slab



3. Vertical wall –roof

Subsequently, the energy analysis of the building for the different envelope configurations was carried out using *Termo Namirial* software, according to the provisions of Ministerial Decree 26/06/2015, and therefore adopting the calculation method described in UNI TS 11300.

Through the analysis, it was possible to establish both the global energy performance index – renewable and non-renewable (EPgl, EPgn) – which represents the annual primary energy requirement per m² for the achievement of indoor comfort conditions, and the CO₂ emissions associated with the annual operation of the building.

For residential buildings, the EPgl, EPgn includes:

- winter air conditioning (EPw, EPnw);
- summer air conditioning (EPc, EPnc);
- the production of domestic hot water (EPw, EPnw);

- ventilation (EPv, EPnv).

The analysis outcomes are listed in Table 4.

Performance analysis during the pre-operational phase

The main reference adopted for calculating impact indicators is the Ökobaudat dataset, the standardized database created for the German Federal Ministry for the Environment, Conservation of Nature, Construction and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit - BMUB).

Recently, this database was taken as binding for the assessment of building sustainability according to the DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), the only rating system that exploits the LCA approach for environmental aspects and the LCC (life cycle costing) approach for economic

aspects, in compliance with the CEN TC350 standards.

Before calculating the environmental impacts, it was necessary to define the quantities, and therefore the weight, of the technical solutions to be evaluated, starting with dimensional data and density.

Knowledge of the CO₂eq unit values related to the production phase (from cradle to gate) was used to compute the GWP and the non-renewable primary energy (PENR) values for the three different envelope configurations using a spreadsheet (Tab. 5).

Finally, a comparative analysis was made of the impacts associated with the different envelope configurations – opaque and glazed. The outcomes are illustrated respectively in the diagrams in Fig. 4 and 5.

Results

The analysis of the environmental balance related to the two phases of the life cycle of the building taken into account (production and operation), over a period of 25 years, allows us to observe how, although a better thermal performance of the envelope configuration (solution B resulting in a 1% reduction of primary energy consumption) can reduce the effects on the environment during the operating phase by 1.5%, the use of a thicker insulation layer (4 cm of XPS) and the installation of a better performing window in the B1 solution generates a 0.3% increase in the total impact (Fig. 6), caused by the intensification of the production phase.

On the other hand, if we keep the transmittance coefficient fixed and modify the material composition of the window frame, for example by

- la climatizzazione invernale ($EP_{h,nren}$);
- la climatizzazione estiva ($EP_{c,nren}$);
- la produzione di acqua calda sanitaria ($EP_{w,nren}$);
- la ventilazione ($EP_{v,nren}$).

Analisi delle prestazioni nella fase di pre-esercizio

Come in precedenza detto, il calcolo degli indici di impatto è stato effettuato adottando il dataset presente in Ökobau.dat, la banca dati standardizzata realizzata su commissione del Ministero Federale per l'Ambiente, la Conservazione della Natura, la Costruzione e la Sicurezza Nucleare tedesco (*Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit* – BMUB).

Recentemente tale banca dati è stata assunta come vincolante per la valutazione di sostenibilità degli edifici secondo il DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), uno dei pochi *rating system* per la sostenibilità degli edifici che prevede l'utilizzo della LCA per gli aspetti ambientali e della LCC (*Life Cycle Costing*) per gli aspetti economici, in conformità con gli indirizzi normativi del CEN TC350.

Preliminare al calcolo degli impatti ambientali è stata la definizione delle quantità e quindi dei pesi delle soluzioni costruttive da valutare, considerando le caratteristiche dimensionali e la densità. Pertanto, attraverso la conoscenza dei valori unitari di CO_2 eq relativi alla fase di produzione alla produzione (*from cradle to gate*), tramite un foglio di calcolo sono stati computati i valori di

Tab. 3 | Caratteristiche degli infissi selezionati
Selected windows attributes

Attributes	Typology		
	Type A	Type B1	Type B2
Glazing panels	Two	Three	Three
Frame type	Thermal break	Thermal break	Thermal break
Frame section (mm)	62	100	100
Sash section (mm)	69	117	117
Thermal transmittance glazing – U_g (W/m ² K)	0,9	0,6	0,6
Thermal transmittance frame – U_f (W/m ² K)	1,9	1,0	1,0
Thermal transmittance window – U_w (W/m ² K)	1,4	0,8	0,8
Frame material	Aluminium	Aluminium	Aluminium with recycled content
Material composition	100% pure aluminium	100% pure aluminium	49% pure aluminium, 20% recovery of aluminium scrap, 31% recovery of other metals scrap*

|Tab. 3

*Source: The Aluminium Association, EPD n. 4786092064.102.1

Tab. 4 | Esito dell'analisi energetica delle due configurazioni di involucro in termini di Indice di Prestazione Energetica Globale ed emissioni di CO_2
Result of the energy analysis of the two envelope configurations in terms of Global Energy Performance Index and CO_2 emissions

Parameters	Config. A	Config. B
$EP_{gl,nren}$ [kWh/m ² year]	46,4	45,9
$EP_{gl,ren}$ [kWh/m ² year]	36,5	33,8
CO_2 [Kg/m ² year]	9,25	9,11

|Tab. 4

GWP e quelli di energia primaria non rinnovabile (PENR) per le diverse configurazioni di involucro sia opaco che trasparente (Tab. 5).

In ultimo, si è proceduto all'analisi comparativa dei profili delle differenti configurazioni di involucro opaco e trasparente, i cui risultati sono illustrati, rispettivamente, opaco e trasparente, nei diagrammi delle Fig. 4 e 5.

Risultati

L'analisi del bilancio ambientale nelle due fasi del ciclo di vita dell'edificio analizzate – produzione ed esercizio – nell'arco temporale di 25 anni, ci permette di osservare come, nonostante una migliore prestazione termica della configurazione di involucro (soluzione B con riduzione dell'1% del consumo di energia primaria) consenta di diminuire gli effetti sull'ambiente durante la fase di esercizio dell'1,5%, l'utilizzo di uno strato più spesso di isolante (4 cm di XPS) e l'installazione di un infisso più performante (soluzione B1) generi un incremento dell'impatto totale dello 0,3%, causato dall'aumento degli impatti nella fase produttiva (Fig. 6).

Quando, invece, a parità di coefficiente di trasmittanza, si interviene sulla composizione materica del telaio dell'infisso, introducendo ad esempio una quota del 51% in peso totale di materiale di recupero (configurazione B2), si ottiene un miglioramento di circa lo 0,5% sulla configurazione B1 e di 0,15% sulla configurazione A.

Per quanto queste percentuali possano sembrare ininfluenti, su un ciclo di vita di 25 anni, che è notoriamente molto limitato rispetto alla vita media della tipologia di edificio ipotizzata, questi valori corrispondono a circa 300 kgCO₂, corrispondenti

introducing 51% recycled material (configuration B2), an improvement of about 0.5% is obtained in the B1 configuration and 0.15% in the A configuration.

Although these percentages may seem irrelevant, over a 25-year life cycle, notoriously very limited compared to the average lifespan of this kind of building, these values correspond to around 300 KgCO₂, approximately equivalent to the pollution that would be produced by crossing Italy from north to south (back and forth), with a medium-size diesel-powered car.

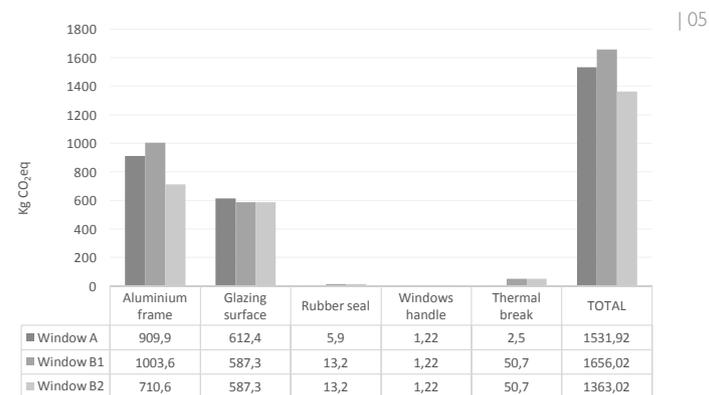
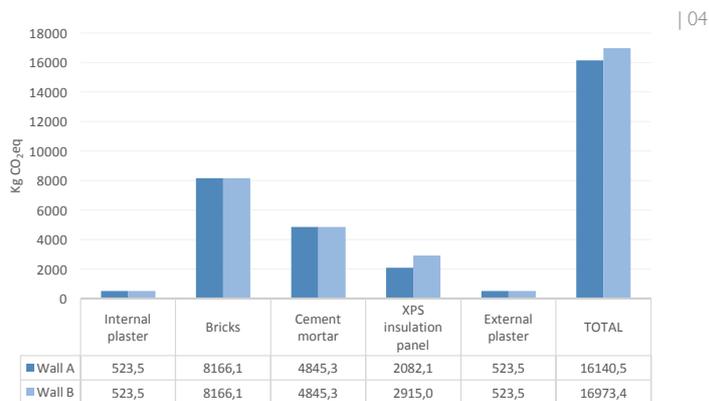
Discussion and study limitation

This study has investigated the relationship between the carbon footprint related to enhancing the energy performance of a building envelope, assumed as the technological unit that weighs most on the overall performance of

the building, and that embodied in the materials that constitute it.

As a case study, the research selected the model of a small single-family residential house located in the Ravenna area, for which two additional envelope configurations, characterized by increasing levels of thermal resistance, have been simulated. For each configuration, the energy requirement during the operational phase and the related CO₂ emissions have been calculated (kgCO₂/m²year).

Subsequently, basing on the German database Ökobau.dat, the environmental impact described by the global warming potential (GWP) indicator, associated with the "from cradle to gate" phase, was calculated for both the two different configurations involved in the energy analysis (A, B1), and for a third variant (B2), consisting of the use of a thermal performance window



approssimativamente all'inquinamento che si produrrebbe attraversando l'Italia da nord a sud e viceversa, con una autovettura di media grandezza alimentata a diesel.

Discussione e limitazioni dello studio

Lo studio ha analizzato la relazione che intercorre tra l'impronta di carbonio connessa all'incremento del livello di performance energetica dell'involucro edilizio, assunto come l'unità tecnologica che grava in mag-

equal to B1, but composed with 51% recycled material.

This allowed us to estimate, for the three different configurations, the total GWP, respectively for the production phase and for the operating phase, and to appreciate the deviations in relation to the variation in energy performance and in the embodied carbon footprint. The analysis performed:

- confirms some evidence previously reported in the literature (Ibn-Mohammed et al., 2013), with regard to the correlation between the reduction in energy consumption during the operational phase and the increase in the impact of the embedded in materials and components employed, and with respect to the increasing weight that this latter aspect assumes when the energy efficiency of buildings is enhanced (Passer et al., 2012), thus eliminat-

ing the benefit produced during the operational phase;

- highlights how the use of components that – with the same functional performance – incorporate a percentage of recycled materials produces appreciably positive effects – approximately an 18% impact reduction in terms of kg-CO₂eq – on the observed circumstances and therefore represents an effective strategy to encourage the wider availability of building components containing recycled resources;
- allows us to formulate some considerations on the use of Life Cycle approach since the early design phases, both for new buildings and renovations, represent a valid tool for both the verification and validation of the environmental profile of the entire process and a guide for

Tab. 5 | Profilo LCA relativo alle tre configurazioni di involucro
LCA of the three different envelope configurations

| Tab. 5

OPAQUE ENVELOPE- CONFIGURATION A

	THICKNESS	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	PRIMARY ENERGY NON RENEWABLE (PENR)
Stratigraphy	mm	Total Kg CO ₂ eq	Total MJ
Internal plaster (lime and plaster)	15	523,5	5292,3
Hollow bricks	300	8166,1	103242,4
Cement mortar	10	4845,3	19598,3
XPS thermal insulation panel with graphite	100	2082,1	64263,4
External plaster (lime and plaster)	15	523,5	5292,3
TOTAL		16140,5	197688,7

OPAQUE ENVELOPE- CONFIGURATION B

	THICKNESS	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	PRIMARY ENERGY NON RENEWABLE (PENR)
Stratigraphy	mm	Total Kg CO ₂ eq	Total MJ
Internal plaster (lime and plaster)	15	523,5	5292,3
Hollow bricks	300	8166,1	103242,4
Cement mortar	10	4845,3	19598,3
XPS thermal insulation panel with graphite	140	2915,0	89969,3
External plaster (lime and plaster)	15	523,5	5292,3
TOTAL		16973,4	223394,6

WINDOW - TYPE A

	THICKNESS/ UNIT	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	PRIMARY ENERGY NON RENEWABLE (PENR)
COMPOSITION	mm	Total Kg CO ₂ eq	Total MJ
Aluminium frame	100	909,9	12259,0
Glazing surface	8	612,4	7066,6
Seals	3	5,9	120,1
Windows handle	n.1	1,22	22,46
Thermal break	20	2,5	52,0
TOTAL		1531,92	19520,16

WINDOW - TYPE B1

	THICKNESS/ UNIT	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	PRIMARY ENERGY NON RENEWABLE (PENR)
COMPOSITION	mm	Total Kg CO ₂ eq	Total MJ
Aluminium frame	62	1003,6	12259,0
Glazing surface	12	587,3	7066,6
Seals	3	13,2	120,1
Windows handle	n.1	1,22	22,46
Thermal break	90	50,7	52,0
TOTAL		1656,02	19520,16

WINDOW - TYPE B2

	THICKNESS/ UNIT	GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)	PRIMARY ENERGY NON RENEWABLE (PENR)
COMPOSITION	mm	Total Kg CO ₂ eq	Total MJ
Aluminium frame with recycled content	62	710,6	7711,8
Glazing surface	12	587,3	7066,6
Seals	3	13,2	120,1
Windows handle	n.1	1,22	22,46
Thermal break	90	50,7	52,0
TOTAL		1363,02	14972,96



gior misura sul bilancio prestazionale globale dell'edificio, e quella inglobata nei materiali che lo compongono.

La ricerca ha assunto come caso studio il modello di un piccolo edificio residenziale monofamiliare localizzato nel territorio ravennate, per il quale sono state previste due diverse configurazioni di involucro di crescente livello di resistenza termica, di cui sono stati determinati il fabbisogno energetico in esercizio e le relative emissioni di anidride carbonica (kgCO_2/m^2 anno). Successivamente è stato calcolato, adottando la banca dati tedesca Ökobaudat, l'impatto ambientale relativo al solo indicatore "potenziale di riscaldamento globale – GWP", nella fase 'from cradle to gate', sia nelle due diverse configurazioni oggetto di analisi energetica (A, B1), sia inserendo una terza variante (B2), costituita da un infisso di performance termica pari a B1 ma composto di circa il 51% di materiale riciclato.

Ciò ha consentito di stimare, per le tre differenti configurazioni, il GWP totale, rispettivamente per la fase di produzione e per quella di esercizio, permettendo di apprezzarne le variazioni in relazione al cambiamento della prestazione energetica e della impronta di carbonio incorporata.

the choice of materials and technological configurations;

The overall outcomes of the study can be located within current debate in the international academic field, emphasizing how the material composition of a component or constructive system, although restricted to the outer envelope of a building whose geometry and conformation limit its representativeness, can positively affect the overall energy and environmental balance of the building, even considering a single environmental impact indicator (GWP).

In order to obtain a global energy and environmental profile, future study developments, accordingly to LCA frameworks, could extend the analysis to other environmental impact indicators provided, moreover, by the Okobaudat dataset (such as Acidification, Eutrophication, etc).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Fabio Soglia for providing essential data which made it possible to conduct this study.

L'indagine eseguita:

- conferma alcune evidenze già segnalate in letteratura (Ibn-Mohammed et al., 2013), sia in merito alla correlazione fra la riduzione dei consumi energetici dell'edificio in esercizio e l'aumento della quota di impatti incorporati nei materiali e nei componenti impiegati, sia rispetto al peso crescente che quest'ultima assume all'aumentare dello standard di efficienza energetica dell'edificio (Passer et al., 2012), azzerando il beneficio prodotto in fase operativa;
- evidenzia come l'impiego di componenti che – a parità di prestazioni funzionali – incorporino quote di risorsa riciclata producano effetti sensibilmente positivi – ca. 18% di riduzione dell'impatto in kgCO_2eq – sulla dinamica osservata e quindi rappresentino un'efficace strategia per incentivare una più ampia disponibilità di componenti edilizi ottenuti adottando materie prime da riciclo;
- permette di formulare alcune considerazioni sull'utilizzo dell'approccio *Life Cycle* già nelle prime fasi progettuali, tanto per le nuove costruzioni, quanto per le ristrutturazioni, costituendo uno strumento sia di verifica e validazione del profilo ambientale dell'intero processo sia di indirizzo sulla scelta dei materiali e delle tecnologie.

Gli esiti complessivi dello studio si collocano nelle tematiche di attuale dibattito in ambito accademico internazionale, sottolineando, seppure limitatamente all'involucro esterno di un edificio, la cui geometria e conformazione ne limitano la rappresentatività casistica, e pur considerano un unico indicatore di impatto ambientale (GWP), come la composizione materica di un componente o sistema costruttivo possa giovare positivamente rispetto al bilancio energetico ambientale complessivo dell'edificio.

Al fine di ottenere un profilo energetico ambientale complessivo, sviluppi futuri del lavoro, in linea con gli indirizzi normativi di ambito LCA, potrebbero estendere l'analisi agli altri indicatori di impatto ambientale, peraltro già previsti dal dataset Ökobaudat (come per esempio Acidificazione, Eutrofizzazione, ecc).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare Fabio Soglia per aver fornito dati indispensabili alla realizzazione di questo studio.

REFERENCES

- Anderson, J. and Thornback, J. (2012), "A guide to understanding the embodied impacts of construction products", *Construction Products Association*, No. 12, 2013.
- Asdrubali, F., Baldassarri, C. and Fthenakis, V. (2013), "Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings", *Energy and Buildings*, No. 64, pp. 73-89.
- Azari, R. (2014), "Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes", *Energy and Buildings*, No. 82, pp. 156-162.
- Azari R. and Abbasabadi, N. (2018) "Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends", *Energy and Buildings*, No. 168, pp. 225-235.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Bikas, D. and Kontoleon, K. (2017), "Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: A Review in Residential Buildings", *Procedia environmental sciences*, No. 38, pp. 554-561.
- Copiello, S. (2017), "Building energy efficiency: A research branch made of paradoxes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 69, pp. 1064-1076.
- Din, A. and Brotas, L. (2016), "Exploration of life cycle data calculation: Lessons from a Passivhaus case study", *Energy and Buildings*, No. 118, pp. 82-92.
- D'Olimpio, D. (2017), "Innovative energy and environmental standards for architecture", *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 13, pp. 134-142.
- European Commission (2017), *Information for importers of equipment containing fluorinated greenhouse gases on their obligations under the EU F-gas Regulation*, Guidance for equipment importers.
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. and Acquaye, A. (2013), "Operational vs. embodied emissions in buildings - A review of current trends", *Energy and Buildings*, No. 66, pp. 232-245.
- Jia, J. and Crabtree, J. (2015), "You get what you ask for", in Jia, J. and Crabtree, J. (Eds.), *Driven by Demand: How Energy Gets its Power*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA, pp. 3-10.
- Optis, M. and Wild, P. (2010), "Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, No. 15, pp. 644-651.
- Paleari, M., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "The assessment of the relevance of building components and life phases for the environmental profile of nearly zero-energy buildings: life cycle assessment of a multifamily building in Italy", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, No. 21, Issue 12, pp. 1667-1690.
- Passer, A., Kreiner, H. and Maydl, P. (2012), "Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, No. 17, pp. 1116-1130.
- Pelsmakers, S. (2014), *The Environmental Design Pocketbook*, Riba Publishing, London, UK.
- Proietti, S., Sdringola, P., Desideri, U., Zepparelli, F., Masciarelli, F. and Castellani, F. (2013), "Life cycle assessment of a passive house in a seismic temperate zone", *Energy and Buildings*, No. 64, pp. 463-472.
- Sartori, I. and Hestnes, A.G. (2007), "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article", *Energy and buildings*, No. 39, pp. 249-257.
- Stephan, A., Crawford, R.H. and De Myttenaere, K. (2013), "A comprehensive assessment of the life cycle energy demand of passive houses", *Applied energy*, No. 112, pp. 23-34.
- Verbeeck, G. and Hens, H. (2010), "Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis", *Building and Environment*, No. 45, pp. 964-967.

Claudio Piferi,
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze, Italia

claudio.piferi@unifi.it

Abstract. Il contributo presenta parte dei risultati di una ricerca più ampia condotta sui calcestruzzi faccia a vista. Se le conoscenze e i materiali contemporanei utilizzati nei recuperi di opere in cemento armato garantiscono le prestazioni meccaniche iniziali con significativi miglioramenti della durabilità delle opere, quando l'intervento si prefigge il ripristino della qualità architettonica originaria, per esempio ridisegnando le venature del legno impresse sulle facciate o ricalibrando le tonalità di colorazione originarie sulle superfici lisce e levigate, le competenze e i prodotti a nostra disposizione non sempre appaiono adeguati. La ricerca è, tra l'altro, finalizzata alla sistematizzazione di materiali e metodologie innovative nel ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista di qualità.

Parole chiave: Calcestruzzo faccia a vista; Ripristino; Innovazione; Decadimento architettura moderna; Patologia edilizia.

Introduzione

È agli inizi del 1900 e nel dopoguerra che la tecnologia costruttiva del cemento armato raggiunge l'apice del suo successo¹: i progettisti stringono un legame fortissimo con questo materiale e non solo per le rilevanti proprietà meccaniche, in grado di rivoluzionare le tecniche costruttive tradizionali, ma anche perché il materiale viene identificato come lo strumento ideale per definire un nuovo stile architettonico (Piferi, 2006). Il Movimento Moderno e i Brutalisti lo utilizzeranno per sottolineare gli aspetti formali ed espressivi del proprio linguaggio e i progettisti contemporanei se ne servono per dare forma a visioni organiche e complesse, difficilmente realizzabili con altri materiali. Le Corbusier, Wright, Nervi, Scarpa, Ando, Hadid, sono alcuni dei maestri che, consci delle proprietà meccaniche, ne hanno sperimentato ed esaltato le potenzialità formali (Piferi, 2014). Nella rapida ascesa del materiale, però, vanno in parte rintracciate le ragioni della sua parziale sconfitta: gravi situazioni di decadimento edilizio contraddistinguono, a pochi anni dalla loro costruzione, molte opere architettoniche, ponendone in crisi la

Materials and innovative methodologies for restoring fair faced concrete

Abstract. This paper presents a part of the results of broader research conducted on exposed concrete. While the knowledge and contemporary materials used in the restoration of reinforced concrete works guarantee the initial mechanical performances with significant improvements in terms of the durability of the works, when the project involves reinstating the original architectural quality, for example by redesigning the veining of the wood impressed into the façade or by adjusting the original color tones on smooth and polished surfaces, the expertise and products available to us do not always appear adequate. The research, moreover, seeks to systematize the materials and innovative methodologies used in the renovation of quality exposed concrete facings.

Keywords: Exposed concrete; Fair faced concrete; Restoration; Innovation; Modern architecture decline; Building pathology.

stabilità meccanica e i valori formali dell'immagine architettonica. L'estrema fiducia riposta nel materiale è andata scemando, obbligando comunità scientifiche, professionisti e produttori a indagare non solo su come migliorarne le proprietà meccaniche, ma anche sulle modalità di messa in opera, sulla durabilità e sugli interventi di manutenzione e ripristino. Se da un lato le sperimentazioni e le innovazioni di prodotto permettono oggi di superare alcuni difetti endogeni del materiale, dall'altro sono ancora limitate le indicazioni di metodo su come realizzare paramenti in calcestruzzo faccia a vista di qualità e su come intervenire nel caso in cui tali paramenti necessitino di un intervento di recupero prettamente architettonico.

Obiettivi e metodologia della ricerca

L'attività di ricerca si propone di indagare la qualità di un materiale caratteristico della cultura architettonica moderna e contemporanea, nella sua componente del faccia a vista, e si inserisce all'interno di un contesto culturale caratterizzato dalle problematiche del decadimento dell'architettura moderna e contemporanea, del restauro e della nascita di nuove competenze e discipline.

La ricerca è stata svolta su tre linee principali di indagine: una più specifica sul materiale, attraverso lo studio delle proprietà e delle caratteristiche chimico-fisiche dei componenti e della miscela, una di tipo diretto sui cantieri, per valutare metodologie specifiche e criticità ricorrenti nelle fasi di messa in opera, e una di approfondimento e analisi su una serie di casi studio di edilizia corrente, ma anche su edifici rilevanti per localizzazione geografica, periodo storico e riconoscibilità del progettista.

La possibilità di ottenere superfici geometricamente perfette e

Introduction

Reinforced concrete construction technology reached the height of its success in the early 1900s and in the postwar period¹: designers forge a strong bond with this material not only due to its significant mechanical qualities, capable of revolutionising traditional construction techniques, but also because the material is identified as the ideal tool with which to define a new architectural style (Piferi, 2006). The Modern Movement and the Brutalists used it to highlight the formal and expressive aspects of their language, and contemporary designers use it to give shape to organic and complex visions which are difficult to achieve with other materials. Le Corbusier, Wright, Nervi, Scarpa, Ando and Hadid are some designers who, aware of its mechanical properties, tested and exalted its formal potential (Piferi, 2014). The

rapid rise of the material, however, can also be partly traced to the reasons for its partial failure: many architectural works developed serious situations of building deterioration just a few years after they had been constructed, plunging the mechanical stability and formal values of the architectural image into crisis. The extreme confidence placed in the material has waned, forcing scientific communities, professionals and manufacturers to investigate not only how to improve its mechanical properties but also how it is installed, its durability, as well as maintenance and renovation work. While on the one hand testing and product innovation now allow us to overcome some endogenous defects of the material, on the other there is still limited guidance on how to create quality exposed concrete facings and what to do when these facings require purely architectural restoration.

prive di difetti che mantengano inalterate nel tempo le proprie caratteristiche cromatiche, oppure irregolari e imprecise che invecchino naturalmente, rappresenta uno dei punti di forza architettonici del materiale.

Ciò che distingue le differenti tipologie di superfici è la pelle, ovvero lo strato superficiale di cemento e sabbia che si diversifica al variare della cassaforma utilizzata, del colore della sabbia e dei cementi impiegati e dell'uso di additivi pigmentatosi e di inerti da applicare alla facciata (Fig. 1). Il tipo di materiale utilizzato per le casseforme (legno naturale o rivestito, metallo, gomma, ecc.), così come la morfologia e le dimensioni degli elementi impiegati, possono dare risultati molto differenti tra loro (superfici ruvide, lisce, disegnate, con inerti a vista, ecc.) (Fig. 2).

Sebbene, però, si possa definire il calcestruzzo a vista come una superficie strutturata, con un risultato che può essere previsto in anticipo, nella sua realizzazione intervengono una serie di fattori che possono influenzare il risultato finale e che non possono essere previsti o controllati.

L'approccio metodologico ha permesso l'approfondimento di quei fattori che determinano la qualità e i difetti dei paramenti definendone la durabilità, e che vanno dalla fase progettuale (morfologia e dimensione degli elementi), passando attraverso la progettazione della miscela (il calcestruzzo e i suoi componenti), le fasi di messa in opera (tipologia e materiali delle casseforme, disarmanti, altezza, posizione sequenza dei getti, ecc.) fino agli agenti esterni (agenti atmosferici, inquinamento, ecc.).

Di particolare importanza ai fini della ricerca è stata l'identificazione delle patologie che possono interessare le differenti tipologie di faccia a vista, in quanto gli interventi di recupero possono differire molto non solo in relazione al tipo di finitura superficia-

le, ma anche in funzione del tipo di patologia riscontrata (Fig. 3). L'approfondimento di casi studio, attraverso esame visivo, raccolta dei dati storici, prove in situ e prove in laboratorio, è servito per lo studio diretto delle patologie più frequenti e per la formulazione della diagnosi del degrado, per l'individuazione di un repertorio di soluzioni idonee al ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista e per la conferma e la sistematizzazione dei dati teorici della ricerca (Fig. 4).

Tipologie di finiture e patologie, infatti, sono state opportunamente classificate e sistematizzate per poter individuare, grazie ad un quadro conoscitivo chiaro ed esaustivo, prodotti e interventi di recupero specifici e possibili soluzioni innovative.

Non potendo affrontare in questo contributo tutti gli aspetti indagati nella ricerca, la trattazione riguarda una parte della stessa, ovvero quella legata alle metodologie e ai materiali utilizzati per il ripristino dei paramenti a vista con accenni ad alcuni casi studio.

Il ripristino dei paramenti in calcestruzzo faccia a vista

Il restauro delle facciate in calcestruzzo faccia a vista ha spesso come conseguenza quella di restituire alle città edifici più sicuri, ma diversi da quelli originali, nei quali le scelte estetiche originarie dei progettisti spariscono sotto strati coprenti di vernici o intonaci.

L'operazione si presenta complessa soprattutto per la difficoltà di riprodurre le texture originarie sia per disegno che per colorazione: una facciata generata da assi di legno trattate con ammoniacca per evidenziarne le venature o un paramento con inerti a vista, ad esempio, non possono essere restaurati facendo riferimento

	SUP. GREZZE	SUP. LISCE	SUP. DISEGNATE	SUP. CON INERTI RIPORTATI	SUP. COLORATE/ PIGMENTATE	SUP. LAVATE	SUP. BOCCIARDATE	SUP. SABBiate	SUP. RIGATE	SUP. BUGNATE	SUP. SCALPELLATE/ SBOZZATE	SUP. BRUCIATE	SUP. LEVIGATE/L UCIDATE	SUP. RIVESTITE/ VERNICIATE
CASSEFORME IN LEGNO														
CASSEFORME METALLICHE														
CASSEFORME IN PLASTICA														
CASSEFORME IN GOMMA														
CEMENTI BIANCHI														
CEMENTI GRIGI														
AGGREGATI TONDI														
AGGREGATI ANGOLOSI														
AGGREGATI TENERI														
AGGREGATI DURI														
AGGREGATI COLORATI														
ATTACCO MECCANICO FORTE														
ATTACCO MECCANICO LEGGERO														
PIGMENTI														

02 |

SUPERFICI RUVIDE			
QUALITÀ DEI MATERIALI	<ul style="list-style-type: none"> • Inerti: tipi correnti • Leganti: tipi correnti. Cementi più scuri accentuano le parti chiare dovute all'assorbimento dell'acqua da parte delle tavole. • Dosaggio: normale. Impasto troppo ricco di acqua può danneggiare le casseforme assorbenti • Casseforme: in legno o in gomma. Permeabili, pulite, eventualmente irruvidite 		
INDICAZIONI PER LA MESSA IN OPERA E IL TRATTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Seguire le indicazioni per un buon calcestruzzo faccia a vista • Giunti tra le tavole devono essere ben studiati 		
VANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Costo moderato per legni "standard" • Mano d'opera ormai specializzata • Scarsa manifestazione di bolle 		
SVANTAGGI	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie permeabile e ruvida che assorbe meglio lo sporco e l'acqua • Difficile da lavare • Costosa se si vogliono utilizzare essenze particolari • Frequente formazione di nidi di ghiaie tra i giunti delle tavole non ben eseguiti 		
			
Casseforme: tavole in legno Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno piallato Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno di dimensioni ridotte Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno lisciate e trattate Cemento: grigio
			
Casseforme: tavole in legno non trattate Cemento: bianco	Casseforme: tavole in legno curvate irregolarmente Cemento: grigio	Casseforme: tavole in legno di abete rosso Cemento: bianco	Casseforme: tavole in legno trattato con ammoniacca Cemento: grigio
			
La scelta di tavole corte e di dimensioni variabili permette di avere giunti frequenti e sfalsati che mascherano eventuali imperfezioni		La scelta della finitura superficiale attenua molti difetti altrimenti inaccettabili	
		Superficie ruvida realizzata con assi di dimensioni ridotte ed evidenziazione dei giunti verticali	

EFFLORESCENZE		
CAUSE	<ul style="list-style-type: none"> • Morfologia e dimensione degli elementi: assenza o errata progettazione di scossaline, davanzali di protezione e coronamento • Il calcestruzzo e i suoi componenti: eccesso d'acqua nel calcestruzzo, un calcestruzzo poroso, la cui rete capillare permette il trasporto rapido dell'acqua, aggregati contenenti argilla o materie organiche • Messa in opera: scarico del calcestruzzo da una altezza eccessiva, gli schizzi vanno ad investire la parte alta delle casseforme e induriscono prematuramente, il disarmante è trascinato verso il basso dagli schizzi di malta, evaporazione irregolare dell'umidità, scarsa protezione del getto ancora fresco, maturazione insufficiente • Agenti esterni: acqua piovana, condizioni climatiche (variazione igrometrica) più sfavorevoli soprattutto nelle stagioni fresche e umide (primavera ed autunno). 	
MISURE PREVENTIVE	<ul style="list-style-type: none"> • Morfologia e dimensione degli elementi: uso e corretta progettazione di elementi accessori quali scossaline e gocciolatoi, prevedere un trattamento di superficie, come la fluosilicatizzazione, protezione delle parti interrato, allo scopo di evitare la penetrazione dei sali contenuti nel terreno. • Il calcestruzzo e i suoi componenti: limitare la concentrazione d'acqua, con l'eventuale utilizzo di un additivo riduttore d'acqua, utilizzare aggregati puliti (senza argilla, né materie organiche), comporre un calcestruzzo di buona granulometria, compatto, aggiungere nella massa del calcestruzzo un prodotto idrofugo. • Messa in opera: Utilizzare scarico del calcestruzzo tramite scivoli, Favorire una evaporazione regolare dell'umidità, procedere ad una maturazione idonea, nebulizzazione di acido fluoridrico diluito al 10%, dopo la formatura 	
RIMEDI	<p>Analisi delle cause, della natura e della consistenza delle formazioni cristalline.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se le formazioni superano il 15% della superficie interessata, è consigliabile l'intervento correttivo. Conviene trattare tempestivamente il calcestruzzo colpito, poiché l'idrossido di calce è solubile in acqua, mentre dopo carbonatazione, il carbonato di calce formatosi non lo è più. • Lavaggio con acqua corrente e spazzolatura con una spazzola di gramigna (le cui setole sono ottenute a partire da rizomi naturali) o di nylon morbido, per efflorescenze poco aderenti al momento della loro apparizione. • Spazzolatura con acqua contenente il 10% di acido cloridrico (seguito da un risciacquo con acqua chiara) nel caso di efflorescenze di carbonato di calcio più aderenti, più dure. • Spazzolatura con candeggina (soluzione acquosa di ipoclorito e di cloruro di sodio) per alcune efflorescenze giallastre e brunastre (presenza di umati alcalini...) • Applicazione di un idrofugo di superficie per evitare l'apparizione dopo il trattamento di nuove efflorescenze 	
		
Efflorescenza causata probabilmente da una evaporazione irregolare	Efflorescenze brunastre causate probabilmente da evaporazione irregolare o da aggregati inquinati	Efflorescenze causate dalla costante presenza di acqua a contatto con la superficie

04 |

ESAME VISIVO	
Fessurazioni	
<ul style="list-style-type: none"> • Irregolari/regolari • Frequenza (lunghezza cumulativa in mm/m²) • Geometria (ampiezza, lunghezza e profondità) • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte in relazione all'ambiente (interno/esterno), ed alle condizioni micro-climatiche, geografiche e strutturali (intradosso, estradosso, ecc.) 	
<i>Ferri di armatura</i>	
Ferri scoperti	Macchie di ruggine
<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Aspetto della corrosione (generalizzata/localizzata) • Riduzione del diametro dei ferri • Tipo di ruggine (compatta/porosa) • Spessore del copriferro 	<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Forma delle macchie (circolare, oblunga, irregolare)
<i>Delaminazioni superficiali del calcestruzzo</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Frequenza • Spessore • Aspetto del calcestruzzo delaminato (duro/incoerente) • Presenza di efflorescenze, sub-florescenze, incrostazioni 	
<i>Distacchi del calcestruzzo</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Spessore • Localizzazione (spigoli, superfici, ecc.) • Estensione delle aree coinvolte • Posizione delle aree coinvolte • Aspetto del calcestruzzo danneggiato (duro/incoerente) • Frequenza 	

Research objectives and methodologies

The research aims to investigate the quality of a characteristic material of the modern and contemporary architectural culture, and specifically its exposed component, and is part of a cultural context characterized by problems arising from the deterioration of modern and contemporary architecture, restoration and the emergence of new skills and disciplines.

The research followed three main lines of inquiry: a more specific one on the material, through the study of the chemical and physical properties and characteristics of the components and the mix; a more direct one on construction sites, to assess specific methodologies and recurring criteria in the installation phases; and a more in-depth one that analyses a series of case studies concerning current con-

structions, but also buildings that are relevant for their geographic location, historical period and the identity of the designer.

The possibility of obtaining geometrically perfect surfaces free of defects, that maintain their colour characteristics over time, or irregular and imprecise ones that age naturally, is one of the architectural strengths of the material.

What distinguishes the different types of surfaces is the skin, that is the cement and sand surface layer which varies according to the different formwork used, the colour of the sand and cement selected, and the use of pigmented additives and aggregates to be applied to the façade (Fig. 1). The type of material used for the formworks (natural or coated wood, metal, rubber, etc.), like the morphology and dimensions of the elements used, can

produce very different results (surfaces that are rough, smooth, designed, with visible aggregates, etc.) (Fig. 2).

Yet although exposed concrete can be defined as a structured surface, with a result that can be planned in advance, its creation involves a series of factors that can influence the final result and that cannot be envisaged or controlled. The methodological approach enabled us to conduct an in-depth study of the factors that determine the quality and defects of the facings defining their durability, and that range from the design phase (morphology and size of the elements), through to the design of the mix (the concrete and its components), the installation phases (type and materials of the formworks, release agents, height, position, sequence of the castings, etc.), up to the external agents (atmospheric agents, pollution, etc.).

For research purposes the identification of pathologies that can affect the different types of exposed surfaces is particularly important, as the restoration works can differ greatly not only in relation to the type of surface finish but also the type of pathology detected (Fig. 3).

The in-depth analysis of case studies, through visual examinations, and the collection of historical data, on-site tests and lab tests was required for a direct study of the most common pathologies and to make a diagnosis of the degradation, in order to come up with a repertory of suitable solutions to restore the exposed concrete facings and to confirm and systematise the theoretical data of the research (Fig. 4). The types of finishes and pathologies, in fact, have been appropriately classified and systematised in order to identify specific products and restoration

soltanto a prodotti che si occupano dell'adeguamento strutturale degli elementi degradati e della futura durabilità (Fig. 5).

Variazioni di colore, macchie, efflorescenze, insudiciamenti, fessure e distacchi sono solo alcune delle problematiche che rendono qualitativamente inaccettabile un paramento di questo genere.

Proprio per la molteplicità di difetti, endogeni e esogeni, che caratterizzano questo tipo di facciate oggi si può parlare di una vera e propria patologia² (Fig. 6).

Nel caso di difetti cromatici si interviene prima con la pulitura e successivamente con la protezione: la scelta di pulire le superfici utilizzando prodotti che asportano la pellicola superficiale, così come l'uso di prodotti protettivi non adeguati, però, può stravolgere l'aspetto originario del paramento. Anche l'intervento di pulizia e protezione più accurato, infatti, difficilmente può essere mimetizzato, in quanto solitamente rimane caratterizzato da un colore differente ancor più evidente se localizzato in piccole e definite porzioni di facciata. Per la pulizia delle facciate de l'Unité d'Habitation di Marsiglia di Le Corbusier, anche parzialmente alterate da un successivo strato di rivestimento plastico impermeabilizzante, è stato utilizzato un decapaggio chimico. I lavaggi con acqua calda sono stati alternati con l'applicazione a spazzola di un prodotto alcalino a base di soda caustica (pH 14), fino a far riapparire la superficie originaria.

La successiva applicazione di un film sottile di prodotti polimeri a base silossanica, acrilica, fluorurata (sia a base di acqua sia a solvente) consente di proteggere il materiale dalla penetrazione dell'acqua e dagli agenti aggressivi in essa contenuti, favorendo contemporaneamente la lenta fuoriuscita dell'umidità verso l'esterno, grazie al passaggio delle molecole del vapore attraverso i

actions and possible innovative solutions thanks to a clear and thorough cognitive framework.

As it is not possible in this paper to address all the aspects investigated in the research only some of them shall be examined, and specifically those linked to the methodologies and materials used to renovate the exposed facings with references to some case studies.

The renovation of fair faced concrete

The restoration of exposed concrete facings often marks the return of more secure buildings to cities, though they differ from the original ones as the designers' original aesthetic choices disappear under covering layers of paint or plaster.

The work is complex above all due to the difficulty of reproducing the original textures, in terms of both design

and colouring: a façade created by planks of wood treated with ammonia to highlight the veining or a facing with visible aggregates, for example, cannot be restored using products that only deal with structural adjustment, the degraded elements or future durability (Fig. 5).

Changes to the colour, marks, efflorescence, soiling, cracks and detachments are just some of the problems that make a facing of this type qualitatively unacceptable.

It is precisely due to the many endogenous and exogenous defects characterising this type of facing that we can now talk about a genuine pathology² (Fig. 6).

Where colour defects occur, an initial cleaning is carried out and then protection is applied: the choice to clean the surfaces using products that remove the surface film, and likewise

pori. L'efficacia dell'intervento viene valutata in base alla variazione cromatica indotta dalla loro applicazione (Raccomandazione NorMal 43/93) e alla capacità di inibire l'assorbimento di acqua misurato attraverso il metodo della spugna di contatto (UNI EN 16085:2012). Le varie sperimentazioni effettuate evidenziano risultati ottimi in merito alla riduzione dell'assorbimento di acqua ma, tranne rari casi, deludenti in merito alle variazioni cromatiche: quasi tutti i prodotti, infatti, generano alterazioni di colore ben visibili (Fig. 7).

Gli interventi di ripristino di paramenti fessurati sono sicuramente più invasivi e complessi.

Tralasciando la descrizione delle operazioni di preparazione del sottofondo e dei ferri di armatura, oramai consolidate nel recupero dei cementi armati ammalorati, occorre concentrarsi sulle metodologie e i materiali utilizzati per il ripristino volumetrico e la finitura superficiale.

Una prima distinzione può essere fatta tra i materiali utilizzabili: quelli a base cementizia (malte o calcestruzzi) e quelli a base polimerica (resine epossidiche, poliuretaniche, ecc).

I prodotti cementizi risultano più idonei per i recuperi dei facciate a vista in quanto coinvolgono porzioni di facciata e spessori che permettono di lavorare anche sulla finitura superficiale. Poiché questi prodotti devono presentare un'ottima aderenza al calcestruzzo originale (a causa del ritiro igrometrico subiscono una contrazione differenziale rispetto al calcestruzzo originale) vengono utilizzati degli agenti espansivi (Coppola, 2015).

Per il ripristino di superfici ruvide con venature in vista possono essere utilizzati vari procedimenti: il primo consiste nel ricreare un nuovo sistema di casseforme quasi in aderenza al paramento esistente, realizzato con tavole delle stesse dimensioni e della

the use of inadequate protection products, can however alter the original appearance of the facing. Even more careful cleaning and protection work is difficult to conceal as the resulting colour is usually different, which is even more evident if localized in small and defined parts of the façade. To clean the façades of Le Corbusier's Unité d'Habitation in Marseille, also slightly altered by a subsequent layer of waterproof plastic coating, chemical pickling was carried out. Hot water washes were alternated with brush applications of a caustic soda-based alkaline product (pH 14), until the original surface reappeared.

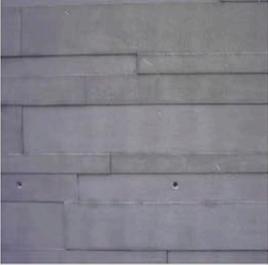
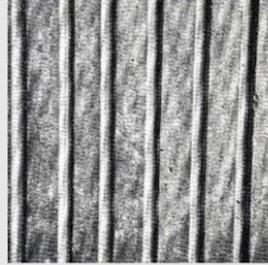
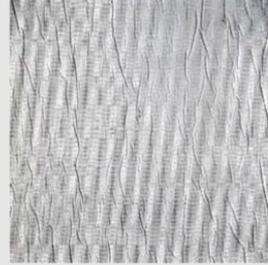
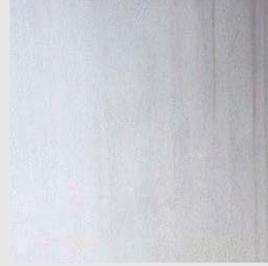
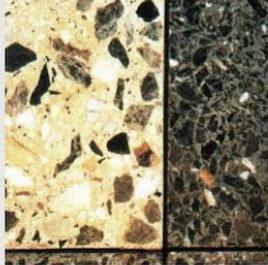
The subsequent application of a thin film of siloxane, acrylic and fluoride-based polymer products (both water- and solvent-based) protects the material from water penetration and from the aggressive agents contained in it, at

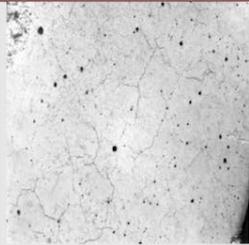
the same time permitting the slow release of moisture to the outside due to vapour molecules moving through the pores. The effectiveness of this work is assessed on the basis of the colour change caused by their application ("NorMal" recommendation 43/93) and the capacity to inhibit water absorption measured using the contact sponge method (UNI EN 16085:2012). The various tests carried out show excellent results in terms of reduced water absorption, however, except in rare cases, they were disappointing as regards colour change: almost all the products, in fact, produced clearly visible colour alterations (Fig. 7).

Work to restore cracks in the facings was certainly more invasive and complex.

Leaving aside a description of the operations to prepare the base and rebars, now consolidated in the restoration of

05 |

ABACO DELLE SUPERFICI			
			
<p>Superficie disegnata Cassaforma: tavole di legno Finitura: liscia con bassorilievi Cemento: grigio Miscela: SCC</p>	<p>Cassaforma: matrici in gomma Finitura: pietra Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole di legno Finitura: liscia rigata verticalmente Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: matrici fogli di plastica raggrinziti Finitura: ruvida Cemento: grigio</p>
			
<p>Superfici lisce Cassaforma: in pannelli di legno rivestiti in formica Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in tavole di legno piallato e trattato Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in tavole di legno piallato e trattato Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: in pannelli di legno rivestiti in formica Cemento: bianco</p>
			
<p>Superfici ruvide Cassaforma: tavole in legno curvate irregolarmente Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno grezzo Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno trattato con ammoniaca Cemento: grigio</p>	<p>Cassaforma: tavole in legno di abete rosso Cemento: bianco</p>
			
<p>Superfici lavorate Inerti: di dimensioni ridotte Cemento: grigio</p>	<p>Inerti: brenta Cemento: bianco</p>	<p>Inerti: ininfluenti Cemento: bianco</p>	<p>Inerti: di frantumazione Cemento: bianco e grigio (ds)</p>

ABACO DELLE PATOLOGIE			
			
Distacchi causati dallo scarso spessore del copriferro e dalle tensioni generate dall'armatura curvilinea	Distacchi causati dalla deformazione dei ferri	Distacchi causati da una scarsa qualità del calcestruzzo eccessivamente esposto agli agenti atmosferici che ha portato alla corrosione delle armature (parapetto senza copertura)	Distacchi causati da uno spessore inadeguato del copriferro anche in relazione alla esposizione alle polveri inquinanti
			
Cavillature causate probabilmente da un rapporto a/c troppo elevato	Calcinari causati da aggregati caratterizzati dalla presenza di grumi di pirite di ferro	Marcatura dovuta a casseforme non rigide.	Marcatura evidenziata sia dal getto superiore discostato rispetto a quello inferiore che dalla relativa colatura di boiaccia cementizia a causa di casseforme non rigide
			
Cavità superficiali diffuse nella parte bassa del getto non adeguatamente vibrato. Il paramento è anche caratterizzato da nidi di ghiaia nelle zone di giuntura delle tavole	Cavità superficiali causate da una vibrazione inadeguata	Cavità superficiali diffuse nella parte bassa del getto non adeguatamente vibrata	Cavità superficiale su superfici lisce causate da casseforme eccessivamente impermeabili
			
Nidi di ghiaia causati da un diametro massimo eccessivo degli aggregati rispetto alle dimensioni del getto	Nidi di ghiaia causati da riprese di getto inadeguate e da casseforme non rigide	Nidi di ghiaia causati da una segregazione del calcestruzzo (messa in opera inadeguata e scarsa qualità della miscela)	Nidi di ghiaia causati da una scarsa presenza di cemento e di fini nella miscela

stessa specie delle originali, e colare, all'interno dell'intercapedine che si è creata, la malta o il calcestruzzo di composizione e colorazione identica all'originale (solitamente per riparare spessori maggiori di 5 cm). È indispensabile che il supporto esistente sia ruvido, eventualmente corredato di sistemi di aggrappo, e che il nuovo prodotto sia di tipo superfluido o autocompattante per poter raggiungere con facilità tutti gli interstizi. Questo procedimento evita l'individuazione di rattoppi localizzati e conferisce al paramento l'immagine originaria, ma, oltre a risultare particolarmente complesso e costoso, modifica lo spessore delle pareti con tutte le problematiche che ne derivano soprattutto in prossimità delle aperture.

Un altro sistema è quello di usare le tavole come "stampi", sulla malta utilizzata per il ripristino volumetrico applicata a spruzzo o a cazzuola (per superfici di grande estensione e di spessore inferiore ai 5 cm). In questo modo la pressione manuale delle tavole può generare quelle imperfezioni che contraddistinguono questa tipologia di finitura superficiale. Nel recupero delle facciate della Cité Radieuse sono state utilizzate varie tecniche: la malta di tipo tixotropico, confezionata con l'utilizzo di un additivo plastificante riduttore d'acqua a base di lignosulfonati, con una granulometria e una tipologia dell'inerte (per aspetto e colore) simile al calcestruzzo originario, è stata in una zona colata all'interno di nuove casseforme, mentre in un'altra è stata applicata a cazzuola a strati successivi. In entrambi i casi lo spessore del paramento è stato incrementato di circa 5 cm, modificando di fatto le proporzioni originarie basate sul Modulor. In un'altra zona, sullo strato superficiale ancora fresco della malta, sono stati impressi pannelli costituiti da tavole in legno d'abete, sabbiate per evidenziarne le venature e facilitare la riproduzione dell'im-

reinforced concrete in need of repair, we should concentrate on the methodologies and materials used for the volumetric renovation and surface finish. A first distinction can be made between the usable materials: those with a cement base (mortar or concretes) and those with a polymer base (epoxy resins, polyurethanes, etc.).

Cement products are more suitable for restoring exposed faces as they involve portions of the façade and thicknesses that also allow work on the surface finish. Since these products must have excellent adherence to the original concrete (due to hygro-metric shrinkage they undergo differential contraction with respect to the original concrete) expansion agents are used (Coppola, 2015).

Various procedures can be used to renovate uneven surfaces with visible veining: the first consists of recreat-

ing a new system of formwork almost attached to the existing facing, created with boards of the same size and type as the original ones, and pouring mortar or concrete of a composition and colouring identical to the original into the gap created (usually for repairs larger than 5 cm). It is essential for the existing support to be uneven, and if necessary to have gripping systems, and for the new product to be superfluid or self-compacting in order to reach all the crevices easily. This procedure avoids localized patches being identified and restores the original appearance of the façade, but in addition to being particularly complex and costly it changes the original thickness of the walls with all the ensuing issues, above all close to the openings.

Another system is to use the boards as "presses" on the mortar used in volumetric renovation applied by spray or



pronta originaria; inoltre sono stati riprodotti anche piccoli difetti, colature, irregolarità nei giunti, affinché questa particolare finitura superficiale riproducesse l'aspetto poco curato dei getti a vista dell'epoca (De Caroli, 1992).

Nel restauro delle facciate delle Residenze universitarie di De Carlo ad Urbino la malta di ripristino calibrata sulle caratteristiche delle superfici esistenti partendo da un mix di cemento bianco e materiali locali nella proporzione di 1:2 e una granulometria di sezione inferiore degli inerti rispetto al calcestruzzo originario è stata applicata sia come strato di riempimento che di finitura (in un caso addizionata con una resina acrilica per il 3% che non ha portato significativi miglioramenti) sia soltanto per la finitura superficiale di 1 cm.

Le integrazioni e i ripristini, però, secondo le volontà di De Car-

trowel (for large surfaces less than 5 cm thick). This way the manual pressure of the boards can create the imperfections that distinguish this type of surface finish. Various techniques were used to restore the façades of Cité Radieuse: tixotropic mortar, packed with the use of a lignosulfonate-based water-reducing plasticizing additive, with a granulometry and aggregates similar (in terms of appearance and colour) to the original concrete, was poured into new formwork in one area, while in another it was applied in subsequent layers using a trowel. In both cases the thickness of the facing was increased by around 5 cm thereby altering the original proportions based on Modulor. In another area, fir-wood panels, sandblasted to highlight the veining and facilitate reproduction of the original impressions, were pressed into the still fresh surface layer of

mortar; moreover, even small defects, drips and irregularities in the joints were reproduced so that this particular surface finish would recreate the rough appearance of the former exposed castings (De Caroli, 1992).

In the restoration of the façades of the "De Carlo" university residences in Urbino the repair mortar adjusted to fit the characteristics of the existing surfaces, starting with a mix of white cement and local materials in a 1:2 ratio and the particle size of the aggregates smaller than in the original concrete, was applied as both a filling and finishing layer (in one case with a 3% addition of acrylic resin which did not lead to significant improvements) and for just a surface finish of 1 cm.

The integrations and repairs, however, according to De Carlo's wishes, do not reproduce the original grain of the wooden boards: the work can



lo, non riproducono le trame originarie delle tavole lignee: la riconoscibilità dell'intervento è garantita dalla granulometria di sezione inferiore degli inerti del materiale utilizzato e dall'inserimento di linee orizzontali in corrispondenza delle tracce esistenti. La scelta di non portare in rilievo le integrazioni (come invece fatto nei primi interventi di recupero sotto la direzione dello stesso De Carlo) garantisce una maggiore durabilità riducendo i rischi di ristagno e infiltrazioni d'acqua. Per garantire una colorazione simile a quella originaria è stata utilizzata una spugnatura, prima della completa asciugatura della malta (Fig. 8).

be recognized by the smaller particle size of the aggregates in the material used and the insertion of horizontal lines corresponding to the existing traces. The choice not to highlight the integrations (as was in fact done in the first restoration works directed by De Carlo himself) ensures greater durability, thereby reducing the risks of stagnation and water infiltration. To ensure similar colouring to the original appearance a sponging technique was used, before the mortar dried completely (Fig. 8).

When restoring surfaces with visible aggregates a distinction must be made: those with aggregates inside the mixture are damaged less frequently as the skin of the concrete has already been removed and during construction particular attention has been paid to the thickness of the concrete cover, while those containing aggregates that are

stuck on deteriorate more easily as the aggregates fall off with greater ease due to endogenous or exogenous causes. The first difficulty with the renovation lies in the preparation of the support: sandblasting should be used with great caution as it can cause even good aggregates to fall off or compromise their chromatic stability. To avoid this it is advisable to use micro-sandblasting, hammering and manual hydro cleaning with water and acids, or expansive mortar which is injected under the skin of the facing and, by increasing in volume, causes the damaged facing to come away. The repair mortar should be packed using aggregates from the same quarry or the same river.

For surfaces with visible aggregates it is advisable to spray the new mixture with continuous low-pressure jets to avoid time differentiation becoming apparent on the façade with stripes

Per il ripristino delle superfici con inerti a vista bisogna fare un distinguo: quelle con inerti interni al composto si danneggiano con meno frequenza, in quanto la pelle del calcestruzzo è già stata asportata e in fase di realizzazione è stata posta particolare attenzione allo spessore del copriferro, mentre quelle con inerti riportati si deteriorano più facilmente, in quanto gli aggregati saltano con maggiore facilità per cause endogene o esogene. La prima difficoltà nel ripristino consiste nella preparazione del supporto: la sabbiatura va utilizzata con molta cautela, poiché può far saltare anche gli inerti buoni o comprometterne la sta-

that are more or less straight and different colouring.

For surfaces with larger aggregates manual operations produce better results, even if they take longer and cost more. It is always advisable to accompany even small touch-ups with a general cleaning of the entire façade as if the restoration is not done well, or the work concerns small areas of the façade, the retouch will be visible even if the original mixture is used as the aggregates have not yet been attacked by external agents.

In the restoration of the facings with visible aggregates in Wright's Unity Temple in Oak Park, the new mixture, which included the addition of accelerating agents to ensure immediate adhesion with the base, was applied using the Shotcrete technique (concrete sprayed through a hose at high velocity), which is capable of ensuring high

mechanical resistance in a short time, and obtaining a homogeneous and compact surface, with a finish similar to the original one without the use of formwork (Piferi, 2014).

Conclusions

The results of the research demonstrate that even the most innovative materials, if not accompanied by an adequate technological culture, are not sufficient to restore quality facings. To ensure that the restoration work and choice of materials are adequate, the skilled workers and professionals involved in the restoration must also be aware of all the processes that led to the creation of the specific facing and the pathologies that afflict it. The collection of historical data on the project, the composition of the original concrete, the techniques used for the packing and the application of the mixture,

bilità cromatica. Per evitare ciò è consigliabile l'uso della micro sabbatura, delle martellinatura e dell'idro pulitura manuali con acqua e acidi, oppure l'utilizzo di malte espansive che vengono iniettate sotto la pelle del paramento e, aumentando di volume, fanno saltare il paramento danneggiato. Il confezionamento della malta di ripristino va fatto utilizzando inerti provenienti dalla stessa cava o dallo stesso fiume.

Per superfici con inerti di piccole dimensioni è consigliabile progettare il nuovo composto con getti continui, a bassa pressione, per evitare che la differenziazione di tempi appaia in facciata con strisce più o meno rettilinee e di differente colorazione.

Per superfici con inerti più grandi le operazioni manuali sono quelle che danno risultati migliori, anche se richiedono tempi e costi elevati. È sempre consigliabile accompagnare anche i piccoli ritocchi con una pulizia generale dell'intera facciata in quanto se il restauro non è ben eseguito, o se l'intervento riguarda piccole parti di facciata, il ritocco sarà visibile anche utilizzando il composto originale in quanto gli aggregati non sono ancora stati attaccati dagli agenti esterni.

Nel recupero dei paramenti con inerti a vista dello Unity Temple a Oak Park di Wright, la nuova miscela, additivata con prodotti acceleranti di presa per garantire l'aggrappo immediato con il sottofondo, è stata messa in opera con la tecnica dello Shotcrete (calcestruzzo spruzzato con lancia ad aria compressa), in grado di garantire resistenze meccaniche elevate in tempi ridotti, e di ottenere una superficie omogenea e compatta, con una finitura simile all'originale, senza l'utilizzo di casseforme (Piferi, 2014).

combined with accurate visual and instrumental diagnostic examinations, make it possible to identify the appropriate materials and methodologies for each specific project and if necessary to test new ones. It should be remembered, however, within certain limits, that some pathologies of exposed concrete must be accepted as inevitable and that their correction is sometimes more aesthetically evident than the defects themselves. To achieve this an adequate regulatory instrument would be appropriate which defines admissible and non-admissible defects in the completed work (guaranteed aesthetic performances) and describes the implementation process and the quality of the raw materials to be used.

NOTES

¹ The French Minister for Public Works, Mr Pineau, at the opening cer-

Conclusioni

Gli esiti della ricerca dimostrano che anche i materiali più innovativi, se non accompagnati da un'adeguata cultura tecnologica, non sono sufficienti per ripristinare paramenti di qualità. Perché le operazioni di ripristino e la scelta dei materiali siano adeguate, c'è bisogno che le maestranze e i professionisti coinvolti nel ripristino abbiano conoscenza anche di tutti i processi che hanno portato alla realizzazione dello specifico paramento e delle patologie che lo affliggono. La raccolta dei dati storici del progetto, della composizione del calcestruzzo originario, delle tecniche utilizzate per il confezionamento e la messa in opera del composto, abbinate ad accurati esami diagnostici visivi e strumentali, permettono di identificare materiali e metodologie opportune per ogni specifico intervento ed eventualmente di sperimentarne di nuovi. Occorre comunque ricordare che, entro certi limiti, alcune patologie dei calcestruzzi faccia a vista devono essere accettate come inevitabili e che la loro correzione diventa a volte più evidente, esteticamente, degli stessi difetti. Per fare ciò sarebbe opportuno uno strumento normativo adeguato che definisse difetti ammissibili e non ammissibili ad opera ultimata (prestazioni estetiche garantite) e descrivesse il processo di realizzazione e la qualità delle materie prime da utilizzare.

emony of "Le journées du Centenaire" in Paris on 8 November 1949, declared «Reinforced concrete has played an immense role in this reconstruction work! We cannot even imagine what it would have been without it, or how many years or decades it would have taken to complete the same reconstruction work using traditional materials and construction techniques» (Mezzina e al., 2003).

² «The condition for the activation of a pathological state always involves the presence of defects deposited within a phase of the phases in which the building process develops». We can talk about pathology «when the deterioration, the decline in performances [...] manifests earlier and not in line with the average expected duration» (Croce, 2003).

NOTE

¹ Il Ministro dei Lavori pubblici francese Pineau alla cerimonia inaugurale de "Le journées du «Centenaire» a Parigi l'8 novembre del 1949, dichiarerà In questa opera di ricostruzione il cemento armato ha giocato un ruolo immenso! Noi non possiamo nemmeno immaginare cosa ci sarebbe stato senza di esso, di quanti anni o decenni ci sarebbe stato bisogno per compiere lo stesso lavoro di ricostruzione adoperando materiali e tecniche costruttive tradizionali» (Mezzina e al., 2003).

² «La condizione di attivazione di uno stato patologico è sempre costituita dalla presenza di difetti depositati all'interno di una fase delle fasi in cui si sviluppa il processo edilizio» si può parlare di patologia «quando il deterioramento, lo scadimento prestazionali [...] si manifesta con temporizzazioni anticipate e non in linea con le attese medie di durata» (Croce, 2003).

REFERENCES

- AA.VV. (2016), *Architectures de béton*, Dunod, Malakoff.
- Andriani, C. (2016), *Cemento futuro. Una materia in divenire*, Skira, Milan.
- Baratta, A., Masciullo, A. (2014), "La durabilità delle strutture in calcestruzzo a vista. Il caso studio delle superquadras di Brasilia", in Catalano, A. and Sansone C. (Eds.), *Progetto e tecnologia per il costruito*, Imready, Galazzano (RSM), pp. 33-44.
- Bardelli, P.G. (1992), "Conoscenze strategiche per il restauro dell'architettura moderna. Il caso de l'Unité d'Habitation di Marsiglia", in Gimma, M.G. (Eds.), *Il restauro dell'architettura moderna*, BetaGamma, Viterbo, pp. 125-134.
- Blanchard, R., Bouichou, M., Congar, T., Marie-Victoire, E. (2015), "Concrete cultural heritage in France. Inventory and state of conservation", in AA.VV. (Eds.), *Concrete repair, rehabilitation and retrofitting IV*, Leipzig, DE, pp. 343-350.
- Buttner, T. and Raupach, M. (2014), *Concrete repair to EN 1504: diagnosis, design, principles and practice*, CRC Press, London.
- Chirag, P. and Poonami, M. (2016), *Repair and rehabilitation of concrete structures*, PHI, Delhi.
- Coppola, L. and Buoso, A. (2015), *Il restauro dell'architettura moderna in cemento armato*, Hoepli, Milan.
- Croce, S. (2003), "La patologia edilizia", in Gottfried, A. (Ed.), *La qualità edilizia nel tempo*, Hoepli, Turin.
- De Caroli, F. (1992), "Conoscenze tecniche per le scelte di intervento su edifici significativi dell'Architettura moderna", in Gimma, M.G. (Ed.), *Il restauro dell'architettura moderna*, BetaGamma, Viterbo, pp. 219-227.
- Dessy, P. and Galimberti, V. (2001), "Sistemi e prodotti per il ripristino del calcestruzzo", *l'Edilizia*, No. 1, Milan, p. 44.
- Dimitrijevic, B., Guida, A. and Pagliuca, A. (2011), *Reinforced concrete condition assessment in architectural heritage. The Lion Chambers (Glasgow, UK) and the Theatre E. Duni (Matera, Italy)*, CUES, Fisciano (SA).
- Faresin, A. (2012), *Architettura in calcestruzzo. Soluzioni innovative e sostenibilità*, Utet, Turin.
- Kupiers, M. (2003), "Restaurare l'edificio e non la sua immagine", *Il Giornale dell'Architettura*, No. 10, pp.13-18.
- Marino, R. and Piferi, C. (2005), "Il calcestruzzo faccia a vista", *In Concreto*, No 66, pp. 40-44.
- Mezzina, M. and Uva, G. (2003) "Degradamento e riabilitazione strutturale dell'architettura in cemento armato: la crisi della modernità", *d'Architettura*, No. 20, Milan, pp. 176-181.
- Picchione, M.G. (2004), "La tutela delle opere di architettura contemporanea", *L'Architetto Italiano*, No. 4, pp. 44-46.
- Piferi, C. (2006), "Quality and deterioration of the architectural concrete facades", in AA.VV. (Eds.), *Construction in XXI century: local and global challenges*, Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 408-409.
- Piferi, C. (2014), "Il ripristino architettonico dei paramenti in calcestruzzo a vista: lo Unity Temple di Wright-Oak Park (Illinois)", in Catalano, A. and Sansone, C. (Eds.), *Progetto e tecnologia per il costruito*, Imready, Galazzano (RSM), pp. 245-255.
- Pretelli, M. and Ugolini, A. (2012), "I calcestruzzi di Urbino", in Catalano, A. and Sansone, C. (Eds.), *Il Calcestruzzo per l'edilizia del nuovo millennio. Progetto e tecnologia per il costruito*, Arti Grafiche La Regione, Ripalimosani (CB).

Alberto Raimondi^a, Mabel Aguerre^b,

^aDipartimento di Architettura, Università degli studi Roma Tre, Italia

^bOve Arup & Partners Ltd, Londra

alberto.raimondi@uniroma3.it
Mabel.Aguerre@arup.com

Abstract. La disponibilità di strumenti che valutano i materiali in relazione ai protocolli di sostenibilità necessita sviluppi. La ricerca propone uno strumento e un metodo per supportare la scelta dei materiali in termini di sostenibilità, ponendo in relazione le scelte effettuate con la quantificazione dei crediti LEED.v4 BD+C MR associati. Lo strumento valuta il progetto e fornisce indicazioni sia relative al raggiungimento del massimo punteggio LEED che all'ottimizzazione della scelta dei materiali. Tale stima è ottenuta estraendo i parametri definiti nel modello BIM di progetto; la ricerca è applicata ad un caso studio. È suggerita l'estensione della ricerca a protocolli che includono materiali sostenibili non certificati e la validazione del sistema tramite ulteriori casi studio.

Parole chiave: LEED v4; BIM; Scelta materiali; Prodotti; Sostenibilità.

Introduzione

La diffusione dei protocolli di sostenibilità nell'industria delle costruzioni influenza le scelte progettuali. Nel contesto della sostenibilità i materiali svolgono una funzione chiave (Commission et al., 2011), (UNDP, 2015), (*European Commission Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste, Final Report*, 2006) e i protocolli ambientali favoriscono l'utilizzo di prodotti e materiali sostenibili dotati di specifiche certificazioni (Zanni, Soetanto e Ruikar, 2014; Jalaei e Jade, 2014; Ferreira, Pinheiro e De Brito, 2014).

Tenere sotto controllo la complessità del processo progettuale richiede il supporto di strumenti in grado di effettuare scelte consapevoli dalle prime fasi di progettazione; attualmente gli strumenti che consentono di computare le prestazioni e la sostenibilità dei materiali sono limitati e auspicabili (Crawford e Czerniakowski, 2015; Attia, 2011). I più diffusi protocolli di sostenibilità sono basati su un sistema di punteggi, da attribuire in base alle prestazioni raggiunte dall'edificio in specifici ambiti e

MSOT: materials selection optimization in the LEED v4 protocol - a case study with BIM

Abstract. The availability of tools that assess the material sustainability in relation to the green protocols is scarce. The research proposes a tool and a methodology to support the materials selection in terms of sustainability whilst also comparing material choices with a quantification of the associated LEED.v4 BD+C MR credits. It assesses the design whilst providing advice to designers on material choice improvement both to achieve LEED maximum score and material sustainability. The quantification is achieved using parameters defined in the project's BIM model. The methodology was applied in a case study. The extension of the research to include non-certified materials and the application of it to other case studies is recommended as some materials and products fall out of the current assessment system.

Keywords: LEED v4; BIM; Choice of materials; Products; Sustainability.

il BIM (Building Information Modelling) è uno strumento valido per estrarre dati richiesti dalla certificazione LEED (Castro-Lacouture et al., 2009).

La burocratizzazione di questi sistemi tende però ad escludere materiali sostenibili non certificati. I produttori devono infatti dimostrare la sostenibilità ambientale dei prodotti tramite l'adozione di numerose attestazioni e i progettisti devono scegliere materiali dotati delle certificazioni più accreditate, riducendo il ventaglio di prodotti o materiali utilizzabili (Castro-Lacouture et al., 2009).

Prescindendo da considerazioni che valutano se ai massimi punteggi dei protocolli ambientali corrispondano effettivamente edifici più sostenibili, questo contributo propone uno strumento, il MSOT (Materials Selection Optimization Tool), e un metodo per supportare il progettista nella selezione dei materiali al fine di ottenere il massimo punteggio LEED e la massima sostenibilità dei materiali tramite l'estrazione dei dati dal modello BIM del progetto. Lo studio è basato su un caso di studio reale, l'applicazione del protocollo LEED v4 BD+C a un progetto di ampliamento di un edificio per uffici a Roma.

Stato dell'arte

Lo sviluppo della cultura e della tecnologia ha provocato cambiamenti nell'ambiente fisico, sociale ed economico. In questo processo la sostenibilità è diventata un fattore cruciale e il BIM può costituire un valido strumento per valutarla (Oduyemi e Okoroh, 2016). Numerosi parametri inseriti nel BIM possono essere utilizzati per eseguire Building Performance Simulations

Introduction

The affirmation of sustainable protocols in the ACE (Architecture, Construction and Engineering) industry influences the design choices. The materials have a key role related to the sustainability (Commission et al., 2011), (UNDP, 2015), (*European Commission Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste, Final Report*, 2006) and the green protocols support the certified sustainable products adoption (Zanni, Soetanto and Ruikar, 2014; Jalaei and Jade, 2014; Ferreira, Pinheiro and De Brito, 2014).

The design process complexity management can be achieved through the adoption of tools that support informed choices at the early design stages. Actually, the tools that allow performance and the material sustainability computations are limited and further developments are desirable (Crawford and

Czerniakowski, 2015; Attia, 2011). The most common sustainable protocols are based on a scoring system based on the building elements performance and BIM (Building Information Modelling) is a valid instrument to extract the data required by the LEED protocol (Castro-Lacouture, Sefair, Flórez and Medaglia, 2009).

However, the protocols bureaucracy excludes non-certified sustainable materials. Indeed, the manufacturers have to demonstrate the products sustainability through the adoption of numerous certifications and the designers have to select the materials with the most reliable certifications, reducing the range of suitable materials and products (Castro-Lacouture et al., 2009).

Regardless of considerations that evaluate if maximum green protocol scores correspond to more sustainable build-

(BSP) al fine di ottenere valori che, tramite i Building Environmental Assessment Methods (BEAM) come il Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (USGBC, 2013) forniscono indici di sostenibilità (Alfredo e Calquin, 2013).

La ricerca di strumenti per aiutare a raggiungere i crediti relativi ai materiali nella versione LEED 2009 (USGBC, 2010) fornisce esempi che collegano il modello BIM alla documentazione necessaria per il LEED (Azhar et al., 2011). Al fine di eseguire valutazioni nelle prime fasi di progettazione con un ridotto costo della gestione delle informazioni, sono state inoltre sviluppate metodologie semplificate che prevedono l'estrazione di dati in assenza di un modello 3D (Maltese, Moretti e Re Cecconi, 2017). Il LEED è un noto protocollo di certificazione ambientale per gli edifici in continua evoluzione e dal 2017 la versione 4 sostituisce quella del 2009. Il LEED prevede diversi protocolli¹ in base alla tipologia d'intervento da certificare, quello qui considerato è il BD+C (Building Design and Construction), dedicato alle nuove costruzioni o alle grandi ristrutturazioni. Il sistema assegna alla fine del processo la certificazione in base al livello di sostenibilità ambientale raggiunto: Certified, Silver, Gold, Platinum. Per ottenere la certificazione occorre soddisfare i requisiti obbligatori e soddisfare altri requisiti suddivisi secondo 8 criteri: Location and Transportation (LT), Sustainable Sites (SS), Water Efficiency (WE), Energy and Atmosphere (EA), Materials and Resources (MR), Indoor Environmental Quality (EQ), Innovation (IN), Regional Priority (RP).

Questa ricerca è focalizzata sul ruolo dei materiali; il capitolo MR vale un massimo di 13 punti su un totale di 110 e ha 2 requisiti obbligatori che devono essere soddisfatti. L'obiettivo è «minimizing the embodied energy and other impacts associated

ings, this research proposes a tool, the MSOT (Materials Selection Optimization Tool), and a methodology to support the designer in the materials selection, aiming to achieve the highest LEED score and materials sustainability through the BIM model data extraction. The research is based on a case study, the application of the LEED v4 BD+C protocol to the extension of an office building in Rome.

State of the art

The culture and technology development provoked changes in the physical, social and economic environment. In this process, the sustainability is a key factor and BIM can be a valid tool to assess it (Oduyemi and Okoroh, 2016). Diverse parameters inserted in the BIM model can be used to perform Building Performance Simulations (BSP), obtaining values that, through

the Building Environmental Assessment Methods (BEAM) such as Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (USGBC, 2013), provides sustainability indicators (Alfredo and Calquin, 2013).

Different tools that supported the LEED 2009 (USGBC, 2010) protocol materials credits achievement had been developed, correlating BIM model and LEED required data (Azhar et al., 2011). To provide early design stages assessments with reduced information cost management, simplified methodologies based on data extractions without a 3D model had been also developed (Maltese, Moretti and Cecconi, 2017).

LEED is a building environmental certification protocol in constant evolution and from 2017 the version 4 replaces the 2009 one. The LEED protocol is composed of many sections¹

with the extraction, processing, transport, maintenance, and disposal of building materials»². Il criterio per la valutazione della sostenibilità dei materiali è basato sul LCA (Life Cycle Assessment) e sulla diminuzione degli impatti ambientali, considerando l'energia grigia contenuta in ogni materiale.

Uno dei principi della sostenibilità dei materiali su cui si basa il LEED è che la generazione di rifiuti del settore delle costruzioni è alta, negli USA arriva al 40% del totale dei rifiuti solidi e in EU al 25%³ (ISPRA, 2017). Il LEED abbraccia le strategie dell'EPA (U.S. Environmental Protection Agency) e della Circular Economy che considerano i rifiuti da produzione e demolizione responsabili di un alto danno ambientale, indicando una gerarchia di interventi volti a ridurne l'impatto: riduzione alla fonte, riuso, riciclaggio e uso dei materiali come fonte energetica ("Sustainability US EPA" 2018), (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

La riduzione alla fonte è considerata la strategia preminente, evitando che un prodotto diventi rifiuto nel suo ciclo di vita. Ciò è possibile con un'attenta progettazione tesa a ridurre gli sfridi o gli errori di progetto o allungando la vita utile del bene.

Il riuso di edifici o di prodotti esistenti è la seconda strategia più efficace, poiché il riutilizzo dei materiali esistenti evita il carico ambientale generato dal processo di produzione e trasporto.

Il riciclo è la strategia più diffusa per prevenire il trasporto a discarica. Le tecnologie stanno evolvendo, generando un mercato delle materie prime seconde che si sta diffondendo anche nel campo delle costruzioni, che prevede il reinserimento dei materiali di riciclo nei flussi produttivi⁴.

Quando nessuna delle precedenti strategie è applicabile, è indicato l'uso dei rifiuti come fonte energetica per prevenire il conferimento a discarica.

based on the building function. In this research, the BD+C (Building Design and Construction), dedicated to new buildings or major renovations, has been considered. The protocol assigns the final certifications based on the environmental sustainability achieved level, which are: Certified, Silver, Gold and Platinum. To obtain the certification, mandatory prerequisites and credits must be satisfied. This system is organized in 8 criteria: Location and Transportation (LT), Sustainable Sites (SS), Water Efficiency (WE), Energy and Atmosphere (EA), Materials and Resources (MR), Indoor Environmental Quality (EQ), Innovation (IN), Regional Priority (RP).

This paper is focused on the role of the materials; in the MR section, it is possible to achieve a maximum of 13 points out of 110 and there are 2 mandatory prerequisites. The objec-

ive is «minimizing the embodied energy and other impacts associated with the extraction, processing, transport, maintenance, and disposal of building materials.»² The materials sustainability assessment criteria are based on the LCA (life-cycle assessment) and on the environmental impact reduction by considering the materials grey energy. One of the principles of the material sustainability of the LEED protocol is that the construction sector waste generation is high, in the USA it reaches 40% of the total solid waste and in the EU the 25%³ (ISPRA, 2017). Indeed, LEED embraces the strategy of the EPA (U.S. Environmental Protection Agency) and of the Circular Economy, that consider the production and demolition waste as responsible for a high environmental damage, indicating a hierarchy of actions to decrease it: reduction at

Il LEED premia il riutilizzo di prodotti o materiali e i materiali con alto contenuto di materie prime seconde. Il protocollo misura la qualità ambientale dei materiali assegnando dei punti a prodotti che attestino i seguenti obiettivi:

1. Riduzione dell'impatto nel ciclo di vita dell'edificio. Incoraggiare l'adattamento e il riuso di edifici e parti di essi. Ottimizzare le prestazioni ambientali di materiali e prodotti e ridurre l'impronta ambientale degli edifici tramite il LCA (5 punti).
2. Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD). Scegliere prodotti di aziende virtuose dotate di EPD, incoraggiando l'adozione di prodotti per i quali è stato verificato il miglioramento dell'impatto ambientale sul ciclo di vita (2 punti).
3. Provenienza delle materie prime. Incoraggiare la scelta di prodotti reperiti con criteri ambientalmente responsabili (2 punti).
4. Ingredienti dei materiali. Supportare la scelta di materiali la cui composizione chimica è verificata, minimizzando l'uso o la generazione di sostanze nocive. Incoraggiare i produttori dei materiali ad utilizzare materie prime con LCA (2 punti).
5. Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Supportare il riciclo o il riuso dei materiali da demolizione, evitando il conferimento a discarica fino al 75% del totale dei materiali provenienti dalle demolizioni (2 punti).
6. A questi criteri si aggiunge quello della regionalità, che premia i prodotti con una ridotta impronta ecologica. I prodotti generati, trasformati e venduti nel raggio di 160km dal cantiere possono ricevere un punteggio doppio.

L'insieme dei criteri di valutazione dei materiali persegue i seguenti obiettivi, in analogia con quelli delle Nazioni Unite (UNDP, 2015):

source, reuse, recycling and material use as energy source ("Sustainability _ US EPA," 2018), (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Source reduction is considered the main strategy, ensuring that a product does not become waste during its life cycle. That it is possible through a design that reduces the material waste or by extending the material life.

The existing buildings or products reuse is the next most effective strategy, as it reduces the environmental impact generated by the manufacturing process and the product transportation. Recycling is the most widespread strategy to prevent transport to landfills. The technologies are evolving to create a market for secondary raw materials that is also spreading in the ACE sector, reincorporating recycled materials into production flows⁴.

Where none of the above strategies

is applicable, the material used as an energy source is indicated to prevent landfilling.

LEED, therefore, rewards the reuse of materials and the materials with a high content of secondary raw materials. It measures the environmental quality of the materials, assigning credits to products that meet the criteria that support the following aims:

1. Impact reduction on the life cycle of the building. Encourage the reuse of buildings or parts of them. Optimize the materials environmental performance and reduce the buildings environmental footprint through the LCA (max 5 points).
2. Environmental Product Declarations (EPDs). Choose of products from virtuous companies with EPDs, encouraging the use of products and materials with verified improved LCA (max. 2 points).

- supporto allo sviluppo economico di produttori di materiali sostenibili tramite la valutazione del loro peso nel progetto;
- sostegno all'impiego e alla diversificazione di risorse tramite l'uso di materiali certificati;
- incentivo alla crescita economica delle comunità e delle imprese rispettose dell'ambiente;
- supporto delle istituzioni che garantiscono processi di certificazione trasparenti;
- incentivo alla riduzione delle emissioni di CO₂ dovute al trasporto;
- supporto alle economie e comunità locali e sostegno alla riduzione delle disuguaglianze;
- sostegno a scelte progettuali consapevoli tramite la valutazione delle emissioni di CO₂ prodotte per costruire l'edificio e durante l'uso dell'edificio stesso;
- supporto alla progettazione di edifici che raggiungono prestazioni eccezionali o innovative incorporando nuovi prodotti.

L'evoluzione del LEED V4 ha introdotto nell'ambito dei materiali alcuni dei più grandi cambiamenti rispetto alla versione precedente.

Nel capitolo MR i crediti attribuiti singolarmente nella versione precedente sono stati sostituiti da un approccio olistico basato sulla valutazione del ciclo di vita (Fig. 1), incoraggiando l'uso di materiali sostenibili e la riduzione dei rifiuti durante il cantiere. Un nuovo prerequisito richiede un progetto per la gestione dei rifiuti (CWM), evidenziando i tassi di riciclaggio dei rifiuti. Inoltre, il nuovo credito per il LCA mira a ridurre l'impatto ambientale dell'edificio, incoraggiando il riutilizzo di edifici storici e la ristrutturazione di edifici degradati.

3. Sourcing of raw materials. Encourage the adoption of products extracted and manufactured with environmentally responsible criteria (max 2 points).

4. Materials ingredients. Encourage the choice of materials whose chemical composition is declared, minimizing the generation of harmful substances. Encourage material producers to adopt LCA certified raw materials (max 2 points).

5. Construction and demolition waste management. Encourage the demolition materials recycling or reuse, demonstrating that up to 75% of all the demolition materials have not been sent to landfills (max 2 points).

6. In addition to these criteria, there is a regional bonus, that rewards products with reduced ecological footprint. Those processed and sold within a 160 km radius from the

construction site can receive a double score.

The materials evaluation criteria objectives are in analogy with some of the UN goals (UNDP, 2015) and are:

- support the economic development of sustainable material manufacturers through the weight assessment in the project;
- support the sustainable resources adoption and their diversification with certified materials;
- promote the economic growth of environmentally friendly communities and companies;
- support the institutions that guarantee transparent certification processes;
- promote the CO₂ emissions reduction from transport;
- support local economies and communities and encourage the inequalities reduction;

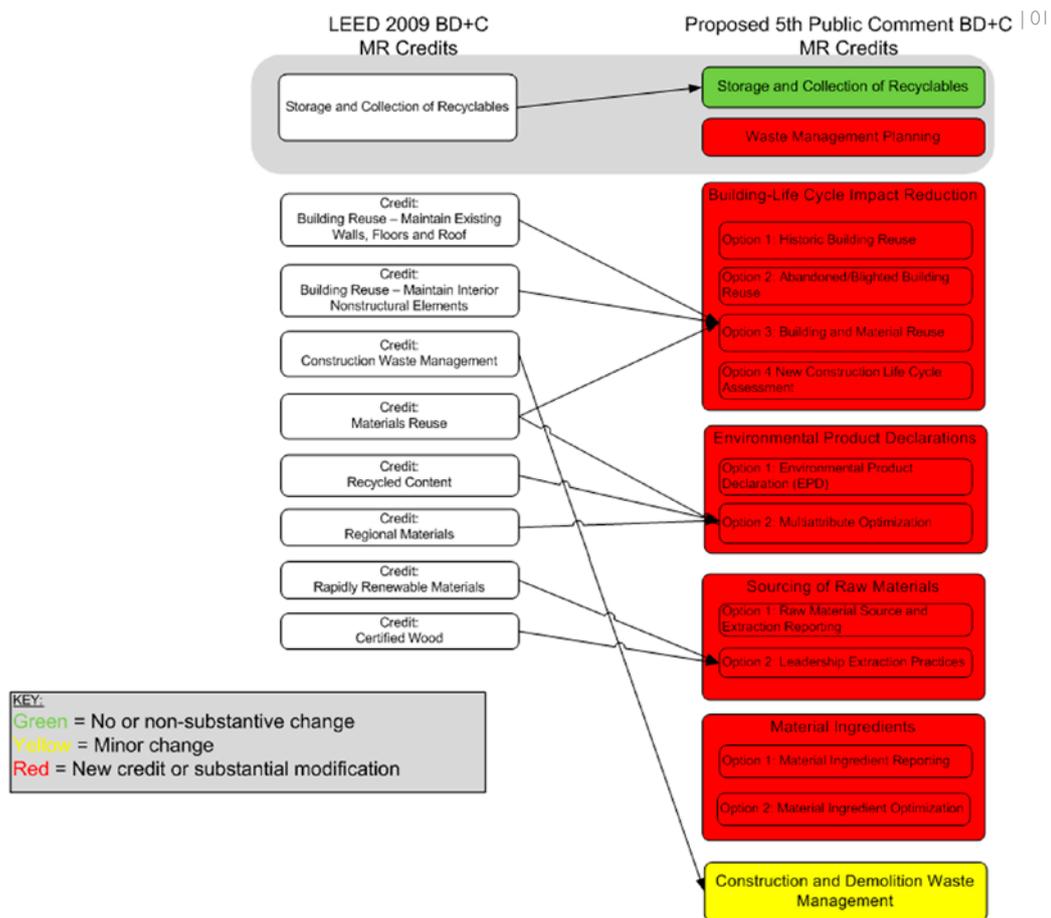
Sono richieste infine certificazioni stringenti su produttori, materie prime e composizione chimica dei materiali. Le certificazioni sono valutate in base al loro grado di attendibilità, premiando quelle rilasciate da enti terzi accreditati. L'USGBC⁵ mette a disposizione il BPDO calculator (Building Product Disclosure and Optimization) un foglio di calcolo per quantificare la sostenibilità dei materiali. I parametri valutati relativi ai prodotti sono 3: costo, attendibilità delle certificazioni e distanza di estrazione, lavorazione e vendita. Le certificazioni riguardano esclusivamente i seguenti aspetti: EPD, Provenienza delle materie prime, Ingredienti dei materiali. Il BPDO non è modificabile, è uno strumento utile per il calcolo dei crediti ma presenta dei limiti per valutare la scelta dei materiali nel corso del progetto. Esso infatti non permette di effettuare una verifica nelle fasi progettuali iniziali e fornisce indicazioni esclusivamente relative al raggiungimento del massimo punteggio LEED, non considerando l'ulteriore potenziale sostenibilità raggiungibile dai materiali. Per superare questi limiti è stato sviluppato lo strumento qui presentato.

Obiettivi

L'obiettivo principale è quello di ottimizzare il progetto per raggiungere il punteggio LEED desiderato, visualizzando e ottenendo indicazioni volte ad una maggiore sostenibilità dei materiali. Nello specifico viene affrontato il problema della selezione dei materiali con l'intento di avere un rapido riscontro in termini di punteggio ottenuto e sostenibilità dei materiali, confrontando prodotti alternativi.

Il caso di studio

Si presenta una sperimentazione di tale processo decisionale applicato a un caso di studio con l'obiettivo di ottenere la certificazione LEED v4 (BD+C). Il caso di studio è il Ghella Meeting Center (Fig. 2), un piccolo edificio a servizio della sede della Ghella s.p.a. progettato per ospitare uno spazio multiuso di 120 mq e altri ambienti di servizio. L'edificio è progettato con soluzioni costruttive a secco e si incastona nello spazio libero tra i due edifici esistenti. La costruzione è in corso e la conclusione è prevista entro il 2018.



02 |



- support informed choices through the evaluation of the materials embodied carbon and the operational CO₂ emissions;
- support the building designs that achieve exceptional or innovative performance by incorporating new products.

The LEED V4 MR chapter introduces some of the biggest changes from the previous version. The previous version credits have been replaced by a more holistic approach based on LCA (Fig. 1). This section encourages the use of sustainable materials and the on-site waste reduction. A new prerequisite requires a waste management project (CWM), highlighting the waste recycling rates. Moreover, a new LCA-related credit aims to reduce the building's environmental impact, encouraging the historical buildings reuse and the abandoned buildings renovation.

Finally, products, raw materials and materials chemical composition stringent certifications are required. The certifications are evaluated based on their reliability, rewarding those accredited by third parties.

The USGBC⁵ provides the BPDO calculator (Building Product Disclosure and Optimization), a spreadsheet to calculate the materials sustainability. The parameters evaluated are 3: material cost, certification reliability and material distance of extraction, production and sale. The certifications only concern the following aspects: Environmental Product Declaration (EPD), Sourcing of Raw Materials, Materials Ingredients.

The BPDO is not modifiable; it is a useful tool that enables the credits calculation, but it has limits in the materials evaluation choice during the design process. Indeed, it does not allow

materials sustainability assessment at the early design stages and it provides only indications related to the highest LEED credits achievable, not considering the highest achievable materials sustainability. To overcome these limits, the presented tool was developed.

Objectives

The overall goal is the sustainability design optimization, achieving the desired MR LEED score and gathering information related to further material sustainability possibilities. In this research, the material selection process aims to achieve a rapid feedback in terms of credits and materials sustainability by comparing products alternatives.

The case study

This decision-making process is applied to a case study with the objective

to obtain the LEED v4 (BD+C) certification to validate the methodology.

The case study is the Ghella Meeting Centre Headquarters in Rome (Fig. 2), a multifunctional space of 120 sqm with additional service areas. The building is designed with prefabricated constructive solutions and it is located between two existing buildings. Construction is underway and it is expected to be completed by 2018.

In the case study, the critical aspects of the materials choices were characterized by the products certificates availability. These criticalities were faced developing the project with the BIM model (Fig. 3), allowing data computation and traceability. The BIM adoption enabled to evaluate different design alternatives, selecting the most performative and maintaining the recognizability of the materials data.

Nel caso di studio sono state evidenziate le criticità nella scelta dei materiali, notevolmente influenzate dalla disponibilità di certificati. Esse sono state risolte affrontando il progetto con processi BIM (Fig. 3), garantendo la computabilità e tracciabilità dei dati. Ciò ha consentito di valutare diverse possibilità di progetto scegliendo la più performante, senza perdere precisione nella riconoscibilità dello specifico materiale.

Metodologia

Per raggiungere il maggior punteggio possibile nel capitolo MR sono state messe a confronto le scelte progettuali con specifico riferimento ai materiali impiegati. È stato creato uno strumento, il MSOT, che consiste in una matrice comparativa in Excel sulla base del BPDO. Il MSOT è in grado di mettere a confronto più soluzioni, estraendo i dati dal modello BIM.

L'obiettivo del MSOT è quello di fornire, oltre al punteggio, un'indicazione sul valore residuo di ottimizzazione ottenibile modificando i valori d'input, visualizzando così il margine di miglioramento della sostenibilità dei materiali oltre il raggiungimento del massimo punteggio LEED. Ciò consente di orientare le scelte in funzione del peso che i singoli prodotti hanno nel calcolo complessivo.

Il MSOT presenta 2 sezioni per inserire i dati, 2 per elaborarli, e 1 per l'output (Fig. 4):

- "Bill of Quantities": sono inseriti i dati estratti dal modello progettato in BIM quali il nome, la quantità dei materiali, il codice, la descrizione, la corrispondente voce del Master Format TOC (ARCOM, 2014), il costo unitario, il costo complessivo dell'opera e la percentuale del costo di ogni materiale sul totale;

Methodology

To obtain the highest possible score from the MR section, different design choices were compared and the adopted materials were analysed. A tool was created, the MSOT, a comparative Excel matrix based on the BPDO calculator. It enables solutions comparison, extracting data from the BIM model.

The MSOT objective is to provide, in addition to the score, the indication of the residual implementation value achievable by changing the input certifications. It shows the possible further improvements beyond the highest LEED score. This procedure allows making informed choices based on the weight that the single product has on the overall calculation.

The MSOT is composed of 2 input data sections, 2 processing areas, and 1 output section (Fig. 4). They are structured as follows:

- "Materials Cost Rating": i dati sono filtrati e ordinati in base all'incidenza percentuale sul costo totale. Ciò consente una rapida visualizzazione dei materiali potenzialmente più incidenti;
- "Material Certifications": sono inseriti i dati riguardanti le certificazioni dei materiali estratte dal modello BIM;
- "Certifications Calculation": i dati inseriti nella precedente sezione sono pesati secondo la metodologia indicata dal protocollo LEED v.4;
- "Credits Score and Potential Improvement": viene visualizzato il potenziale di ottimizzazione delle certificazioni e quanti crediti sono stati raggiunti.

I parametri secondo i quali sono pesati i materiali vengono inseriti nel MSOT "Material Certifications" (Fig. 5). Essi sono estraibili dal modello BIM le cui famiglie degli elementi costruttivi sono state parametrizzate in modo tale da poter inserire i dati relativi alle certificazioni di ogni materiale. Questa sezione riporta l'elenco dei materiali della sezione "Materials Cost Rating" inseriti nella sezione "Bill of Quantities". Per ognuno dei 3 criteri vi sono 2 opzioni, ciascuna di esse consente di raggiungere uno dei 2 crediti corrispondenti. Queste possono essere combinate per raggiungere un massimo di 2 crediti e sono strutturate nel seguente modo:

- opzione 1: è verificato se il materiale ha la certificazione EPD, il report di estrazione dei materiali e il report degli ingredienti dei materiali; le prime due sono pesate in base all'attendibilità dell'ente certificatore;
- opzione 2: è verificato se il materiale è certificato tramite un programma di un ente terzo per le EPD, sono inserite le percentuali di materiali certificati con criteri di estrazione

- "Bill of Quantities": data extracted from the BIM model is inserted, such as name and materials quantities, code, description, Master Format TOC corresponding item (ARCOM, 2014), unit and total cost and the relative percentages on the overall cost;

- "Materials Cost Rating": the material costs are sorted from the highest to the lowest percentage cost value, allowing the identification of the potentially more impacting materials;

- "Material Certifications": the material certifications extracted from the BIM model are inserted;

- "Certifications Calculation": the certifications inserted in the previous section are weighed according to the LEED v.4 protocol methodology;

- "Credits Score and Potential Improvement": the certifications opti-

mization potential and the achieved credits are shown.

The parameters based through which the materials are weighed, are inserted in the MSOT "Material Certifications" section (Fig. 5). They are extracted from the BIM model. In the latter, the component families are parametrized to enable the data materials certifications entering. The "Material Certifications" section shows the materials listed in the "Materials Cost Rating" section and inserted in the "Bill of Quantities" area. For each of the 3 criteria, there are 2 options, each of which allows the achievement of one of the 2 related credits. The 2 options can be combined to a maximum of 2 credits. They are structured as follows:

- Options 1: the EPD certification, material extraction reports and material ingredients report certifications are verified; the first two are

weighed according to the reliability of the certifying institution.

- Options 2: the EPDs third-party certifications programme is verified. The percentages of materials certified with responsible extraction criteria and the presence of a process that optimizes the materials or their production chain are calculated based on the certifications reliability. The distance from the source of extraction, processing and sale parameter is only applied in option 2.

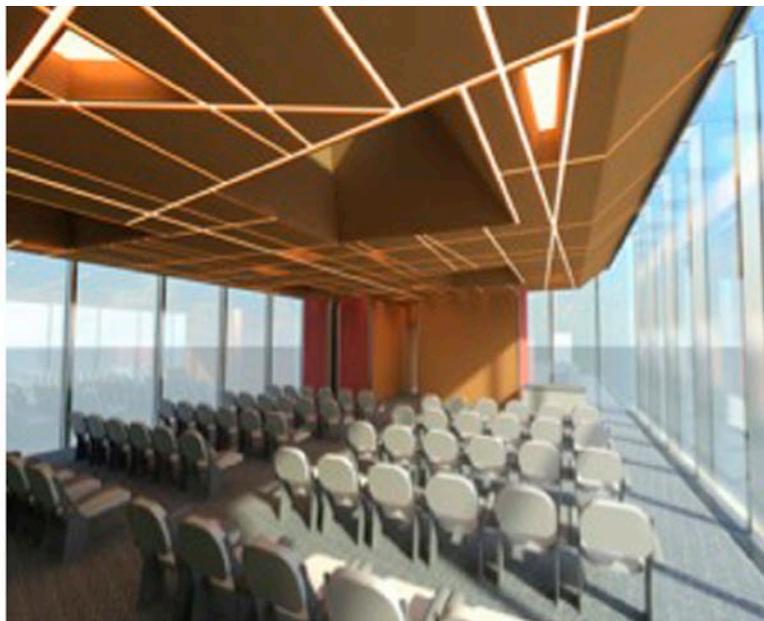
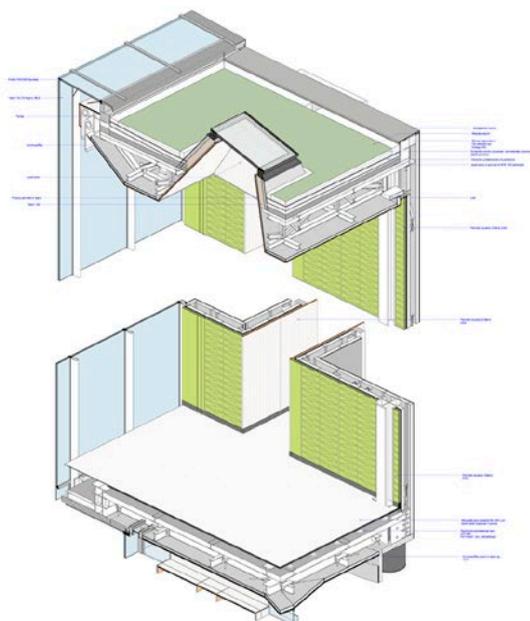
In Options 1, the MSOT checks whether the threshold of the 20 weighed products from 5 different manufacturers has been reached and, if successful, it highlights the credit achievement.

In Options 2, the MSOT verifies the sustainability criteria achievement as the percentage of the material cost. In case of a positive outcome, the achievement of the corresponding credits is highlighted.

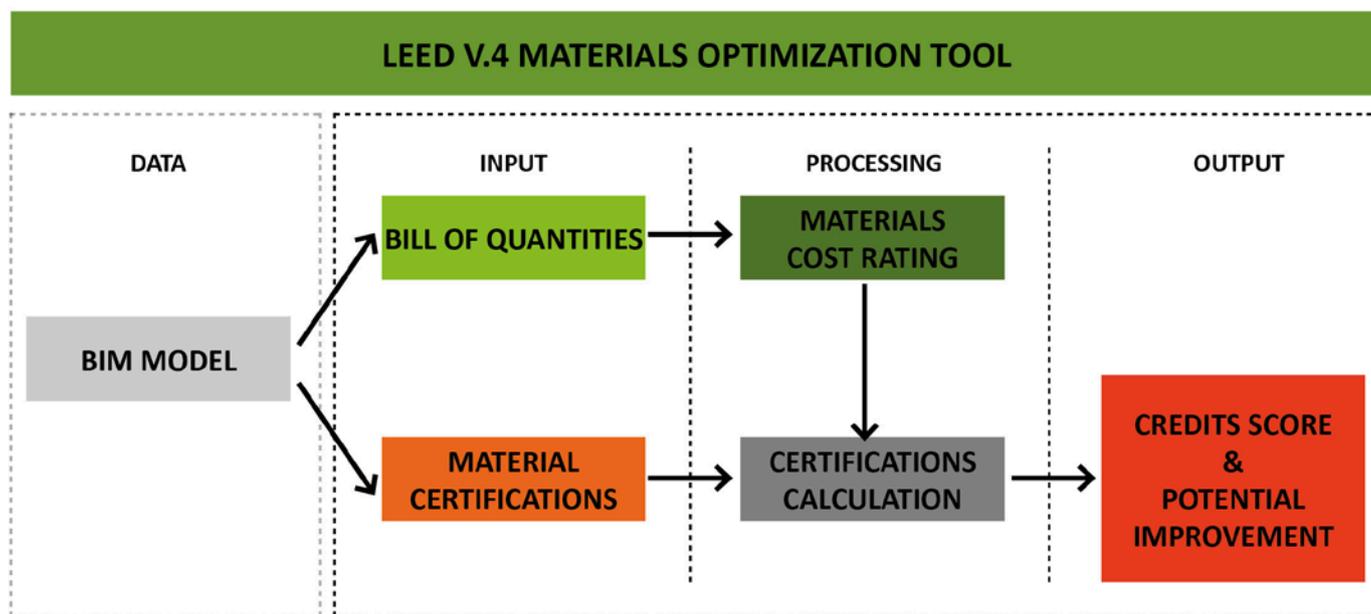
responsabili ed è verificata la presenza di un processo di ottimizzazione dei materiali o della loro catena produttiva in base al peso della certificazione stessa. Il parametro di distanza dalla fonte di estrazione, lavorazione e vendita viene applicato esclusivamente nelle opzioni 2. Nelle opzioni 1, il MSOT verifica il raggiungimento della soglia di 20 prodotti pesati, provenienti da 5 produttori diversi; in

caso di esito positivo evidenzia il raggiungimento del credito. Nelle opzioni 2 il MSOT verifica il raggiungimento del criterio di sostenibilità come percentuale del costo del materiale; in caso di esito positivo è evidenziato il raggiungimento dei crediti corrispondenti. Le opzioni 1 e 2 vengono combinate e si ottengono i crediti totali per ogni criterio, visualizzati nella sezione "Credits Score and Potential Improvement".

03 |



04 |



Il grafico a radar (Fig. 6) mostra il livello di sostenibilità dei materiali secondo i tre criteri: lo 0 corrisponde all'assenza di certificazioni, 10 al massimo delle certificazioni pesate che il progetto può potenzialmente ottenere.

Nel caso studio sono stati valutati i crediti ottenibili con i materiali inizialmente previsti dal progetto. Dal grafico a radar e dai valori relativi ai 3 criteri, è possibile notare che le certificazioni necessarie per ottenere i crediti relativi alle opzioni 1, basate sul numero di prodotti, sono ridotte, mentre vi è un ampio margine di miglioramento per il raggiungimento delle opzioni 2, basate sul valore pesato dei materiali all'interno del progetto. Per tale motivo è stato scelto di sostituire i materiali con maggior impatto sul costo e più facilmente reperibili ad una distanza inferiore a 160 km.

I materiali ottimizzati sono 3 riguardanti il cartongesso dei controsoffitti e delle pareti per il criterio Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD), 1 riguardante gli infissi in alluminio per la Provenienza delle materie prime, e 3 riguardanti le porte, la carpenteria interna di finitura e le pareti in calcestruzzo armato riguardante gli Ingredienti. A seguito di tale modifica è possibile notare che i valori relativi alle opzioni 2 sono aumentati notevolmente e vi è una parziale miglioria dei valori relativi alle opzioni 1. Nella Figura 6 è possibile osservare che nonostante i crediti siano stati raggiunti, vi è un ampio margine di miglioramento nella sostenibilità dei materiali.

Un ulteriore miglioramento in termini di rapidità di feedback si ottiene utilizzando un modello BIM del progetto. Uno degli aspetti caratterizzanti la tecnologia BIM è la possibilità di associare a un determinato elemento del progetto delle proprietà scelte dall'utente che possono poi essere estratte dal modello.

Nel nostro caso l'incidenza di un prodotto per il raggiungimento di un credito è calcolata in base al costo unitario moltiplicato per la quantità. Il processo prevede quindi l'inserimento in fase di modellazione del costo unitario dei prodotti all'interno delle proprietà della "famiglia" BIM (Fig. 7). Le quantità vengono poi estratte direttamente dal file progetto e si ottiene un abaco (Excel) con l'elenco dei materiali. Tale elenco può essere ordinato nel MSOT in funzione dell'incidenza per il raggiungimento dei crediti LEED.

Risultati

Il MSOT contiene l'elenco di tutti i materiali che partecipano al calcolo del punteggio complessivo e riporta la loro incidenza basata sul costo. Esso raccoglie i dati dal modello BIM (Revit Autodesk Inc., 2018) e li elabora fornendo il punteggio LEED relativo ai materiali per ciascuna delle ipotesi considerate; viene inoltre visualizzato il margine di miglioramento della sostenibilità dei materiali.

Ciò consente di orientare la scelta verso la soluzione più performante e con il massimo punteggio. Dal grafico (Fig. 6) è possibile notare che la possibilità di miglioramento delle opzioni 2 è maggiore di quelle delle opzioni 1, nonostante il margine per ottenere il numero massimo di crediti non rispecchi quest'ampiezza. Ciò è dovuto a 2 fattori:

1. Nelle opzioni 1, in questo caso, il minimo numero dei prodotti necessari per raggiungere il massimo dei punti (ovvero 20) è vicino al numero dei prodotti presenti nel progetto (32);
2. Nelle opzioni 2 la soglia della percentuale di materiali con EPD è il 50% mentre la percentuale dei prodotti la cui provenienza delle materie prime o i cui ingredienti dei sono certi-

MENU MATERIAL CERTIFICATIONS | 05

ID NUMBER	MATERIAL	EXTRACTION, MANUFACTURE AND PURCHASE DISTANCE (km)	STRUCTURE OR ENCLOSURE MATERIAL	ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATIONS		SOURCING OF RAW MATERIALS						MATERIAL INGREDIENTS	
				OP.1/2-EPD		OP.1- RAW MATERIAL SOURCE AND EXTRACTION REPORTING	OP.2- EXTENDED PRODUCER RESPONSIBILITY	OP.2- BIO-BASED MATERIALS	OP.2- WOOD PRODUCTS	OP.2- MATERIALS REUSE	OP.2- RECYCLED CONTENT	OP.1- MATERIALS INGREDIENT REPORTING	OP.2- MATERIALS INGREDIENT OPTIMIZATION OR PRODUCT MANUFACTURER SUPPLY CHAIN
				OP 1. Type	OP. 2 Third Party Certification Program	Type	Percent Extended Producer Responsibility (%)	Percent Meeting Sustainable Agriculture Standard (%)	Percent FSC certified (%)	Percent Reused (%)	Percent Pre and Post-Consumer (%)	Type	Type
ID01	ALUMINUM WINDOWS	100	Yes	Industry Wide	Yes	No certification	5,00%	0,00%	0,00%	10,00%	40,00%	Cradle to Cradle	GreenScreen v1.2 List Assessment
ID04	STRUCTURAL STEEL FRAMING	500	Yes	Product Specific Type III	No	Manufacturer declared	1,00%	0,00%	0,00%	1,00%	4,00%	Cradle to Cradle	No certification
ID05	STRUCTURAL STEEL FRAMING	850	Yes	Product Specific Type III	No	Manufacturer declared	1,00%	0,00%	0,00%	2,00%	5,00%	Cradle to Cradle	No certification
ID06	ALUMINUM FRAMES + INTERIOR FINISH CARPENTRY	100	No	No certification	No	Third Party Verified	3,00%	0,00%	0,00%	5,00%	30,00%	Health Product Declaration	No certification
ID12	CAST-IN-PLACE CONCRETE + STRUCTURAL STEEL FRAMING	450	Yes	Product Specific Type III	No	Manufacturer declared	2,00%	0,00%	0,00%	2,00%	15,00%	No certification	No certification

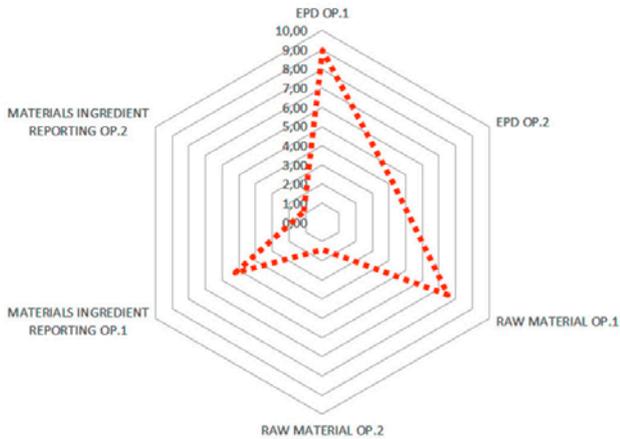
06 |

MATERIALI BASE

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION	
OPTION 1 - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION	
Weighted number of products with EPD (min. 20)	18
OPTION 2 - MULTI-ATTRIBUTE OPTIMIZATION	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 50%)	32,48%
CREDITS	0

SOURCING SOURCE AND EXTRACTION REPORTING	
OPTION 1 - RAW MATERIAL SOURCE AND EXTRACTING REPORT	
Weighted number of products with raw material source and extraction reports (min. 20)	19
OPTION 2 - LEADERSHIP EXTRACTION PRACTICES	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 25%)	23,69%
CREDITS	0

MATERIALS INGREDIENTS	
OPTION 1 - MATERIAL INGREDIENT REPORTING	
Weighted number of products meeting material ingredients reporting requirements (min. 20)	17
OPTION 2 - LEADERSHIP EXTRACTION PRACTICES	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 25%)	18,99%
CREDITS	0

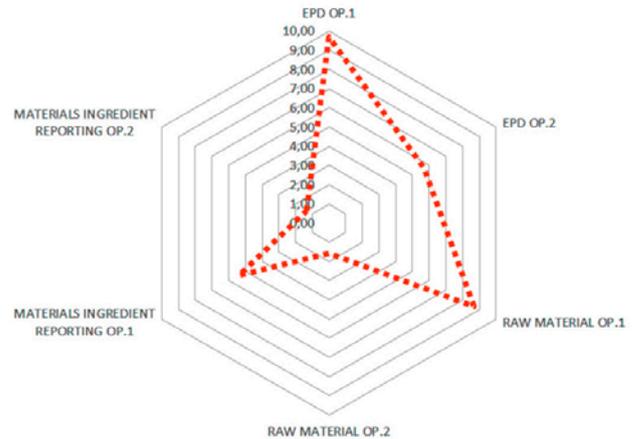


MATERIALI IMPLEMENTATI

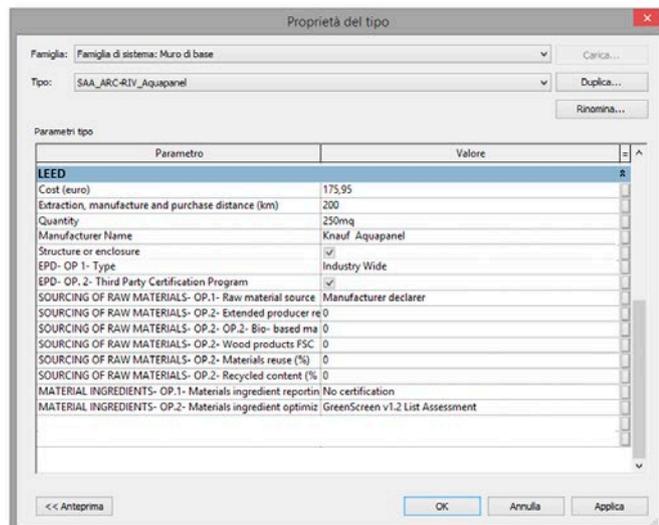
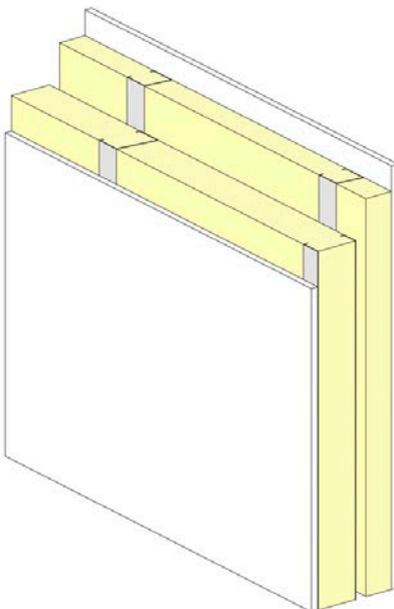
ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION	
OPTION 1 - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION	
Weighted number of products with EPD (min. 20)	20
OPTION 2 - MULTI-ATTRIBUTE OPTIMIZATION	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 50%)	71,35%
CREDITS	2

SOURCING SOURCE AND EXTRACTION REPORTING	
OPTION 1 - RAW MATERIAL SOURCE AND EXTRACTING REPORT	
Weighted number of products with raw material source and extraction reports (min. 20)	20
OPTION 2 - LEADERSHIP EXTRACTION PRACTICES	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 25%)	26,19%
CREDITS	2

MATERIALS INGREDIENTS	
OPTION 1 - MATERIAL INGREDIENT REPORTING	
Weighted number of products meeting material ingredients reporting requirements (min. 20)	20
OPTION 2 - LEADERSHIP EXTRACTION PRACTICES	
Sustainable criteria value as a percentage of material cost (min 25%)	25,78%
CREDITS	2



07 |



ficati è solo il 25% del totale, consentendo un ampio margine di ottimizzazione.

Le opzioni 1 non quantificano la sostenibilità relativa del progetto dato che si basano su un numero assoluto di certificazioni per tutti i progetti, senza tenere in considerazione la scala o la complessità dell'edificio, mentre le opzioni 2 invece sono direttamente correlate alla scala di progetto in quanto vengono quantificate tramite percentuali. Ciò dimostra che il protocollo LEED è flessibile nel raggiungimento dei crediti relativi alle opzioni 2, consentendo di adottare strategie diverse senza pregiudicare il livello raggiunto. Il risultato di questa procedura sta portando il caso di studio presentato verso il massimo punteggio del protocollo LEED v4: il livello Platinum.

Conclusioni

Un aspetto del processo di certificazione LEED è che le valutazioni avvengono "ex post". Ciò determina scelte progettuali tardive, con ricadute in termini di rilavorazione, allungamento dei tempi e incertezza del risultato. Il MSOT, unito all'uso del modello BIM dell'edificio, consente l'estrazione automatica della lista dei materiali più influenti ai fini del raggiungimento dei crediti. Valutando, in termini di percentuale, il contributo di ogni materiale rispetto al massimo raggiungibile, è possibile ottenere indicazioni durante lo sviluppo del progetto. Il LEED diventa così uno strumento d'indirizzo delle scelte progettuali anche per quanto riguarda la scelta dei materiali. L'implementazione sul caso di studio ha consentito inoltre di valutare:

- le differenze con la versione LEED precedente e le tendenze per i produttori;
- le strategie per ottenere il massimo punteggio LEED;
- le modalità d'interazione con il modello BIM.

Options 1 and 2 are combined and the total credits for each criterion are shown in the "Credits Score and Potential Improvement" output section.

The radar graph (Fig. 6) shows the materials sustainability according to the 3 criteria: 0 corresponds to the absence of certifications, 10 is the maximum certification score that the project can potentially obtain.

In the case study, the credits obtained with the design selected materials were initially evaluated. The radar graph and the values for the 3 criteria show that the certifications needed to obtain the highest credits score for Options 1, based on the number of products, are reduced, while there is a large room for improvement to achieve Options 2, based on the weighted value of the materials within the project.

For this reason, it has been decided to optimize the solution replacing the

materials that have the greatest impact on costs and that are available at less than 160 km.

The optimized materials are 3 for the false ceilings and walls plasterboard for the EPD criterion, 1 for aluminium frames for the sourcing of raw materials, and 3 materials for the doors, internal finishing carpentry and reinforced concrete walls for the Materials Ingredients. After this optimization, the Options 2 values increased significantly and there was a partial improvement of the Options 1 values.

Fig.6 shows that, even though credits have been achieved, there is a considerable material sustainability margin of improvement.

A further improvement in terms of feedback rapidity is achieved by using the BIM model. In fact, one of the aspects that characterize the BIM technology is the possibility to associate

Il limite più grande riscontrato nella sezione MR del protocollo LEED è che la burocratizzazione del sistema esclude i materiali non certificati e i produttori che non hanno le risorse per attestare la sostenibilità dei materiali adottati. Ulteriori sviluppi sono consigliabili nella proposta di una metodologia che includa questi prodotti e nella sua validazione tramite ulteriori casi studio.

SCHEDA PROGETTO GHELLA MEETING CENTER

Committente: Ghella spa

Località: Roma, via Borsieri 2

Anno: 2017 - in corso

Progetto Architettonico: Spain Architetti Associati

Progetto Strutture: Pierrequadro

Progetto Impianti: Sequas

LEED consultant: Sinergi & Arch.Mabel Aguerre

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il committente i progettisti e i consulenti per aver concesso l'autorizzazione alla pubblicazione dei dati.

NOTE

¹ LEED for New Construction, for Existing Buildings, for Commercial Interiors, for Core and Shell, for Homes, for Neighborhood Development, for Schools, for Retail (USGBC, 2018).

² LEED Reference Guide for Building Design and Construction, p. 477.

³ in Italia il dato 2015 è 24,5% (ISPRA, 2017).

⁴ Tra i materiali provenienti da demolizioni la percentuale di riuso varia da un minimo del 60% per le plastiche fino al 85% per i materiali ferrosi e 87% per il vetro (ISPRA, 2017).

⁵ US Green Building Center è l'organizzazione che gestisce le certificazioni LEED.

data with a specific project element. In this research and in the LEED protocol, the product is weighted based on the material cost multiplied by the material quantity. Therefore, the process establishes the product cost insertion in the component BIM family (Fig. 7). The quantities are extracted directly from the BIM file and an abacus with the list of materials is obtained. This list is ordered in the MSOT according to the incidence on the cost and consequently on the LEED credits achievement.

Results

The MSOT contains a list of all the materials evaluated in the calculation of the overall score and shows their incidence based on cost. It collects data from the BIM model (Revit Autodesk Inc., 2018) and processes it by providing the LEED material score feedback for each of the considered alternatives.

It shows also the material sustainability potential improvement.

This allows directing the choices towards the highest performing and the highest scoring solution. Fig. 6 shows that the possibility of improving Options 2 is greater than Options 1, despite the margin to obtain the maximum number of credits does not reflect this amplitude. This is due to 2 factors:

1. in Options 1, in the case study, the lowest number of products needed to achieve the maximum number of credits (20) is close to the total amount of the project products (32);
2. in Options 2, the threshold of the materials that have EPD is 50% while the threshold of the sourcing of raw materials or materials ingredients is only 25%, allowing a high margin of materials sustainability improvement. The Option 1 does not quantify the sustainability of the project since it is

REFERENCES

- Alfredo, D. and Calquin, L. (2013), Automated Building Data Exchange between BIM and BPS Supporting Building Environmental Assessment Methods (BEAM), *Universidad de las Americas, Santiago, Chile Abstract What is the current state of the art? What are the deficiencies?*, pp. 1329-1333.
- ARCOM (2014), *Master Format v. 2012*.
- Attia, S. (2011), *State of the art of existing early design simulation tools for net zero energy buildings: a comparison of ten tools*, pp. 1-45.
- Azhar, S., Carlton, W.A., Olsen, D. and Ahmad, I. (2011), Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis, *Automation in Construction*, No. 20, Vol. 2, pp. 217-224.
- Castro-Lacouture, D., Sefair, J.A., Flórez, L. and Medaglia, A.L. (2009), Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia, *Building and Environment*, No. 44, Vol. 6, pp. 1162-1170.
- Commission, E., From, C., Commission, T.H.E., The, T.O., Council, T.H.E., Economic, T. H.E.E., European Commission (2011), *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions*, Brussels, B.
- Crawford, R.H. and Czerniakowski, I. (2015), An early-stage design decision-support tool for selecting building assemblies to minimise a building's life cycle, *Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association 2015*, pp. 457-466.
- Ellen MacArthur Foundation (2017), *Cities in the Circular Economy: An Initial Exploration, European Commission Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste, Final Report*.
- Ferreira, J., Pinheiro, M.D. and De Brito, J. (2014), Portuguese sustainable construction assessment tools benchmarked with BREEAM and LEED: An energy analysis, *Energy and Buildings*, No. 69, pp. 451-463.
- ISPRA (2017), *ISPRA Rapporto Rifiuti Speciali*.
- Jalaei, F. and Jrade, A. (2014), Integrating Building Information Modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings, No. 19, pp. 494-519.
- Maltese, S., Moretti, N., Re Cecconi, F., Ciribini, A.L.C. and Kamara J.M. (2017), Un approccio semplificato per la valutazione di sostenibilità dell'ambiente costruito attraverso il BIM, *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 13.
- Oduyemi, O. and Okoroh, M. (2016), Building performance modelling for sustainable building design, *International Journal of Sustainable Built Environment*, No. 5, Vol. 2, pp. 461-469.
- Revit Autodesk Inc. (2018), "Revit Family | BIM Software | Autodesk. Retrieved May 2, 2017", available at: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>.
- Sustainability - US EPA. (2018), "Retrieved May 2, 2017", from available at: <https://www.epa.gov/sustainability>.
- UNDP (2015), *Sustainable Development Goals*, 24.
- USGBC (2010), *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System*.
- USGBC (2013), *LEED v4- Reference Guide for Building Design And Construction* (U.S. Green Building Council, Ed.), *U.S. Green Building Council*.
- USGBC (2018), "U.S. Green Building Council: LEED", available at: <https://new.usgbc.org>.
- Zanni, M.A., Soetanto, R. and Ruikar, K. (2014), Defining the sustainable building design process: methods for BIM execution planning in the UK, *International Journal of Energy Sector Management*, No. 8, Vol. 4, pp. 562-587.
- an absolute number for all the projects regardless of the size or the complexity while the option 2 is directed related to the project size since it is a percentage. Moreover, the LEED protocol is more flexible in reaching the credits related to Options 2, allowing the adoption of different strategies without compromise the reached level. This methodology is bringing the case study to the LEED v4 protocol's highest score: the Platinum level.
- Conclusions**
One aspect of the LEED certification process is that evaluations are carried out "ex-post". This a posteriori process results in late design choices, step-backwards, delays and results uncertainty. The MSOT, combined with the BIM model, allows identifying the most influential materials automatically, extracting them from the BIM model to reach the desired credits. Evaluating how much, in terms of percentage, each material contributes to the credit achievement compared to the maximum achievable, it is possible to have valuable indications during the design process. In this way, LEED becomes a tool that guides the design choices also regarding with the materials. The implementation of the case study also enabled the evaluation of:
- the differences with the previous LEED version and the producer's trends;
 - strategies to obtain the maximum LEED score;
 - how to interact with the BIM model.
- A considerable limit found in the MR LEED section is that the system bureaucratization excludes the non-certified materials and the manufacturers without resources to demonstrate the materials sustainability. Further developments are suggested related to a methodology that includes these situations and the validation of the tool through the test of it on additional case studies.
- PROJECT SHEET GHELLA MEETING CENTRE**
Clients: Ghella S.p.A.
Location: Rome, via Borsieri 2
Year: 2017 - on going
Architectural Project: Spaini Architetti Associati
Planning Project: Pierrequadro
Plant Project: Sequas
LEED consultant: Sinergi & Arch.Mal-bel Aguerre
- ACKNOWLEDGEMENTS**
The authors thank the client, the designers and the consultants for having granted permission to publish the data.

NOTES

- ¹ LEED for New Construction, for Existing Buildings, for Commercial Interiors, for Core and Shell, for Homes, for Neighborhood Development, for Schools, for Retail (USGBC, 2018).
- ² LEED Reference Guide for Building Design and Construction, p. 477.
- ³ In Italy in 2015 è 24,5% (ISPRA, 2017).
- ⁴ Among demolition materials, the reuse rate varies from a minimum of 60% for plastics to 85% for ferrous materials and 87% for glass (ISPRA, 2017).
- ⁵ The US Green Building Centre is the organization that manages LEED certifications.

Massimo Rossetti, Alberto Bin,

Dipartimento Architettura Costruzione Conservazione, Università Iuav di Venezia, Italia

rossetti@iuav.it

albertobin90@gmail.com

Abstract. Il paper presenta un'attività di ricerca finalizzata allo sviluppo di una gamma di membrane a base di bitume distillato e polimeri, specificatamente studiate per possedere elevati livelli di isolamento acustico dai rumori aerei. Tali membrane possono essere utilizzate all'interno di prodotti accoppiati, formati dalla sovrapposizione di materiali di origine sia organica che sintetica, e integrabili nei più diffusi sistemi costruttivi del settore edilizio, nautico e manifatturiero. I nuovi manti sviluppati incorporano al loro interno materiali di origine riciclati, collocando la ricerca nel contesto del pacchetto di misure sull'economia circolare dell'Unione Europea.

Parole chiave: Fonoisolamento/fonoassorbimento; Membrane bituminose; Polimeri; Materiali riciclati; *Circular economy*.

Introduzione

Incentivare la ricerca si profila come una delle attività imprescindibili dell'attuale momento storico, caratterizzato dalla transizione da una delle peggiori crisi economiche contemporanee, verso un futuro nel quale si auspica che l'innovazione assuma un ruolo strutturale e non solo episodico. Nel settore delle costruzioni, a maggior ragione, potenziare l'attività di ricerca sia di base che applicata è uno degli imperativi dell'immediato futuro, per due motivi: dopo il lunghissimo periodo di crisi, è fondamentale che tutti gli operatori, in primis le aziende di costruzione e i produttori di materiali e componenti, lavorino per introdurre nel mercato soluzioni innovative, in grado di rispondere sia alla competizione globale che ai nuovi standard prestazionali richiesti agli edifici di oggi. In secondo luogo, è anche attraverso la ricerca che si possono innescare dinamiche virtuose di collaborazione tra i vari soggetti interessati, in particolare tra aziende e università.

Questa è la finalità del POR-FESR (Programma Operativo Regionale – Fondo Europeo di Sviluppo Regionale) 2014-2020 della Regione Veneto: grazie infatti allo strumento del Programma

Operativo Regionale e ai finanziamenti del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, uno dei fondi strutturali e di investimento aventi come obiettivo finanziare progetti di sviluppo nell'Unione Europea, la Regione sta attualmente sostenendo un piano di crescita in ricerca, innovazione e ambiente che unisca partner pubblici e privati. Il programma prevede lo stanziamento di fondi per attività di ricerca che coinvolgano università e imprese, finalizzate a condurre programmi di innovazione e favorire l'occupazione di giovani laureati in quattro ambiti (*Smart Agrifood, Sustainable living, Smart Manufacturing e Creative Industries*) e cinque settori considerati rilevanti (*Sistema Moda, Meccanica, Agricoltura e Industria alimentare, Sistema Casa, Turismo e Beni Culturali*). Nel 2016, l'Università Iuav di Venezia ha partecipato come soggetto promotore al bando POR-FESR 2014-2020 ottenendo un finanziamento complessivo di circa 1.200.000 euro per un totale di 38 assegni di ricerca della durata di un anno. Tra gli assegni finanziati è risultato anche il progetto «sviluppo di nuove membrane bituminose fonoisolanti contenenti materiali di riciclo quali polverino di gomma da PFU e PET da recupero post-consumer», conclusosi nel settembre del 2017, che ha visto il coinvolgimento, tra gli altri, di Polyglass S.p.A., azienda del settore delle impermeabilizzazioni che dagli anni '50 produce a livello industriale membrane bituminose e sintetiche per l'edilizia e l'ingegneria civile e dal 2008 parte del gruppo Mapei, e Genesis Acoustic Workshop, studio con sede a Parma che si occupa di progettazione, sviluppo software, rilievi strumentali e certificazioni nel campo dell'acustica¹.

Il progetto ha avuto come obiettivo lo sviluppo di una nuova gamma di materiali costituiti dall'accoppiamento di guaine bituminose impermeabilizzanti, ottenute anche con l'utilizzo di

Development of
soundproofing and
sound-absorbing
bituminous membranes
containing recycled
materials

Abstract. This paper presents a research activity focused on the development of a range of membranes based on distilled bitumen and polymers, specifically designed for high levels of noise insulation from airborne noise. These membranes can be used in multiple layers products, made by the overlapping of materials both organic and synthetic, and can be integrated into the most widespread construction building systems, and in nautical and manufacturing sectors. The newly developed membranes incorporate recycled materials, placing the research in the context of the European Union Circular Economy Package.

Keywords: Sound insulation/sound absorption; Bituminous membranes; Polymers; Recycled materials; Circular economy.

Introduction

Stimulating research is one of the most important activities of these times, characterized by the transition from one of the worst contemporary economic crises, towards a future in which innovation is expected to have a structural rather than an episodic role. In the construction sector, even more, strengthening both basic and applied research is one of the imperatives of the immediate future, for two reasons: after the long period of crisis, it is essential that all operators, first of all construction companies and manufacturers of materials and components, work to push into the market innovative solutions, able to respond both to global competition and to the new performance standards required for today's buildings. Secondly, it is also through research that virtuous collaboration dynamics can be triggered

between the various stakeholders, particularly between companies and universities.

This is the purpose of the ERDF-ROP (European Regional Development Fund-Regional Operational Programme) 2014-2020 of the Veneto Region: thanks to the tool of the Regional Operational Program and to the funding of the European Regional Development Fund, one of the structural and investment fund aimed to finance development projects in the European Union, the Veneto Region is currently supporting a plan for research, innovation and environment that puts together public and private partners. The program funds research activities involving universities and companies, aimed to carry on innovation programs and encouraging the employment of young graduates in four areas (*Smart Agrifood, Sustain-*



materiale riciclato quale polverino di gomma da PFU (pneumatici fine uso) e PET (polietilene tereftalato) e materiali di varia natura, sia organica che sintetica. I nuovi prodotti, orientati verso l'ottimizzazione delle prestazioni acustiche, in particolare nel miglioramento del fonoisolamento da rumori aerei, sono stati pensati in un'ottica di diversificazione di mercato, non solo nel comparto delle costruzioni ma anche in ambiti applicativi diversi, come il design, la nautica, l'arredamento, gli elettrodomestici e le barriere acustiche stradali. Inoltre, l'intera ricerca è rientrata nel contesto della sostenibilità ambientale dei processi industriali, adottando i principi della *circular economy* dettati dalla comunicazione della Commissione Europea del 25 settembre 2014 «Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti», dove il rifiuto viene considerato quale materia prima da reintrodurre nelle filiere produttive dei beni di consumo.

Le membrane impermeabilizzanti e il loro ciclo produttivo

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate oggi disponibili sul mercato si dividono in bituminose e sintetiche e presentano caratteristiche fisico-chimiche e prestazionali molto diverse nonostante la loro apparente somiglianza. Le membrane bitume-distillato polimero (MBDP) sono nate in seguito al perfezionamento dei processi di polimerizzazione messi a punto in Italia negli anni '60 e hanno gradualmente soppiantato tutti gli altri sistemi impermeabilizzanti bituminosi precedentemente utilizzati, come i fogli bitumati e le spalmature di bitume ossidato. Le attuali membrane sono commercializzate per essere applicate in monostrato o in sovrapposizione e sono in genere costituite da una successione di layer che comprendono uno strato

antiaderente a protezione del lato adesivo (film sfiammabile o rimovibile), uno o più strati di compound bituminoso (miscela di bitume e polimeri), un'armatura (tessuto non tessuto di poliestere, velo di vetro, tessuti di vetro, ecc.) e infine uno strato di finitura (sabbia, talco, film plastici, scaglie di ardesia o basalto) (Fig. 1). I manti sintetici sono invece membrane impermeabilizzanti a base di materiali polimerici prodotti per calandratura, estrusione e spalmatura. Sono manti di recente adozione, nonostante le prime applicazioni risalgano agli anni '40. A differenza dei manti bituminosi possono essere prodotti in spessori molto ridotti, inferiori al millimetro. I due materiali oggi più utilizzati sono il PVC-P (cloruro di polivinile plastificato o polivinilcloruro plastificato) e il TPO (Thermoplastic Polyolefin) (Fig. 2).

Come in molti altri settori, anche il processo produttivo dei sistemi presi in esame ha dovuto negli ultimi anni confrontarsi con una crescente difficoltà di approvvigionamento, favorendo l'affermazione di un nuovo modello economico definito "circolare", basato sull'ottimizzazione dell'intera vita dei prodotti, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione e posa, fino alla rimozione e al trattamento di fine vita: «La circular economy è un'economia progettata per auto-rigenerarsi, i materiali di origine biologica sono destinati a rientrare in biosfera e i materiali

able Living, Smart Manufacturing and Creative Industries) and five sectors (*Fashion, Mechanics, Agriculture and Food Industry, Home System, Tourism and Cultural Heritage*). In 2016, the Luav University of Venice took part as a promoter for the 2014-2020 ERDF-ROP call, obtaining a total funding of about 1.200.000 euros for 38 research grants lasting one year. Among the financed grants, there was the project "Development of new soundproofing bituminous membranes containing recycled materials such as PFU rubber and PET from post-consumer recovery", ended in September 2017, with the co-involvement, among others, of Polyglass S.p.A., a company operating in the waterproofing products sector since the '50s that produces bituminous and synthetic membranes for construction and civil engineering works, since 2008 part of the Mapei

group, and Genesis Acoustic Workshop, a studio based in Parma which deals with design, software development, instrumental measurements and certifications in the acoustics sector¹. The project aimed to develop a new range of materials consisting on the coupling of waterproofing bituminous membrane -produced also with recycled material such as PFU rubber powder (like end-use tires) and PET (Polyethylene Terephthalate)- and materials of various kinds, both organic and synthetic. The new products, focused towards the optimization of acoustic performance, in particular towards the improvement of sound insulation from airborne noise, were designed with the target to diversify the market, not only in the construction sector but also in different application areas, such as industrial design, ships, furniture, home appliances and anti-noise road

barriers. Furthermore, the entire research took place into the context of environmental sustainability of industrial processes, according to the principles of Circular Economy included in the Communication of the European Commission of September 25th, 2014 "Towards a circular economy: A zero waste program for Europe", where waste is considered as a raw material to be reintroduced in the goods production chains.

Waterproofing membranes and their production cycle

The prefabricated waterproofing membranes available today on the market are divided into bituminous and synthetic materials and have very different physical and chemical characteristics and performances, despite their apparent similarity. The Polymer Bitumen Membranes (PBM) were born follow-

ing the improvement of the polymerization processes developed in Italy in the 60s and gradually took place of all the other previously used bituminous waterproofing systems, such as bituminous sheets and bitumen spreading oxidized. The current membranes are marketed to be applied in monolayer or overlap and are generally made by a succession of layers comprising a non-stick layer to protect the adhesive side (flammable or removable film), one or more layers of bituminous compound (mixture of bitumen and polymers), an armor (non-woven polyester fabric, glass veil, glass fabrics, etc.) and finally a finishing layer (sand, talc, plastic films, slate or basalt flakes) (Fig. 1). Synthetic membranes are instead waterproofing membranes based on polymeric materials produced for calendering, extrusion and coating. They are membranes of recent adoption, al-

di origine tecnica sono progettati per circolare all'interno di un flusso che prevede la minima perdita di qualità»² (Iraldo e Bruschi, 2015).

In prima battuta questo risultato si può ottenere dal riciclo delle membrane stesse. Il DM 05/02/98 e successivi (tra cui il DL 152/2006) regola la gestione dei rifiuti “non pericolosi” e a oggi non prevede alcun recupero per le membrane impermeabilizzanti. Il DM 31/12/2014 “Milleproroghe” e il successivo emendamento hanno limitato al 31 dicembre 2015 la possibilità di conferire in discarica i rifiuti con potere calorifero superiore a 13.000 kJ/kg in ottemperanza a una direttiva europea sui recuperi energetici. Le membrane bituminose, avendo un potere calorifero superiore ai limiti di legge, rientrano in tale direttiva. Il recupero delle membrane può avvenire quindi presso gli stabilimenti di produzione, partendo da pretrattamenti quali la rimozione della graniglia, il taglio e la frantumazione (Fig. 3). Si applica principalmente a lotti di produzione con difetti di fabbricazione che ne compromettono la commerciabilità (test industriali, calibrazione delle linee, mancato raggiungimento degli standard richiesti) ma può essere attuato con successo anche in seguito alla rimozione dei manti dalle coperture, pur comportando oneri migliori.

I principi della *circular economy* possono essere seguiti anche sostituendo le materie prime utilizzate nella produzione con materiali di riciclo, quali i polimeri riciclati derivanti dalla raccolta, selezione e rilavorazione di materie plastiche considerate rifiuti. La qualità dei prodotti finiti è fortemente dipendente dalla qualità della selezione operata a monte e in relazione a questo esistono due grandi categorie di plastiche riciclate: pre e post consumo. Le prime sono ottenute da elementi di scarto derivanti

though the first applications date back to the 40s. Unlike bituminous layers, they can be produced in very reduced thicknesses, less than one millimeter. The two most commonly used materials are PVC-P (Plasticised Polyvinyl Chloride or Plasticized Polyvinylchloride) and TPO (Thermoplastic Polyolefin) (Fig. 2).

As in many other sectors, even in the last years the production process of the systems under examination had to face an increasing supply difficulty, favoring the affirmation of a new economic model defined as “circular”, based on the optimization of the whole lifecycle of products, from the extraction of raw materials, to production and installation, to the removal and treatment at end of life: «The circular economy is an economy designed to self-regenerate, the materials of biological origin are destined to fall into the biosphere and

materials of technical origin are designed to circulate within a flow that provides for the least loss of quality»² (Iraldo and Bruschi, 2015).

In the first instance this result can be obtained by recycling the membranes themselves. The Ministerial Decree 05/02/98 and subsequent (including the D.L. 152/2006) regulates the management of “non-hazardous” waste and to date does not provide any recovery for waterproofing membranes. The Ministerial Decree 31/12/2014 “Milleproroghe” and the subsequent amendment limited to December 31st, 2015 the possibility to landfill waste with a calorific value of more than 13,000 kJ/kg, according to an European Directive on energy recovery. The bituminous membranes, having a calorific value exceeding the limits of the law, are included in this Directive. The recovery of the membranes can



dai processi produttivi industriali, per cui già polimerizzati ma non contaminati da altre sostanze e quindi in grado di generare plastiche omogenee di alta qualità. Si tratta in questo caso di una prassi consolidata, comunemente impiegata dalla maggior parte dei produttori (Fig. 4). Le seconde invece sono ottenute dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani, necessitano di cernita e pulizia e formano mescole eterogenee. Si ottengono così polimeri termoplastici macinati, granulari, a scaglie o in polvere, da utilizzare in percentuali più o meno alte all'interno delle mescole nella produzione dei manti. Il problema principale è l'ottenimento di frazioni “pulite”, cioè senza la presenza di materiali estranei quali metalli o inerti.

Un'altra tipologia di materia prima-seconda è rappresentata dagli Pneumatici Fuori Uso (PFU); attraverso la loro rilavorazione si ottiene la gomma, un materiale dalle particolari proprietà elastiche e con una buona resistenza agli urti, alla muffa, al calore, all'umidità, ai raggi ultravioletti e ai prodotti chimici. Queste caratteristiche di durezza e resistenza all'invecchiamento, as-

therefore take place at the production plants, starting from pre-treatments such as the removal of the grit, the cutting and the crushing (Fig. 3). It is mainly applied to production batches with manufacturing defects that compromise the marketability (industrial tests, line calibration, failure to meet the required standards) but can be successfully implemented even after the removal of the mantles from the roofs, even if it entails higher costs .

The principles of the Circular Economy can also be followed by replacing the raw materials used in the production with recycled materials, such as recycled polymers deriving from the collection, selection and rework of plastics considered as waste. The quality of the finished products is strongly dependent on the quality of the selection made upstream: in relation to this there are two large categories of recy-

clad plastics: pre and post consumption. The former is obtained from waste elements deriving from industrial production processes, for which they are already cured but not contaminated by other substances and therefore capable of generating high quality homogeneous plastics. In this case it is a consolidated practice, commonly used by most manufacturers (Fig. 4). The latter, on the other hand, are obtained from the separate collection of urban solid waste, require sorting and cleaning and form heterogeneous mixtures. Thus, ground, granular, flake or powdered thermoplastic polymers are obtained, to be used in higher or lower percentages within the compounds in the production of the mantles. The main problem is the obtainment of “clean” fractions, i.e. without the presence of foreign materials such as metals or inerts.

03 | Triturazione di membrane a base di bitume distillato e polimeri derivanti dalla rimozione di manti impermeabili dalle coperture e da scarti del processo industriale, http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable_Construction/BiELSo_Recycling_of_Bitumen.aspx
Trituration of membranes based on distilled bitumen and polymers deriving from the removal of impermeable membranes from roofing and from industrial process waste, http://www.icopal.co.uk/Products/Sustainable_Construction/BiELSo_Recycling_of_Bitumen.aspx



| 03

04 | Dalla frantumazione e successiva rifusione di oggetti in Polietilene Tereftalato (PET) si ottengono pellet polimerici pronti per la reimmissione nel ciclo produttivo delle membrane, http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo_utama-recycled_plastic_manufacturing_indonesia/45746737product-1.0.JPG
From the crushing and subsequent re-melting of polyethylene terephthalate (PET) objects, polymeric pellets are obtained ready for re-entry into the membrane production cycle, http://www.gbgingonesia.com/directory/img/manufacturing/polindo_utama-recycled_plastic_manufacturing_indonesia/45746737product-1.0.jpg



| 04

05 | Risultato della prima fase di frantumazione di Pneumatici fuori uso (PFU) attraverso cui si ottiene il polverino di gomma, https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D_NQ_NP_625605-MLM25050212801_092016-F.webp
Result of the first phase of crushing of tires out of use (PFU) through which the rubber powder is obtained, https://http2.mlstatic.com/caucho-granulado-y-lanta-molida-D_NQ_NP_625605-MLM25050212801_092016-F.webp

sieme all'impossibilità di ottenere nuovamente la materia prima originaria, a causa della difficile reversibilità di alcuni processi chimici effettuati durante la prima lavorazione, fanno di questo materiale un'ottima alternativa rispetto ad altri materiali elastici resilienti (Fig. 5).

I processi di riciclaggio illustrati sono perfettamente adattabili alle produzioni industriali di materiali il cui scopo è il miglioramento delle due caratteristiche principali dei materiali acustici: il fonoisolamento e il fonoassorbimento. Questi due concetti, spesso confusi, rappresentano in realtà due proprietà totalmente differenti: il fonoisolamento, infatti, è la capacità di impedire la trasmissione di energia sonora da un ambiente a un altro, utile a diminuire la trasmissione dei rumori aerei, mentre il fonoassorbimento è la capacità di un materiale di trasformare in un altro tipo di energia, normalmente in energia termica, l'energia acustica che lo attraversa, caratteristica fondamentale per l'attenuazione dei rumori da colpestio e della vibrazioni strutturali.



| 05

Another type of raw-second material is represented by tires out of use (PFU); through their reworking, rubber is obtained, a material with special elastic properties and a good resistance to shocks, mold, heat, humidity, ultraviolet rays and chemicals. These characteristics of durability and resistance to aging, together with the impossibility of obtaining the original raw material again, due to the difficult reversibility of some chemical processes carried out during the first processing, make this material an excellent alternative to other elastic materials resilient (Fig 5). The illustrated recycling processes are perfectly adaptable to the industrial production of materials whose purpose is the improvement of the two main characteristics of acoustic materials: sound insulation and sound absorption. These two concepts, often confused, actually represent two total-

ly different properties: the soundproofing, in fact, is the ability to prevent the transmission of sound energy from one environment to another, useful to decrease the transmission of airborne noise, while the sound absorption is the ability of a material to transform into another type of energy, normally in thermal energy, the acoustic energy that passes through it, a fundamental characteristic for the attenuation of the noise from the catch and the structural vibrations.

Test on soundproofing power

The first phase of the research was therefore focused on the evaluation of the R_w sound insulation index, which measures the performance of sound insulation from airborne noise; indicates the difference in decibels (dB) of the sound pressure level that a partition is able to guarantee between a

Test sul potere fonoisolante

La prima fase della ricerca si è quindi concentrata sulla valutazione dell'indice del potere fonoisolante R_w , che misura la prestazione dell'isolamento acustico dai rumori aerei; indica la differenza in decibel (dB) del livello di pressione sonora che una partizione è in grado di garantire tra un ambiente disturbante, dov'è quindi presente una sorgente sonora, e un ambiente ricevente. Nella schematizzazione teorica adottata, il principio alla base della sperimentazione eseguita è stato comparativo; si è quindi puntato a ottenere una serie di dati confrontabili tra loro, allo scopo di organizzare una certa quantità di materiali tra loro eterogenei, grazie all'utilizzo di uno strumento finalizzato a una pre-analisi rapida e sufficientemente precisa per valutazioni interne a supporto delle scelte industriali. In particolare, sono stati adottati due differenti modelli di comportamento in relazione al ruolo che il singolo materiale svolge all'interno del pacchetto multilayer di cui fa parte: il comportamento *massivo*, definito dalla legge della massa³, che valuta il comportamento del campione inserito in un sandwich di materiali morbidi o fibrosi, e il comportamento *elastico*, definito dal meccanismo massa-molla-massa⁴, che descrive invece la capacità smorzante o disgiungente del materiale se inserito tra due campioni di massa elevata.

Allo scopo di attuare tale analisi è stato messo a punto uno strumento di misura ad hoc: un cubo anecoico con un lato aperto dove collocare i campioni dei materiali da misurare. Una versione in scala delle camere accoppiate utilizzate dai laboratori di certificazione specializzati. L'apparecchio – di dimensioni 600 x 600 x 900 mm, progettato come strumento di misurazione mobile e quindi facilmente trasportabile grazie anche al ridotto peso e alla semplicità di funzione – è stato realizzato con una succes-

disturbing environment, where there is therefore a sound source, and a receiving environment. In the theoretical schematization adopted, the principle underlying the experimentation performed was comparative; we therefore aimed at obtaining a series of data comparable to each other, with the aim of organizing a certain quantity of heterogeneous materials, thanks to the use of a tool aimed at a rapid and sufficiently precise pre-analysis for internal evaluations to support industrial choices. In particular, two different behavioral models have been adopted in relation to the role that the individual material plays within the multilayer package of which it is a part: the massive behavior, defined by the law of mass³, which evaluates the behavior of the sample inserted into a sandwich of soft or fibrous materials, and the elastic behavior, defined by the mass-spring-

mass mechanism⁴, which instead describes the damping or disjointing capacity of the material if inserted between two samples of high mass.

In order to implement this analysis, an ad hoc measuring instrument was developed: an anechoic cube with an open side where to place the samples of the materials to be measured. A scale version of the coupled rooms used by specialized certification laboratories. The device – of dimensions 600 x 600 x 900 mm, designed as a mobile measuring instrument and therefore easily transportable thanks to the reduced weight and the simplicity of function – was made with a succession of different material layers in order to obtain a high level of insulation sound and allow to test samples of the standard dimensions of 600 x 600 mm. These samples were mounted on a vertical face through

sione di strati di materiale diversi al fine di ottenere un elevato livello di isolamento sonoro e permettere di testare campioni delle dimensioni standard di 600 x 600 mm. Tali campioni sono stati montati su una faccia verticale attraverso un sistema di aggancio regolabile, che ne ha permesso il posizionamento e la sostituzione rapida. Sulla faccia interna, opposta al campione, è stato collocato un altoparlante collegato a un amplificatore esterno. Una volta posizionato il materiale e assicurato correttamente al telaio di contenimento, si è proceduto alla misurazione della differenza di livello di pressione sonora tra l'interno del cubo e l'ambiente esterno con due microfoni di precisione, posti a 100 mm dalle rispettive facce del campione. I microfoni e l'amplificatore sono a loro volta stati collegati ad una scheda di registrazione che ha trasmesso i dati così ottenuti a un computer. Attraverso il software sviluppato ad hoc è stato possibile acquisire i dati in uscita ed eseguire automaticamente i passaggi matematici previsti dalle norme UNI ISO 140-3 e UNI ISO 717-1, restituendo i valori di isolamento acustico e il valore complessivo di R_w .

Tutti i dati raccolti durante le sessioni di test hanno implementato un database dove a ogni materiale preso in esame sono state affiancate le informazioni caratterizzanti (codice identificativo, spessore, densità, numero di strati, ecc.). Il database è stato concepito per essere implementabile nel tempo, potendovi aggiungere nuovi materiali e nuovi dati, rendendo sempre più raffinata la possibilità di effettuare indagini mirate, attraverso l'applicazione di filtri di ricerca. Grazie a tale procedura, si è potuto ottenere una valutazione comparativa dei dati, indispensabile nelle fasi di selezione e valutazione delle possibili alternative, con il minimo impiego di risorse e una sensibile contrazione dei tempi rispetto ai laboratori di ricerca certificati.

an adjustable hooking system, which allowed the positioning and quick replacement. On the inside face, opposite to the sample, a loudspeaker connected to an external amplifier has been placed. Once the material was positioned and correctly secured to the containment frame, the sound pressure level difference was measured between the inside of the cube and the external environment with two precision microphones, placed at 100 mm from the respective faces of the sample. The microphones and the amplifier were in turn connected to a recording board which transmitted the data thus obtained to a computer. Through the software developed ad hoc it was possible to acquire the output data and automatically perform the mathematical steps provided for by the UNI ISO 140-3 and UNI ISO 717-1 standards, returning the val-

ues of sound insulation and the total value of R_w .

All the data collected during the test sessions have implemented a database where all the material examined has been added characterizing information (identification code, thickness, density, number of layers, etc.). The database has been designed to be implemented over time, allowing you to add new materials and new data, making it increasingly refined the possibility of carrying out targeted surveys, through the application of search filters. Thanks to this procedure, it was possible to obtain a comparative evaluation of the data, indispensable in the selection and evaluation phases of the possible alternatives, with the minimum use of resources and a significant reduction of the time compared to the certified research laboratories.

Prototipazione di nuove membrane multilayer

Partendo dalle precedenti produzioni sono state quindi implementate le performance acustiche modificando spessori e stratigrafie, e variando la composizione delle mescole. Allo stesso tempo, si è seguito un approccio teorico, in cui le conoscenze di volta in volta acquisite durante i test hanno suggerito le modifiche da apportare, e un approccio più empirico, a cui seguiva una rapida verifica sperimentale. A seguito delle ricerche svolte, sono stati sviluppati cinque diversi manti multilayer specializzati a base sia polimerica che bituminosa, differenziati tra loro per caratteristiche, composizione, impiego e costo di fabbricazione. Le prestazioni di questi materiali sono state testate preventivamente all'interno dell'azienda con lo strumento descritto. Le caratteristiche dei cinque nuovi manti possono essere così riassunte:

1. membrana a base di bitume distillato polimero con interposta un'armata costituita da un film di alluminio continuo. Presenta su un lato una superficie sfiammabile e sull'altro un tessuto non tessuto in fibra di poliestere.
2. Manto sintetico in PVC-P bicolore, fabbricato attraverso l'estrusione simultanea di due strati di colore differente con interposta un'armatura in fibra di poliestere.
3. Manto composto dall'accoppiamento di un manto sintetico in TPO e un materassino in fibra di poliestere.
4. Membrana a base di bitume distillato e polimeri elastomerici, con un'armatura composita in fibra di poliestere rinforzata in filo vetro accoppiata ad un film di alluminio. Presenta su un lato una superficie sfiammabile e sull'altro un tessuto non tessuto in fibra di poliestere.

Prototyping of new multilayer membranes

Starting from the previous productions acoustic performances were then implemented by modifying thickness and stratigraphy, and varying the composition of the compounds. At the same time, a theoretical approach was followed, in which the knowledge acquired from time to time suggested the changes to be made, and a more empirical approach, followed by rapid experimental verification.

Following the researches carried out, five different multilayer layers have been developed, specialized on both polymeric and bituminous base, differentiated according to characteristics, composition, use and manufacturing cost. The performances of these materials have been previously tested within the company with the instrument described. The characteristics of

the five new layers can be summarized as follows:

1. a membrane based on polymer-distilled bitumen with an interposition of a continuous aluminum film interposed. It has on one side a flammable surface and on the other a non-woven polyester fiber fabric.
2. Two-color PVC-P synthetic layer, manufactured by the simultaneous extrusion of two layers of different colors with interposed polyester fiber reinforcement.
3. A covering consisting of a TPO synthetic layer and a polyester fiber mat.
4. Membrane based on distilled bitumen and elastomeric polymers, with a composite reinforcement in glass fiber reinforced polyester coupled to an aluminum film. It has on one side a flammable surface and on the other a non-woven polyester fiber fabric.

5. Membrana a base di bitume distillato polimero con armatura in velo vetro rinforzato da una rete in filo vetro. Presenta su un lato una finitura a sabbia fine e sull'altro una finitura gofrata.

Come già anticipato, le nuove membrane sono state specificatamente formulate per avviare l'ingresso dell'azienda nel mondo dei prodotti per l'isolamento acustico. Le elevate caratteristiche di isolamento dai rumori aerei e di attenuazione delle vibrazioni trasmesse attraverso mezzi solidi in rapporto allo spessore molto ridotto, abbinata alla stabilità dimensionale e alla flessibilità, suggeriscono il loro utilizzo in svariate applicazioni. Accoppiate a pannelli e lastre possono essere inserite in rivestimenti interni e controsoffittature, abbinata a materassini e a tessuti non tessuti diventano un importante contributo prestazionale nelle stratigrafie di pavimentazioni, solai e coperture. Il loro utilizzo "trasversale" può permetterne l'ingresso in mercati ritenuti promettenti, anche diversi da quello edile, in cui insistono le condizioni per un'ulteriore innovazione. I futuri prodotti possono avere ampio spazio nel settore navale, impiegati nei rivestimenti interni delle imbarcazioni, per eliminare le vibrazioni trasmesse attraverso la struttura metallica; nell'automotive, per migliorare la protezione dell'abitacolo dai rumori esterni e prodotti dal motore; nel design e negli elettrodomestici, per le applicazioni che richiedono materiali elastici e flessibili, per incollaggi e strati disgiunti; infine, all'interno dei pacchetti delle barriere stradali e ferroviarie antirumore, in cui la sostituzione degli attuali materiali, oltre a un aumento prestazionale, comporterebbe anche un aumento significativo della vita utile delle barriere stesse.

5. Membrane based on polymer distilled bitumen with glass veil reinforcement reinforced by a glass wire mesh. It has a fine sand finish on one side and an embossed finish on the other.

As already mentioned, the new membranes have been specifically formulated to start the company's entry into the world of acoustic insulation products. The high characteristics of insulation from airborne noise and attenuation of vibrations transmitted through solid media in relation to the very reduced thickness, combined with dimensional stability and flexibility, suggest their use in various applications. Coupled with panels and slabs, they can be inserted in interior claddings and false ceilings, combined with mattresses and non-woven fabrics, becoming an important performance contribution in the

stratigraphy of floors, floors and roofs. Their "cross" use can allow them to enter promising markets, even different from the building one, where the conditions for further innovation are insisting. Future products can have ample space in the naval sector, used in the interior cladding of boats, to eliminate the vibrations transmitted through the metal structure; in the automotive sector, to improve the protection of the passenger compartment from external noise and engine noise; in design and household appliances, for applications requiring elastic and flexible materials, for bonding and separating layers; finally, within the packs of anti-noise barriers and road barriers, where the replacement of the current materials, as well as a performance increase, would also result in a significant increase in the useful life of the barriers themselves.

Conclusioni

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate prodotte a livello industriale, ottenute con la lavorazione di bitume distillato e polimeri di vario genere, possono quindi essere impiegate con successo anche in ambito acustico. I test eseguiti durante lo svolgimento della ricerca ne hanno evidenziato le potenzialità, chiarendo che, anche con uno spessore trascurabile (dell'ordine di millimetri), si possono aumentare sensibilmente le prestazioni fonoisolanti e fonoassorbenti di partizioni interne verticali e orizzontali, involucri e barriere antirumore, veicoli ed elettrodomestici, e fornire allo stesso tempo un valido strato disgiungente e antivibrante dove richiesto.

In seguito alla presente ricerca, si possono prevedere come ulteriori sviluppi nuovi test e studi, grazie anche all'acquisizione di differenti attrezzature di misurazione. La raccolta dati sui prodotti disponibili sul mercato e sui prototipi ha quindi rappresentato un'attività chiave del processo di sviluppo tecnologico interno all'azienda, attività che sarà possibile perseguire applicando le metodologie già verificate, grazie all'utilizzo del database messo a punto, all'insieme dei campioni raccolti e classificati e alle attrezzature sviluppate presso le aziende partner. Il contributo fornito dall'Università Iuav di Venezia al partner operativo del progetto di ricerca è stato quindi misurabile e osservabile attraverso una serie di apporti innovativi, che saranno ancora più evidenti nei prossimi anni, quando i risultati della ricerca saranno tangibili in termini quantitativi ed economici.

Conclusions

The prefabricated waterproofing membranes produced at industrial level, obtained with the processing of distilled bitumen and polymers of various kinds, can therefore be used successfully also in the acoustic field. The tests carried out during the research have highlighted its potential, clarifying that, even with a negligible thickness (in millimeters), the soundproofing and sound-absorbing performance of internal vertical and horizontal partitions, casings and noise barriers can be significantly increased. , vehicles and appliances, and at the same time provide a valid disjunctive and anti-vibration layer where required.

Following the present research, new tests and studies can be foreseen as further developments, thanks also to the acquisition of different measuring equipment. The data collection on the

products available on the market and on the prototypes have therefore represented a key activity in the company's technological development process, an activity that can be pursued by applying the methodologies already verified, thanks to the use of the database developed, all 'set of collected and classified samples and equipment developed at partner companies. The contribution provided by the Iuav University of Venice to the operational partner of the research project was therefore measurable and observable through a series of innovative contributions, which will be even more evident in the coming years, when the results of the research will be tangible in quantitative and economic terms.

NOTE

¹ «Sviluppo di nuove membrane bituminose fonoisolanti contenenti materiali di riciclo quali polverino di gomma da PFU e PET da recupero post-consumer», assegno di ricerca di tipologia A (monodisciplinare), responsabile scientifico Massimo Rossetti, assegnista di ricerca Alberto Bin, soggetto promotore Università Iuav di Venezia, partner operativo Polyglass S.p.A., partner aziendali t²i S.c.a.r.l., Unindustria Treviso, Genesis S.r.l., referenti partner operativo Barnabe Antunes Ines Beatriz, collaboratore Lorenzo Zottarel.

² Fabio Iraldo, Irene Bruschi, *Economia circolare - principi guida e casi studio*, Osservatorio sulla Green Economy, IEF Bocconi, 2015.

³ Il materiale viene valutato sulla base della legge di massa, l'aumentare della quale determina un aumento dell'isolamento della partizione considerata. La legge della massa stabilisce che a 500 Hz una parete di 100 kg/m² abbia un potere fonoisolante di 40 dB e che a ogni raddoppio e dimezzamento della massa il potere fonoisolante aumenti o diminuisca di 4 dB.

⁴ Il modello di isolamento acustico massa-molla-massa si attua frapponendo a due elementi rigidi e massivi un elemento centrale fonoassorbente con la finalità di smorzare le onde sonore ed innalzare l'abbattimento acustico a un livello superiore a quello che si avrebbe seguendo esclusivamente la legge della massa.

REFERENCES

Bonnaure, C. (2012), *Soluzioni progettuali per l'isolamento acustico degli edifici: isolamento dai rumori per via aerea, d'urto e impiantistici, correzione acustica dei locali, specifiche tecniche per capitoli speciali d'appalto, produttori e prodotti specialistici per l'acustica*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).

Broccolino, A. (2006), *Impermeabilizzazioni: coperture continue. Codice di pratica*, I.G.L.A.E. Istituto per la garanzia dei lavori affini all'edilizia, Rome.

NOTES

¹ «Development of new soundproofing bituminous membranes containing recycled materials such as PFU and post-consumer recovery rubber powders», research grant of type A (monodisciplinary), scientific director Massimo Rossetti, research fellow Alberto Bin, subject promoter Iuav University of Venice, operating partner Polyglass S.p.A., business partners t²i S.c.a.r.l., Unindustria Treviso, Genesis S.r.l., operative partners Barnabe Antunes Ines Beatriz, collaborator Lorenzo Zottarel.

² Fabio Iraldo, Irene Bruschi, *Circular Economy - guiding principles and case studies*, Observatory on the Green Economy, IEF Bocconi, 2015.

³ The material is evaluated on the basis of the mass law, the increase of which determines an increase in the isolation of the considered partition. The mass law establishes that at 500 Hz a

wall of 100 kg/sqm has a soundproofing power of 40 dB and that at each doubling and halving of the mass the soundproofing power increases or decreases by 4 dB.

⁴ The mass-spring-mass acoustic insulation model is implemented by placing a central sound-absorbing element between two rigid and massive elements with the aim of damping the sound waves and raising the noise abatement to a level higher than the one that would be followed exclusively the law of the mass.

- Cangiano, P. and Micocci, L. (1991), *Le impermeabilizzazioni in edilizia: guida ai materiali, tecniche di posa e normativa*, La nuova Italia scientifica, Rome.
- Costantini, C., Foti, P. and Annesi, D. (2012), *Isolamento acustico degli edifici: materiali, progettazione, collaudo*, Legislazione tecnica, Rome.
- Gagnor, R. and Schieroni, M. (1997), "L'impiego delle materie plastiche nelle moderne impermeabilizzazioni", *Impermeabilizzazione - Seleplast*, Vol. 2, pp. 26-31, Vol. 10-12, pp. 44-55, Vol. 7-9, pp. 7.
- Gallauziaux, T., Fedullo, D., Montini, L. and Barutti, F. (2011), *Manuale pratico dell'isolamento termico e acustico*, Sistemi editoriali, Naples.
- Giavarini, C. (2009), "Il riciclaggio nel conglomerato bituminoso delle membrane bitume-polimero", *Rassegna del Bitume - SITEB*, Vol. 62, pp. 33-39.
- Iraldo, F. and Bruschi, I. (2015), *Economia circolare, principi guida e casi studio*, Osservatorio sulla green economy, IEFEB Bocconi, Milan.
- Luvrano, G. and Senes, F. (2005), *Rumore e inquinamento acustico: principi, norme e prassi del controllo ambientale, definizioni e parametri, gestione e sistemi di bonifica, aggiornato al D.Lgs. 13/2005 e alla Direttiva 2003/10*, Esselibri, Naples.
- Menicali, U. (1995), "Le membrane bitume polimero", *Il Commercio Edile Materiali e Tecnologie*, Vol. 255, pp. 78-82.
- Merlo, A. (2010), "La ricerca dell'efficacia: principi dell'isolamento e criteri di scelta dei materiali naturali", *Bioarchitettura*, Vol. 65, pp. 58-61.
- Paganin, G. (2009), *Guida alle tecniche di costruzione. Isolamento termico acustico e finiture interne*, Se, Naples.
- Pascali, M. (2015), *Acustica ambienti interni: propagazione ed attenuazione del rumore, fonoassorbimento, fonoisolamento*, Grafill, Palermo.
- Piffer, A. (2015), "Isolamento acustico in edilizia: Problemi e soluzioni", *Ordine degli ingegneri di Bolzano*, Bolzano.
- Pompoli, R. and Secchi, L. (2004), "Isolamento acustico delle facciate: confronto normativo", *Costruire in Laterizio*, Vol. 73, pp. 62-68.
- Quaglia, A. (1990), "Le membrane prefabbricate: Impermeabilizzazioni", *Il Nuovo Cantiere*, Vol. 9, pp. 98-105.
- Spagnolo, R. (2005), *Manuale di acustica applicata*, Edizioni Città Studi, Turin.

Teresa Villani,

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'architettura, Sapienza Università di Roma, Italia

teresa.villani@uniroma1.it

Abstract. Nel processo progettuale la scelta dei materiali rappresenta un fattore determinante per esplicitare aspetti morfologici, prestazionali ed economici; attraverso le proprietà sensoriali se ne possono poi selezionare altri per caratterizzare spazi e veicolare informazioni (wayfinding). Viene qui illustrata una ricerca sugli edifici museali finanziata dalla Sapienza e supportata dalla Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali, al fine di individuare una metodologia progettuale di wayfinding e predisporre un repertorio (implementabile tramite la digitalizzazione) di materiali e soluzioni tecniche selezionati per scale di intervento e per proprietà sensoriali. È in fase di svolgimento la validazione dei risultati su un campione di tre musei selezionati tra i "Musei in Comune" di Roma.

Parole chiave: Sensorialità dei materiali; Wayfinding; Musei.

Il contributo dei materiali al progetto di wayfinding

Il *wayfinding* rappresenta un ulteriore parametro, in aggiunta a tanti altri, per migliorare la qualità

di un progetto che, una volta realizzato e fruito per un certo tempo, può essere valutato dagli utenti con metodologie *ex post* (*Post Occupancy Evaluation*) nelle quali le qualità percettive e sensoriali derivanti da fattori ambientali costituiscono oggettivamente un riferimento significativo; l'efficacia delle scelte progettuali correlate ai modi d'uso degli spazi può essere quindi desunta direttamente dall'esperienza dei fruitori.

La caratterizzazione materica dello spazio, se progettato in modo da stimolare i sensi durante la ricerca di una meta all'interno di un edificio, rientra a pieno titolo nel *wayfinding* (Lynch, 1960) che si occupa non solo di sistemi comunicativi (segnaletica), ma anche dell'organizzazione e connotazione dello spazio.

L'orientamento, infatti, non è solo determinato dalla capacità di recepire le esplicite istruzioni della segnaletica, ma in modo più completo viene connotato dalla facilità di reagire a sensazioni e sollecitazioni prodotte da superfici, colori, odori che concorrono a creare un'immagine mentale di uno spazio, dei percorsi per

fruirlo, dei suoi elementi più rilevanti.

Lungo un percorso l'utente cerca di continuo di far coincidere gli input sensoriali con la propria 'mappa cognitiva', cioè la memorizzazione delle informazioni spaziali che ne consentono la fruizione (Arthur e Passini, 1992).

Porre scarsa attenzione alla caratterizzazione materica dello spazio in fase di progettazione costituisce una seria omissione. Tale aspetto non è un elemento indifferente, ha una intenzionalità comunicativa, oltre che funzionale, tale da renderlo 'collaborativo' per le facilitazioni che può apportare alla fruibilità.

I materiali hanno quindi un ruolo di primaria importanza; non esprimono soltanto la forma, ma anche una gamma di informazioni trasmesse attraverso la loro fisicità e sono in grado di influenzare la relazione emozionale tra utente e spazio. Il trattamento delle superfici, il modo in cui i materiali sono applicati ne influenzano la percezione e spesso assumono un ruolo attivo e persuasivo.

La scelta dei materiali è pertanto prioritaria fin dalle prime fasi progettuali per attivare forme di sensibilizzazione e comunicazione. Grazie (ma non solo) ad essa si potranno anche esplicitare ulteriormente aspetti morfologici, prestazionali ed economici; obiettivi e vincoli dettati dalla committenza e dal contesto di riferimento.

I materiali rappresentano l'interfaccia tra utente e spazio (Manzini, 1986) e, come portatori di significati, svolgono in un progetto un ruolo di mediazione fra aspetti tecnologici e culturali.

Accanto alla conoscenza di parametri misurabili (proprietà meccaniche, fisiche, termiche, ottiche, ecc.) gli aspetti percettivo-sensoriali assumono pari importanza; sfruttando le associazioni di significato create dall'utente si possono utilizzare le caratteri-

Materials and technical solutions for wayfinding in museums

Abstract. In the design process, selecting materials is a determining factor to define morphological, performance and financial aspects. By means of sensory features, other materials can then be selected to characterise spaces and convey information (wayfinding). This paper illustrates a research study on museum buildings funded by 'Sapienza University of Rome', and supported by the Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali¹, with the purpose of identifying a wayfinding design methodology and establishing an archive of materials and technical solutions (that can be digitised), selected by modification scale and by sensory features. The assessment of results from a sample of three museums, selected from the set of the 'Musei in Comune'² in Rome, is currently being performed.

Keywords: Sensory properties of materials; Wayfinding; Museums.

The contribution of materials to wayfinding design

Wayfinding is a further parameter, in addition to many others, to improve the quality of a design project, which, once implemented and used for a certain period, can be assessed by users with *Post Occupancy Evaluation* (POE) methodologies, where perceptual and sensory features deriving from environmental factors form an objectively significant reference. The effectiveness of design choices related to usage modes of spaces can therefore be directly deduced from the experience of users.

The material quality of space, if designed to stimulate the senses while looking for a destination within a building, is effectively part of wayfinding (Lynch, 1960). This concept addresses communication systems (signage), as well as the arrangement and the features of space.

Orientation, in fact, is not determined just by the ability to understand the explicit instructions of signage, but is more completely defined as the ability to react to sensations and stimuli conveyed by surfaces, colours and odours, cooperating in the creation of a mental image of the space, of paths to use it, and of its most relevant elements.

Along a path, a user always looks for a way to match sensory inputs with his or her 'cognitive map', that is the mnemonic recording of spatial information enabling its fruition (Arthur and Passini, 1992).

Paying little attention to the material features of space during design is a serious omission. This aspect is not irrelevant; it has a communicative, as well as a functional, purpose, which makes it 'collaborative' because of the contribution it can provide to usability. Materials, therefore, have a primary

stiche sensoriali per veicolare informazioni utili a migliorare la comunicatività di uno spazio e le modalità con cui le persone 'navigano' all'interno di esso (Passini, 1984).

I sensi orientano, non sono solo ricettori passivi di sensazioni ma attivi sistemi di indagine di continuo a caccia di informazioni da estorcere all'ambiente (Gibson, 2009). Ogni senso parla una propria lingua e ci fa accedere alla conoscenza in modi differenti. I materiali parlano tutti i sensi: danno una conoscenza plurisensoriale, implicano una percezione sinestetica fatta di sensazioni visive, tattili, sonore, olfattive e possono suggerire distinzioni e relazioni (La Cecla, 1988).

Queste possono essere *sensoriali* (contatto diretto tra sensi e connotazioni materiche), *memorizzate* (presenti in memoria e dipendenti da fattori esperienziali), *dedotte* (ottenute per deduzione e per combinazione delle due precedenti tipologie).

Si possono anche mettere in atto meccanismi 'attentivi' poiché ciò che contrasta con il contesto (lucentezza, brillantezza) o qualcosa di inusuale (cambiamento di stato, dinamicità) attira l'attenzione.

Ad es. attraverso il senso aptico, il senso del tatto esteso a tutto il corpo (Bloomer e Moor, 1997) si attivano processi attentivi con la semplice variazione del materiale di pavimentazione.

Quindi le scelte tecnologiche che configurano gli spazi interni debbono essere svolte in base ad una gamma di prestazioni (in continua crescita) che il sistema superficie può fornire: da quelle meccaniche, di durabilità, ecc. a quelle sensoriali che lo trasformano in un mezzo di comunicazione sia statico che dinamico.

Molti studi sul *wayfinding* hanno dimostrato che le prime informazioni ambientali dipendono dal contatto diretto dei sensi con l'ambiente (Arthur e Passini, 1992); un soggetto, nell'atto

role: not only do they express form, but a range of information conveyed through their physical quality, and they can affect the emotional relationship between users and space. The treatment of surfaces, and the way that materials are installed, affect the way they are perceived and often play an active and persuasive role.

The selection of materials is therefore a priority since early design stages, in order to activate forms of sensitisation and communication. Thanks (but not limited) to it, it will also be possible to further define morphological, performance and financial aspects, which are objectives and constraints required by customers and by the context.

Materials constitute the interface between users and space (Manzini, 1986) and, as conveyors of meaning, they play a mediation role between technological and cultural aspects in a design project.

Perceptual-sensory aspects are as important as knowledge of measurable parameters (mechanical, physical, thermal, optical properties etc.). By exploiting meaning connections created by the user, sensory features can be used to convey useful information to improve the communicability of space and the way people 'navigate' within it (Passini, 1984).

The senses are used for orientation, they are not just passive detectors of sensations, but active investigation systems, always looking for data to draw from the environment (Gibson, 2009). Each sense speaks its own language and lets us access knowledge in different ways. Materials speak the language of all senses: they provide a multisensory knowledge, they entail a synesthetic perception made of visual, haptic, aural, and olfactory sensations, and they can suggest differences and

di esplorare lo spazio, mette in funzione tutti i sensi e diventa pertanto efficace stimolarli in modo sinestetico. Nell'orientarsi le persone non 'leggono' lo spazio in modo sistematico, ma visualizzano gli elementi rilevanti, i flussi pedonali più consistenti e poi in ultimo le mappe di orientamento e la segnaletica in generale.

Oltre alla vista, è efficace utilizzare anche il senso tattile con cui si può percepire calore, morbidezza, rugosità. Possono contribuire anche l'olfatto (potente attivatore di emozioni e della memoria) e l'udito per i suoni prodotti dal contrasto acustico dei diversi materiali di calpestio.

È evidente come le strutture sensoriali sono sempre legate alla superficie; è questa a inviare messaggi, ottici, termici, tattili o olfattivi (Manzini, 1986) e quindi rappresenta l'insieme degli elementi cui la ricerca ha dato un maggior contributo.

Wayfinding e musei

Nella letteratura scientifica il *wayfinding* ha visto come ambiti prevalenti di applicazione contesti complessi (città, aeroporti, ospedali). Pochi studi hanno considerato le difficoltà che invece può sottendere un polo museale. I musei, 'contenitori' di pregio, nel tempo si sono avviati verso un sistema di relazioni complesso, con presenza crescente e articolata di servizi per favorire l'inclusione sociale e culturale¹, la partecipazione, l'interazione e la fruizione più attiva, con conseguenti problemi di sovraffollamento. Proprio per le trasformazioni dovute ai servizi offerti (punti ristoro, sale convegni, bookshop) e a iniziative intraprese a seguito della riforma dei musei e dei finanziamenti ad essi dedicati, tra il 2016/17 sono stati superati i 50 milioni di visitatori con un trend in crescita.

relations (La Cecla, 1988). These can be *sensory* (direct contact between senses and material connotations), *memorised* (stored in memory and depending on experience factors), and *deduced* (derived by deduction and by combination of the two former types). 'Attentive' mechanisms can also be actuated, since something in contrast with the context (luminosity, brilliance) or something unusual (change of state, dynamicity) attracts attention. For example, by means of the haptic sense, the sense of touch extended to the entire body (Bloomer & Moor, 1997), attentive processes are activated simply through the variation of the paving material.

Therefore, technological decisions configuring indoor spaces must be made based on a range of (constantly growing) performance features that the surface system can provide: from

mechanical and durability features, to sensory ones, turning it into a both static and dynamic communication system.

Many studies on wayfinding have shown that initial environmental data depend on direct contact of the senses with the environment (Arthur and Passini, 1992). An individual, while exploring space, activates all senses, and stimulating them in a synesthetic way is therefore efficient.

While orienting themselves, people do not 'read' space in a systematic way, but visualise relevant elements, the larger pedestrian flows, and then orientation maps and signage in general.

In addition to sight, using touch is also an efficient method, since it can perceive heat, softness, and roughness. Smell (a powerful memory and emotion activator) and hearing, for sounds produced by the acoustic contrast of

Agire quindi su una efficace strategia di *wayfinding* a partire dalle informazioni deducibili dall'ambiente usando in modo comunicativo i materiali (obiettivo della presente ricerca) può limitare la perdita della cognizione spaziale da parte dei visitatori, incidendo positivamente sui flussi interni e quindi sulla ottimale utilizzazione degli spazi.

A scala nazionale l'attenzione al *wayfinding* nei musei, sebbene ancora circoscritto alla segnaletica, è documentata dalla sua introduzione fra i fattori che determinano la qualità delle strutture².

In ambito europeo, in molte procedure di valutazione, il sistema di comunicazione viene contrassegnato come parametro di accreditamento presso gli enti certificatori. Nell'*Accreditation Scheme* (UK)³ uno dei parametri richiesti è una strategia per l'orientamento comprensibile; in Spagna l'accreditamento, delegato ad amministrazioni locali, pone tra i requisiti minimi la dotazione di segnaletica e strumenti di informazione. Il programma *Herity*⁴, diffuso in ambito internazionale, prende in esame quattro aspetti per determinare la qualità: la percezione del valore culturale; lo stato di manutenzione; la comunicazione e le informazioni per il visitatore; la qualità dell'accoglienza. Risulta evidente, pur non ancora espressamente, che il requisito di *wayfinding* incide positivamente sulla valutazione globale.

In questo quadro la ricerca che qui di seguito si illustra, finanziata da Sapienza Università di Roma e supportata dalla Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali, ha affrontato la complessità del *wayfinding* nello specifico ambito dei poli museali delineando una metodologia progettuale e identificando possibili criteri di scelta di materiali incentrati sugli aspetti sensoriali.

different planking surface materials, can also contribute.

It is evident how sensory structures are always tied to the surface, being this the origin of optical, thermal, tactile or olfactory messages (Manzini, 1986), and therefore it constitutes the set of elements that research has mainly focused on.

Wayfinding and museums

Many studies on wayfinding were applied mainly to complex contexts (cities, airports, hospitals). Few have considered the difficulties that a museum facility can present.

Museums, prestigious 'containers', have started addressing a complex relationships system over time, with an increasing and articulated presence of services to facilitate social and cultural inclusion³, participation, interaction and a more active fruition, leading to

overcrowding problems.

Because of the changes due to the services being provided (restoration points, conference rooms, bookshops), and to initiatives implemented after the reform of museums and of funding schemes for them, between 2016 and 2017 there were more than 50 million visitors, with an increasing trend.

Therefore, implementing a wayfinding strategy, based on information derived from the environment by using materials in a communicative way (the objective of this paper) can reduce loss of spatial cognition by visitors, thus positively affecting indoor flows and, therefore, the optimal usage of spaces. At national level, attention towards wayfinding in museums, although still limited to signage, is documented by its introduction among the factors determining the quality of facilities⁴.

At European level, in many evaluation

La proposta

La proposta è un obiettivo generale riguardante la rilevante attenzione da attribuire alle strategie di *wayfinding* negli spazi museali nel rispetto della loro tutela e nell'ottica di un rinnovato rapporto con i visitatori, la ricerca si è posta obiettivi specifici quali l'individuazione e la validazione di una metodologia di approccio al progetto e la predisposizione di un repertorio di materiali e soluzioni tecniche finalizzato ad operare scelte appropriate alle specificità dei siti e mirate alla caratterizzazione materiale espressiva degli elementi tecnici che configurano gli spazi. L'ambito della ricerca e della successiva sperimentazione ha riguardato quindi la progettazione dello spazio e le modalità con le quali intervenire attraverso un uso appropriato di soluzioni materiche dai caratteri sensoriali.

Nella fase conoscitiva sono stati studiati numerosi casi studio in cui tale logica, con diversi livelli di intervento e risposte progettuali, ha favorito un'interazione con il visitatore.

Progetti in cui il *wayfinding* ha contribuito anche al rilancio dell'immagine (British Museum e Barbican Arts Centre a Londra, Children's Museum a Denver, Museum of Byzantine Culture a Salonico, Stedelijk Museum di Amsterdam e altri).

L'analisi si è estesa anche ad altre destinazioni d'uso (ad es. aeroporti e ospedali) per trasferirne le esperienze e definire i fattori determinanti da inserire negli input di progetto.

L'approfondimento di seguito riportato attiene alla descrizione delle componenti principali della metodologia di approccio al *wayfinding* e alla strutturazione dei criteri di scelta di materiali e soluzioni tecniche per superfici che privilegiano la percezione sensoriale (Fig. 1) e l'apporto comunicativo, prendendo in esame materiali tradizionali e alcune linee innovative.

procedures, the communication system is considered as an accreditation parameter by certification authorities. In the Accreditation Scheme (UK)³, one of the required parameters is a strategy for clear orientation. In Spain, accreditation, performed by local administrations, includes the presence of signage and information tools among minimum requirements. The *Herity* programme⁶, widely used at international level, considers four aspects to determine quality: perception of cultural value; state of maintenance; communication and information for visitors; quality of reception. It is evident, although not explicitly yet, that the wayfinding requirement has a positive impact on global evaluation.

In this framework, the study presented in this paper, funded by "Sapienza" University of Rome and supported by the *Sovrintendenza Capitolina ai Beni*

Culturali, addresses the complexity of wayfinding in the specific context of museum facilities, by defining a design methodology and by identifying possible selection criteria for materials focused on sensory aspects.

Proposal

Within a general objective concerning the appropriate attention to be paid to wayfinding strategies in museum spaces, while respecting their protection and with a view of renewing the relationship with visitors, the study established some specific objectives. These are the identification and validation of a design approach methodology, and the preparation of a catalogue of materials and technical solutions aiming at defining appropriate choices for the peculiarities of sites, and focusing on the expressive material characterisation of the technical elements forming the spaces.

Metodologia di approccio al progetto di wayfinding

Sono state condotte una serie di interlocuzioni preliminari con diverse competenze multidisciplinari (sovrintendenze, direttori di musei, designer, curatori di mostre, visitatori) al fine di acquisire informazioni per costituire un database e proporre in seguito delle linee di indirizzo progettuali.

È stata operata quindi una prima classificazione in due macro raggruppamenti:

- musei storici vincolati *ope legis* dal T.U. 42/2004, interessati da interventi di restauro architettonico;
- musei contemporanei non vincolati direttamente dal T.U. 42/2004 di nuova costruzione o interessati da interventi di recupero edilizio, la cui configurazione permette azioni più consistenti.

Per ogni raggruppamento sono stati scelti i primi campioni rappresentativi (Palazzo dei Diamanti a Ferrara e Macro in Via Nizza a Roma) sui quali è stata condotta una sequenza operativa di studi e verifiche preliminari tra cui:

- approfondimenti sulla storia ed evoluzione del museo, indagini conoscitive riferite al contesto, al numero e tipologia dei visitatori;
- suddivisione del museo in aree funzionali e in relative unità ambientali;
- analisi dei flussi e percorsi, individuazione delle criticità mediante analisi configurazionali⁵;
- individuazione delle u.a. sulle quali intervenire per incrementare la comunicatività degli spazi;
- analisi del sistema ambientale delle u.a. interessate, con particolare attenzione ai requisiti di fruibilità, integrazione vi-

The framework of the study and the following experimentation, therefore, concerned the design of space and the ways to act on it with an appropriate use of material solutions with sensory features.

In the investigation phase, several case studies were analysed, where this approach, presenting different levels of modification and design solutions, facilitated the interaction with visitors. These are cases where wayfinding contributed to a new promotion of the sites (British Museum and Barbican Arts Centre in London, Children's Museum in Denver, Museum of Byzantine Culture in Thessaloniki, Stedelijk Museum in Amsterdam and others).

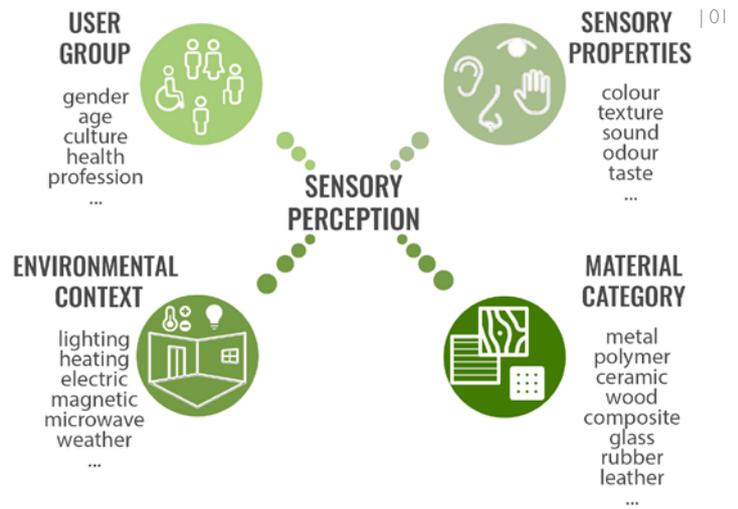
The analysis was also extended to other types of facilities (e.g. airports and hospitals) to transfer their experiences and define determining factors to be included in project inputs.

The detailed discussion presented below pertains to the description of the main components of the methodological approach to wayfinding, and to the structuring of selection criteria for materials and technical solutions for surfaces favouring sensory perception (Fig. 1) and communication, by examining traditional materials and some innovative trends.

Methodological approach to wayfinding design

A series of preliminary exchanges with several multidisciplinary entities (cultural heritage authorities, museum directors, designers, curators of exhibitions, visitors) were conducted, with the purpose of gathering information to create a database and then propose design guidelines.

A first classification into two macro-groups was then performed:



suale e trasformabilità in base agli elementi di pregio (pavimentazioni storiche, rivestimenti di pregio, soffitti lignei, modanature e cornici) (Fig. 2);

- analisi delle soluzioni tecniche esistenti per le superfici (Fig. 3). Dalle informazioni preliminari sono stati individuati i livelli di intervento:

- *Livello 1.* Soluzioni di 'minimo intervento' e basso impatto economico: si privilegia la reversibilità e si può includere l'uso di materiali tradizionali agendo sulla scelta di texture, colori, lucentezza, opacità, trasparenza, ecc. o l'uso di materiali innovativi quali ad es. le pellicole adesive fotoluminescenti o materiali integrati con fibre elettroluminescenti, particolarmente utili per rimarcare percorsi d'esodo (D'Orazio et al., 2016);
- *Livello 2.* Soluzioni che prevedono la sostituzione (parziale o totale) di elementi tecnici a medio impatto economico. La scelta può ricadere su materiali tradizionali agendo su texture, colori, lucentezza, opacità, trasparenza, o su materiali innovativi ad alte prestazioni estetico/sensoriali quali ad es. ceramici ad elevate qualità ottiche, laminati e derivati del legno dalle qualità olfattive, tessuti luminosi, ecc.

- historical museums bound by Italian law T.U. 42/2004, affected by architectural restorations;
- contemporary museums not directly bound by law T.U. 42/2004, newly built or affected by restorations, whose configuration allows for more substantial changes.

For each group, the first representative samples were chosen (*Palazzo dei Diamanti* - Diamonds Palace - in Ferrara, and *Macro* in Via Nizza, Rome).

An operative series of studies and preliminary inspections were performed on the samples, including:

- research on the history and evolution of the museum, investigations referred to the context and to the number and type of visitors;
- partition of the museum in functional areas and related environment units;
- analysis of flows and paths, iden-

tification of critical issues through configurational analysis (7);

- identification of environment units to be modified in order to increase communicability of spaces;
- analysis of the environment setting of affected units, with specific attention to requirements of usability, visual integration and transformability based on highly-valued elements (historical pavements, high-quality claddings, wooden ceilings, mouldings and frames) (Fig. 2);
- analysis of the existing technical solutions for surfaces (Fig. 3).

Based on preliminary information, three modification levels were identified:

- *Level 1.* 'Minimum change' solutions and low financial impact: reversibility is favoured and traditional materials can be included, by acting on the selection of textures, colours,



luminosity, opacity, transparency etc.; alternatively, innovative materials can be used, such as adhesive fluorescent films or materials with embedded fibre optics, particularly useful to mark emergency escape routes (D'Orazio et al., 2016).

- Level 2. Solutions requiring (partial or total) change of technical elements with medium financial impact. Traditional materials can be chosen, by acting on textures, colours, luminosity, opacity, and transparency. Innovative materials can also be chosen, with high esthetic/sensory performance, such as ceramics with high optical features, laminated and wood derivatives with olfactory features, luminous cloths, etc.
- Level 3. Radical resetting modification, with high financial impact, acting on the reorganisation and re-

configuration of spaces and internal pathways. In this case, wayfinding (that can include the use of smart and multisensory materials, such as sounds, visual effects etc.) is included in a repurposing programme, thus being integral part of the design.

In order to support appropriate options for modification levels, this study proposes some criteria to reuse a catalogue of materials and technical solutions in order to facilitate cognitive and behavioural processes of users while experiencing the museum.

Selection criteria for materials

The increasing offer of materials on the market, with increasingly updated features, combined with the difficulty in managing the amount of technical data, forces the designer to constant training and requires new decision support tools.

For the specific field of wayfinding, a set of criteria was identified in order to select solutions for the different components to be used as finishing for spaces, diversified based on functional areas of the museum and on modification levels. The purpose was to join technical and financial properties (quantitative analysis) with sensory properties (qualitative analysis), and with the meaning attached to each material in a certain context. The procedure was based on the most common selection processes used in engineering (Ashby, 1992) and design (Ashy and Johnson, 2002; Karana, Hecker and Kandachar, 2008).

The primary sources of information were repositories of materials, real and virtual catalogues of materials organised by group, by physical / technical / mechanical aspects, and by application. The classification also includes

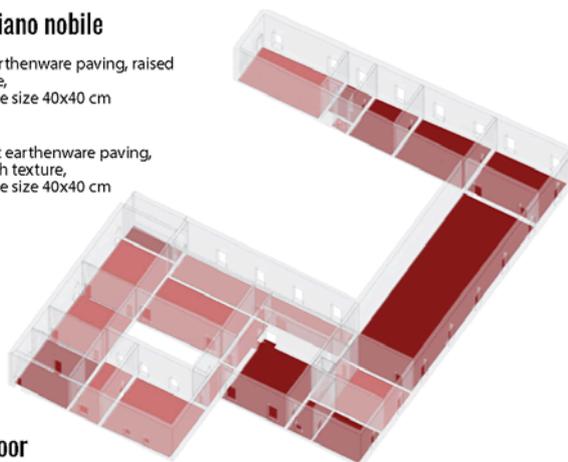
perceptual features, acknowledging their importance: in a few cases, they are described according to technical aspects. An empirical perceptual approach is instead more frequent. Indeed, the materials were analysed and catalogued by sensory terms through repeated analysis sessions (observation and manipulation), carried out by a group of individuals (so-called 'tasters of materials').

In the first selection phase, it is necessary to set an initial criterion related to context analysis, whose parameters are:

- purpose of the selection (based on modification levels and functional areas);
- technical elements to be modified;
- conditions of use (natural and artificial lighting, temperature, humidity, wear conditions, etc.);
- the priorities assigned to the features to be investigated (reversibility etc.);

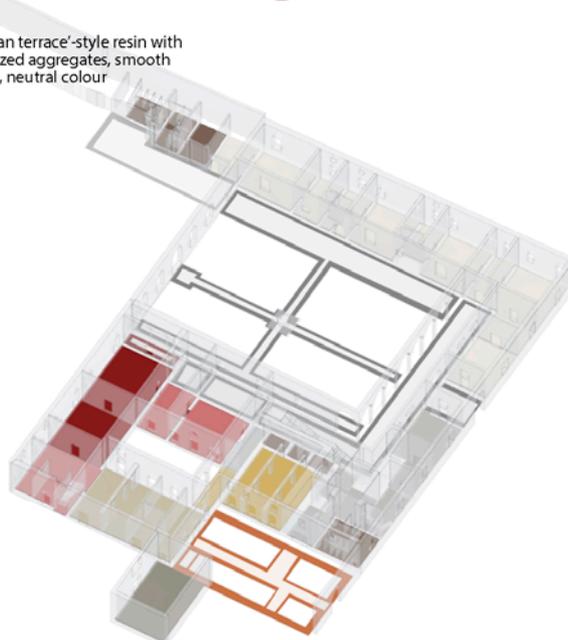
03 | **ART GALLERY_piano nobile**

-  Old earthenware paving, raised texture, module size 40x40 cm
-  Recent earthenware paving, smooth texture, module size 40x40 cm



GAMC_ground floor

-  Porcelainized stoneware paving, smooth texture, neutral colour with pinkish veining, module size 40x40 cm
-  Stoneware paving, smooth texture, grey colour, module size 40x40 cm
-  'Venetian terrace'-style resin with small sized aggregates, smooth texture, neutral colour
-  Recent earthenware paving, smooth texture, module size 40x40 cm
-  Old earthenware paving, raised texture, module size 40x40 cm



M. del RISORGIMENTO_ground floor

-  'Venetian terrace'-style resin with medium sized aggregates, smooth texture, ochre colour
-  'Venetian terrace'-style resin with medium sized aggregates, smooth texture, grey colour
-  'Venetian terrace'-style resin with small sized aggregates, smooth texture, various colours

EXTERNAL SPACES

-  Grey trachyte, raised texture, varying module sizes
-  Earthenware tiles, raised texture, module size 15x30 and 30x30 cm
-  'Grey stone effect' outdoor paving, raised texture, module size 50x50 cm
-  (Recovered) Burnt clay tiles with smooth texture, module size 15x30cm

- *Livello 3.* Intervento di riassetto radicale ad elevato impatto economico agendo sulla riorganizzazione e la riconfigurazione degli spazi e dei percorsi interni. In questo caso il *wayfinding* (che può prevedere l'uso di materiali *smart* e multisensoriali quali particolari sound, effetti ottici, ecc.) è inserito all'interno di un programma di rifunzionalizzazione, risultando quindi parte integrante del progetto.

Per supportare opzioni appropriate ai livelli di intervento la ricerca propone alcuni criteri per realizzare un repertorio di materiali e soluzioni tecniche efficaci a facilitare i processi cognitivi e comportamentali dell'utente durante la fruizione del museo.

Criteri di scelta dei materiali

La crescente offerta di materiali sul mercato con sempre più aggiornate prestazioni unita alla

difficoltà di gestire una mole di informazioni tecniche impongono al progettista un continuo aggiornamento e richiedono nuovi strumenti di supporto alle scelte.

Per lo specifico ambito del *wayfinding* è stato individuato un insieme di criteri al fine di selezionare soluzioni per i diversi componenti da utilizzare come finitura degli spazi, diversificati in base alle aree funzionali del museo e ai livelli di intervento. L'obiettivo è stato di coniugare proprietà tecniche ed economiche (analisi quantitativa), proprietà sensoriali (analisi qualitativa) e il significato attribuito a ciascun materiale in un determinato contesto (frutto dell'interazione tra utente e spazio), sulla base dei processi di selezione più comunemente utilizzati in ambito ingegneristico (Ashby, 1992) e nel design (Ashby e Johnson, 2002; Karana, Hekkert e Kandachar, 2008).

- the level of detail that the selection should achieve (features to be considered contextually).

The second phase is focused on the evaluation of quantitative and qualitative properties. Wayfinding objectives, constraints and other specific variables are translated into boundary features.

The third phase concerns the evaluation of material alternatives.

The fourth classifies them based on how they respond to objectives.

The fifth is related to selection: potential alternatives form a catalogue of technical and material solutions that the designer can choose from to select the most appropriate one (Fig. 4).

A possible implementation of results, which will be addressed in a further phase of the study, will relate to the structuring of the catalogue into a flexible database, interoperable with BIM modelling, by developing further

methodologies based on a semantic approach. This would enable the implementation of standardised procedures for the structuring of the database, with the purpose of making the data uniform and coherent. In some recent experiments, the use of computer ontologies within the structuring of data in a BIM environment is indeed verifiable (Ma and Liu, 2018).

The operative procedure, in its entirety, allows for a progressive approach to design. The methodology including the selection criteria for materials is an effective tool to select a consistent amount of data to be managed. The theoretical-practical structure enables customisation and selection of alternative and original options to approach wayfinding, not as a separate (specialised) discipline, mainly related to visual communication, but as an integral part of architectural design (Fig. 5).

Come fonte primaria delle informazioni sono state utilizzate alcune materiotecche, archivi reali e virtuali di materiali già schedati per famiglie di appartenenza, aspetti fisico-tecnico-meccanici e applicazioni. Nella schedatura sono presenti anche le caratteristiche percettive riconoscendone l'importanza: in pochi casi sono espresse secondo aspetti tecnici; più ricorrente è invece un approccio percettivo di tipo empirico. Sono stati infatti analizzati e catalogati secondo vocaboli sensoriali tramite ripetute sedute di analisi (osservazione e manipolazione) da parte di un campione di persone (cosiddetti 'degustatori di materiali').

Nella prima fase di selezione è necessario impostare un primo criterio riferito all'analisi di contesto i cui parametri sono:

- l'obiettivo della selezione (in base ai livelli d'intervento e alle aree funzionali);
- gli elementi tecnici su cui intervenire;
- le condizioni d'uso (illuminazione naturale, artificiale, temperatura, umidità, condizioni di usura, ecc.);
- le priorità assegnate alle proprietà da indagare (reversibilità);
- il livello di dettaglio che la selezione deve raggiungere (proprietà da considerare contestualmente).

La seconda fase è incentrata sulla valutazione delle proprietà quantitative e qualitative.

Gli obiettivi di *wayfinding*, le condizioni di vincolo e altre variabili specifiche vengono tradotti in proprietà limite.

La terza fase riguarda la valutazione delle alternative materiche.

La quarta le classifica in base al grado di rispondenza agli obiettivi.

La quinta è riferita alla scelta: le potenziali alternative vanno a costruire il repertorio di soluzioni tecniche e materiche a cui il

Conclusions

As mentioned before, acting on the communicability of spaces and its perceptual features in order to facilitate wayfinding in museums, shows positive implications, both for visitors and for managers.

By adopting a wayfinding design, complete and respecting conservation requirements, it will be possible to appreciate the wealth of cultural heritage, by endowing unknown museum facilities with the reliability features determining their financial (increased number of visitors), as well as educational and promotional, success.

Therefore, we think that the main objective of the study was achieved: a partnership network was created around this topic and a positive feedback was received from involved stakeholders.

Thanks to the cooperation with *Herity*,

the topics related to wayfinding and communicability of museum facilities were included in a more structured way in protocols for quality certification of cultural heritage.

Furthermore, in cooperation with the *Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali*, an initial validation of the design methodology and of selection criteria for materials is currently being performed on a representative sample of three facilities, selected from the 'Musei in Comune' (Capitoline Museums, Palazzo Braschi-Museum of Rome, and Gallery of Modern Art of Rome).

We mentioned at the beginning of the paper that wayfinding is a further means (in addition to others) to improve the design quality of a museum, whose efficacy, once implemented and used, can be assessed by users through POE, where perceptual and sensory properties are an important benchmark.

progettista può attingere per scegliere la più appropriata (Fig.4). Una possibile implementazione dei risultati, oggetto di una ulteriore fase della ricerca, riguarderà la strutturazione del repertorio in forma di database flessibile e interoperabile con la modellazione BIM, sviluppando ulteriori metodologie basate sull'approccio semantico. Questo permetterebbe l'implementazione di procedure standardizzate per la strutturazione della base di dati, con l'obiettivo di rendere le informazioni uniformi e coerenti. In alcune recenti sperimentazioni risulta infatti verificabile l'uso delle ontologie informatiche all'interno delle strutturazioni di dati in ambiente BIM (Ma e Liu, 2018). L'iter operativo nel suo insieme consente un approccio progressivo alla progettazione. La metodologia di cui fanno parte i criteri di scelta dei materiali costituisce uno strumento efficace per gestire una consistente quantità di informazioni. La struttura teorico-applicativa permette di personalizzare e operare scelte alternative e inedite per considerare il *wayfinding* non come una disciplina (specialistica) a sé stante prevalentemente legata alla comunicazione visiva, ma come parte integrante del progetto architettonico (Fig. 5).

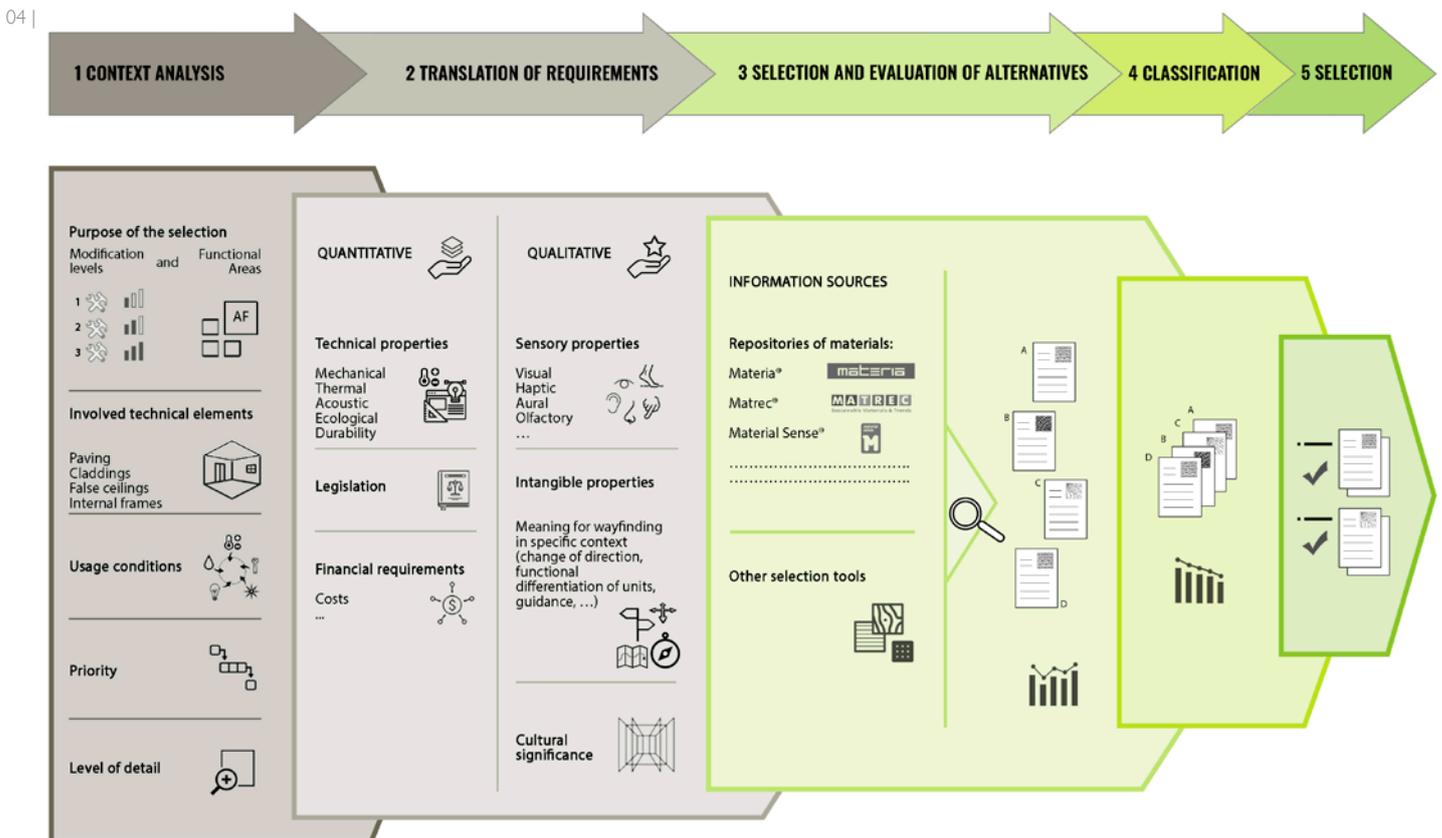
Conclusioni

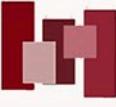
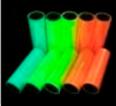
Si è già anticipato che intervenire sulla comunicatività dello spazio e sulle sue connotazioni percettive per agevolare il *wayfinding* nei musei presenta implicazioni positive sia per i visitatori che per i gestori.

Adottando un progetto di *wayfinding*, completo e rispettoso delle istanze di tutela, si potrà apprezzare la ricchezza del patrimonio culturale, attribuendo a strutture museali sconosciute i caratteri di affidabilità che ne determinano il successo economico (aumento del numero di visitatori) oltre che educativo-divulgativo. L'obiettivo generale della ricerca si ritiene che sia stato quindi raggiunto: intorno alla tematica si è creata una rete di *partnership* e un positivo riscontro dei vari *stakeholder* coinvolti.

Grazie alla collaborazione con *Herity*, gli aspetti sul *wayfinding* e la comunicatività degli spazi museali sono stati inseriti in modo più strutturato nei protocolli per la certificazione di qualità del patrimonio culturale.

Inoltre, in collaborazione con la Sovrintendenza Capitolina ai Beni Culturali è attualmente in atto una prima validazione della metodologia progettuale e dei criteri di scelta dei materiali su un campione rappresentativo di tre strutture scelte tra i 'Musei in



Modification level 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		Functional Area FA2_ Exhibition		Environment Unit E.U.12_ Exhibition room		Technical features Compression resistance 3,5 MPa Residual footprint < 0,06mm Coefficient of friction $\mu \geq 0,3$ Luminance 40 mcd/m ² Reaction to fire Cfl s1 Flexibility, minimum radius 3 mm Working temperature 30-50°C Power supply 0,0035 Watt per cm ² Duration 20 years Other remarks CE marking		Application example 
Technical element Horizontal internal partition Component Vertical partition Material Electroluminescent ply adhesive formed by two external protection films with UV filter or transparent polymer. Two internal layers of conductive material. A layer of phospho-polymeric resin sensitive to electric stimuli. Size L varying W varying H 0,6-1,3mm		Picture 		Placing Integration with paving elements		Sensory features Brilliance polished Translucence 50% Structure closed Texture relief smooth Hardness hard Temperature medium Acoustics none Odour none		
Finishing Smooth with uniform and constant light, resistance to pressure, vibrations and footsteps mechanical shocks. Flexible, cuttable, adaptable to customised shapes, can be integrated with electronic devices, sensors and microprocessors. Colour blue, yellow, green, orange, purple		Wayfinding meaning Guidance, emergency wayfinding, function demarcation						
Modification level 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		Functional Area FA1_Reception area		Environment Unit E.U.23_ Ticket office, infopoint		Technical features Resistance to steam diffusion $\mu \geq 1$ Soundproofing power R 19 Reaction to fire Bs2,d0 Smoke class F1 Usage temperature -40+110°C Thermal conductivity $\lambda 0,0033W/m^2K$ Duration illimitata Other remarks CE marking		Application example 
Technical element False ceiling Component Panel Material Soundproofing panel without internal framing made of polyester fibre with thermo-sensitive binding additives. Size L 120 cm W 85 cm H 4 cm 60 cm		Picture 		Placing Suspended on cables		Sensory features Brilliance opaque Translucence 0% Structure open Texture relief medium Hardness soft Temperature warm Acoustics moderate Odour none		
Finishing Non woven fire-proof cladding, treated and coloured with flocking procedure with velvety effect. Colour red RAL 3005		Wayfinding meaning Function identification						
Modification level 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		Functional Area FA2_ Additional services		Environment Unit E.U.N6_ Horizontal connection		Technical features Resistance to tearing high Coefficient of friction 0,71 Luminosity after 2 min 90 mcd/m2 Luminosity after 30 min 7 mcd/m2 Luminosity after 60 min 4 mcd/m2 Reaction to fire Cfl s1 Min. application temperature +4 °C Duration 1 mil. transfers Other remarks Compliant with ISO 16069:2004		Application example 
Technical element Horizontal partition Component Inclined internal partition Material Photo-luminescent adhesive formed by photo-luminescent pigments of high quality zinc sulfide mixed in vitreous grit and PVC paste. Size L 10-25-50m W 2-10 cm H 0,08-0,3mm		Picture 		Placing Adhesive bands. Deep cleaning of the bed surface		Sensory features Brilliance opaque Translucence 20% Structure closed Texture relief smooth Hardness soft Temperature medium Acoustics none Odour none		
Finishing highly resistant, removable, smooth, printable and screen-printable adhesive Colour yellow, green, orange		Wayfinding meaning Guidance, emergency wayfinding						
Modification level 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>		Functional Area FA2_ Additional services		Environment Unit E.U.28_ Coffee Bar		Technical features Resistance to penetration 38,2 N/mm ² Resistance to scratching 1,9 N Coefficient of friction $\mu \geq 0,5$ Reaction to fire Cfl S1 Formaldehyde emission Class E1 Durability Class 4 Other remarks CE marking PEFC certificate		Application example 
Technical element Internal horizontal partition Component Paving Material Panels made of micro-laminar beechwood suitable for highly crowded environments Size L 118 cm W 118 cm H 2 cm		Picture 		Placing Crossed fillets placing with tapping on the four sides. Possible gluing on cloth.		Sensory features Brilliance opaque Translucence 0% Structure closed Texture relief none Hardness hard Temperature warm Acoustics moderate Odour moderate		
Finishing rough, untreated, with micro-bisaddling on four sides Colour natural		Wayfinding meaning Functional differentiation between units						
Modification level 1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/>		Functional Area FA1_Reception area		Environment Unit E.U.23_ Ticket office, infopoint		Technical features Resistance to bending 45 N/mm ² Resistance to deep abrasion 140 mm ³ Water absorption $\leq 0,06\%$ Thermal dilation $6,2 \times 10^{-6} C^{-1}$ Coefficient of friction $\mu \geq 0,60$ Reaction to fire Afl Other remarks CE Marking		Application example 
Technical element Internal horizontal partition Component Paving Material Porcelainised stoneware tiles Size L 60 cm W 80 cm H 1,5 cm		Picture 		Placing Aligned placing raising < 2 mm joints < 5 mm		Sensory features Brilliance opaque Translucence 0% Structure closed Texture relief none Hardness hard Temperature cold Acoustics moderate Odour none		
Finishing opaque bush-hammered Colour concrete grey		Wayfinding meaning Functional differentiation between units						

Comune' (Musei Capitolini, Museo di Roma-Palazzo Braschi e Galleria d'Arte Moderna di Roma).

Si è detto all'inizio che intervenire sul *wayfinding* è una ulteriore modalità (in aggiunta ad altre) per migliorare la qualità progettuale di un museo la cui efficacia, una volta realizzato e fruito, può essere valutata dagli utenti attraverso metodologie POE di cui le proprietà percettive e sensoriali costituiscono un importante riferimento. Quindi i successivi sviluppi della ricerca, oltre ad approfondire le specifiche connotazioni del *wayfinding*, prevedono di metterle a sistema con tutte le altre modalità che nel loro insieme garantiranno una sempre maggiore qualità del progetto e della realizzazione, all'interno di una valutazione *ex post* per determinarne gli esiti complessivi.

NOTE

¹ Principi ormai riconosciuti anche nei documenti ufficiali di associazioni internazionali di categoria, quali ICOM – International Council of Museums e ICOMOS – International Council on Monuments and Sites, <http://archives.icom.museum/codes/italy.pdf>.

² Circolare n. 80/2016 MIBACT.

http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2016/12/Raccomandazioni-in-merito-allaccessibilit%C3%A0-a-musei-monumenti-aree-e-parchi-archeologici-Circolare-80_2016.pdf.

³ Accreditation Scheme for Museums and Galleries in the UK: Accreditation Standard.

<http://www.artscouncil.org.uk/supporting-museums/accreditation-scheme-0>.

⁴ Organismo internazionale per la gestione di qualità del patrimonio culturale, <http://www.herity.it/>.

⁵ L'applicazione del software DephtmapX ha permesso di valutare alcune

Therefore, subsequent developments of this study, in addition to further examining the specific features of wayfinding, will combine them with all other methods, which, as a whole, will guarantee an increasing quality of design and implementation, within an *ex post* evaluation to determine overall results.

NOTES

¹ The authority in charge of protecting cultural heritage in the Capitol City of Rome.

² Literally: "Museums in the Municipality", but it also translates to "Shared Museums" (as a play on words).

³ These principles are also acknowledged official documents issued by relevant international associations, such as ICOM – International Council of Museums and ICOMOS – International Council on Monuments and Sites, available at: <http://archives.icom>.

musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2016/12/Raccomandazioni-in-merito-allaccessibilit%C3%A0-a-musei-monumenti-aree-e-parchi-archeologici-Circolare-80_2016.pdf.

⁴ Ministerial circular n. 80/2016 MIBACT (Italian law), available at: http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2016/12/Raccomandazioni-in-merito-allaccessibilit%C3%A0-a-musei-monumenti-aree-e-parchi-archeologici-Circolare-80_2016.pdf.

⁵ Accreditation Scheme for Museums and Galleries in the UK: Accreditation Standard, available at: <http://www.artscouncil.org.uk/supporting-museums/accreditation-scheme-0>.

⁶ World Organisation for the Certification of Quality Management of Cultural Heritage, available at: <http://www.herity.it/>.

⁷ The use of the *DephtmapX* software allowed for the assessment of some properties of spaces, such as: permeability; visual integration; proximity from entrance and info point; connections; and decision points to choose a direction.

proprietà degli spazi quali la permeabilità, l'integrazione visuale, la vicinanza rispetto all'ingresso e al punto informativo, le connessioni, i punti decisionali per scegliere una direzione.

REFERENCES

Ashby, M.F. (1992), *Materials Selection in Mechanical Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Ashby, M.F. and Johnson, K.W. (2002), *Materials and design: the art and science of material selection in product design*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.

Bloomer, K.C. and Moor, C.W. (1997), *Corpo, memoria, architettura*, Sansoni Editore, Firenze, IT.

D'Orazio, M., Bernardini, G., Tacconi, S., Arteconi, V. and Quagliarini, E. (2016), "Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants' evacuation with no architecture modifications", *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 19, pp. 492-501.

Ferrante, T. (2013), "Dal materiale all'artefatto: criteri di selezione dei materiali", in Dal Falco, F. (Ed.), *Lezioni di Design*, Design press, Rome, IT, pp. 204-211.

Ganucci Cancellieri, U., Manca, S., Laurano, F., Molinaro, E., Talamo, A., Recupero, A. and Bonaiuto, M. (2018), "Visitors' satisfaction and perceived affective qualities towards museums: the impact of recreational areas", *Rassegna di Psicologia*, Vol. 15, pp. 5-18.

Gibson, D. (2009), *The wayfinding handbook*, Princeton Architectural Press, New York, NY, USA.

Hillier, B. and Tzortzi, K. (2006), "Space Syntax: The Language of Museum Space", in Macdonald, S. (Ed.), *A Companion to Museum Studies*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, pp. 282-301.

Jones, M., Zuo, H., Castle, P. and Hope, T. (2001), "An investigation into the sensory properties of materials", *Proceedings of the Second International Conference on Affective Human Factors Design, Singapore 27-29 06, 2001*, Asean Academic Press, London, UK.

Karana, E., Hekkert, P. and Kandachar, P. (2008), "Material Considerations in Product Design: A Survey on Crucial Material Aspects Used by Product Designers", *Materials and Design*, No. 29, Vol. 6, pp. 1081-1089.

La Cecla, F. (1988), *Perdersi. L'uomo senza ambiente*, Edizioni Laterza, Bari.

Lynch, K. (1960), *The image of the city*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.

Manzini, E. (1986), *La materia dell'invenzione. Materiali e progetto*, Arcadia Edizioni, Milan.

Passini, R. (1984), *Wayfinding in Architecture*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA.

Passini, R. and Arthur, P. (1992), *Wayfinding. People, signs and architecture*, McGraw-Hill Ryerson, Toronto, ON, CA.

Secchi, S., Lauria, A. and Cellai, G. (2017), "Acoustic wayfinding: A method to measure the acoustic contrast of different paving materials for blind people", *Applied Ergonomics*, No. 58, pp. 435-445.

Ma, Z. and Liu, Z. (2018), "Ontology and freeware-based platform for rapid development of BIM applications with reasoning support", *Automation in Construction*, No. d90, pp. 1-8.

Antonella Violano,

Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale, Università della Campania L. Vanvitelli, Italia

antonella.violano@unicampania.it

Abstract. Il dibattito internazionale su materia e progetto assume come rigenerativo e resiliente un edificio che interagisce simbioticamente con il suo intorno: si adatta, coevolve, usa l'energia del sole e le risorse del suolo, produce ossigeno e sequestra CO₂, chiude il ciclo dell'acqua e dei rifiuti ... grazie all'epigenesi dei suoi materiali. Partendo dall'*Ecovative*, un biomateriale prodotto negli USA, la ricerca condotta presso il DADI dell'Università della Campania "L. Vanvitelli", in partenariato con soggetti industriali, sperimenta la produzione di isolanti termici biologici coltivati con miceli. La sperimentazione ha registrato una risposta fortemente adattiva del materiale, risultato rigenerativo, ecocompatibile, rinnovabile, con impatto ambientale zero e minimo Embodied Energy.

Parole chiave: Materiali a base biologica; Materiali coltivati; Approccio "cradle-to-cradle"; Impronta di carbonio.

Introduzione

Obiettivi prestazionali sempre più ambiziosi, livelli esigenti sempre più elevati, requisiti normativi sempre più esigenti definiscono le dimensioni secondo cui misurare tutte le trasformazioni tangibili e intangibili dell'architettura del ventunesimo secolo. La ricerca di materiali, sistemi e componenti multiformi e performanti stanno inesorabilmente sostituendo il concetto lecorbuseriano di architettura come "macchina per abitare" con quella di architettura come "organismo" in costante coevoluzione con il suo intorno ambientale.

Al pari di altre discipline scientifiche, anche l'architettura si è trasformata in un settore in cui intensa è la ricerca, la sperimentazione e soprattutto la contaminazione con altre forme di sapere: biologia, fisica, genetica. L'approccio metaforico-biologico di Philip Steadman, fondato sulla ricerca della coerenza di ogni singola parte con il tutto, può essere interpretato come criterio e metodo con cui superare il concetto di integrazione formale e funzionale tra l'oggetto architettonico e il suo intorno ambientale (ripreso nei principi alla base dell'architettura bioclimatica),

Beyond Materials: the experimentation of bio-based grown materials from mycelia

Abstract. The international debate on materials and design assumes as regenerative and resilient a building that interacts symbiotically with its surroundings: it fits, coevolves, uses solar energy and soil resources, produces oxygen and captures CO₂, closes the cycle of water and waste ... thanks to the epigenesis of its materials. Starting from *Ecovative*, a biomaterial produced in the U.S.A., the research carried out at the DADI of University of Campania "L. Vanvitelli", in partnership with industry participants, experiences the production of bio-based thermal insulation materials grown with mycelia. The experimentation has recorded a highly adaptive response from the material, which resulted regenerative, eco-friendly, renewable, with a zero environmental impact and a minimum Embodied Energy.

Keywords: Bio-based materials; Grown materials; "cradle-to-cradle" approach; Carbon footprint.

per arrivare a una forma di interazione materica e biodinamica. La frontiera dell'analisi visiva e formale della metafora biologica viene così superata per arrivare a pensare e ponderare l'architettura anche dal punto di vista metabolico e biologico. In questo modo, si configura una rinnovata relazione tra edificio e intorno ambientale, che si riflette nel rapporto non più simbiotico ma coevolutivo della materia, fondato sull'approccio "Cradle-to-Cradle" (McDonough e Braungart, 2010). L'organismo edilizio non è solo pensato progettualmente con un suo DNA costruttivo, una sua forma, un suo orientamento, una sua permeabilità ai flussi di materia e di energia, che dettano i limiti e i punti di forza delle sue prestazioni ambientali; esso stesso vive e si integra in modo smart con l'ecosistema urbano di cui entra a far parte, fornendo veri e propri *servizi ecologici*. Ed immediatamente il pensiero va all'"Arcologia" di Soleriana memoria, che accomuna il nobile intento di ridurre al minimo l'impatto ambientale degli edifici, nel loro intero ciclo di vita, con il tentativo non più utopico di assegnare loro un Valore ecologico Intrinseco, che nella definizione di Valore Totale (Pearce e Turner, 1989) risiede in quella particella "e" che rappresenta la capacità di un ecosistema di essere habitat per i suoi abitanti.

In sinergia con l'evoluzione del dibattito internazionale su materia e progetto, se le scelte tecnologiche seguono l'approccio "Cradle to Cradle", il rapporto sinergico tra edificio e intorno ambientale aumenta, non soltanto per l'equilibrato scambio di materia ed energia in ingresso e in uscita dall'organismo edilizio attraverso il suo involucro, ma anche grazie alla genesi e all'epigenesi dei suoi materiali. Il materiale a base biologica assume, infatti, il comportamento di un vero e proprio essere vivente che interagisce, si adatta, si evolve, si protegge e trae il massimo be-

Introduction

More and more ambitious performing goals, higher and higher levels needed, more and more stringent standards define the dimensions according to which measuring all tangible and intangible transformations of the 21st century architecture. The search for multiform and performing materials, systems and components are inexorably replacing the LeCorbuserian concept of architecture as a "machine for living" with that one of architecture as an "organism" in constant co-evolution with its environmental surroundings. As well as other scientific disciplines, architecture has also been changed into a sector where research, experimentation and above all contamination with other forms of knowledge are intense: biology, physics and genetics. Philip Steadman's metaphorical-biological approach, based on the search for the

coherence of each single part with the whole, can be interpreted as a criterion and a method used to overcome the concept of formal and functional integration between the architectural object and its environmental surroundings (resumed in the principles that are at the core of bioclimatic architecture), to reach a form of materials and biodynamic interaction. The border of the visual and formal analysis of the biological metaphor is thus overcome in order to think and ponder architecture also from the metabolic and biological point of view. So there is a renewed relationship between the building and its environmental surroundings, which is reflected in the non-symbiotic but coevolutionary relationship of the materials, based on the "Cradle-to-Cradle" approach (McDonough and Braungart, 2010). Building as an organism is not only thought with its construc-

CHARACTERISTICS	STANDARD	HEMP blend	ASPEN blend
Density (lbs / ft3)	ASTM C303	7.6	9-15
Compressive strength (psi)	ASTM C165	18	50
Flexure strength (psi)	ASTM C203	34	-
Compostability (days)	ASTM D6400	30	-
Smoke emission (m2 / m2)	ASTM E84	50	311
Thermal conductivity [1], at 10°C (W / mK)	ASTM C518	0.039 ²	-
Water vapour permeation (dry cup)	ASTM E96	30	-

neficio dal variare delle condizioni al contorno. Così concepito, l'edificio fornisce il necessario supporto fisico e tecnico al sistema urbano di cui è parte, lavora come un generatore di servizi ecosistemici e, secondo il modello rigenerativo, utilizza l'energia del sole e usa le risorse del suolo, produce ossigeno e sequestra CO₂, chiude il ciclo dell'acqua e dei rifiuti, respira, si adatta alle diverse stagioni, è costruito con materiali naturali (riciclati e/o scarti di lavorazione) che saranno a loro volta riciclabili e/o totalmente reintegrabili nel ciclo vitale naturale alla fine della loro vita economica utile. Il controllo del bilancio ambientale interessa, infatti, direttamente i materiali da costruzione come elementi di input del processo costruttivo, oggi fortemente orientato a ridurre non solo l'impatto ambientale in termini di Impronta di Carbonio, ma anche l'energia incorporata¹ dei materiali utilizzati per costruire l'edificio (Crawford, 2011).

In questo panorama scientificamente in evoluzione si colloca il progetto di ricerca sperimentale per la produzione di isolanti termici coltivati a base biologica, condotto in partenariato tra università (DADI - Dipartimento di Architettura e Disegno Industriale dell'Università della Campania "L. Vanvitelli") e soggetti industriali (Partner SAIPAN srl, Nafco Italia srl, Service Biotech s.r.l.), finanziatori e fornitori di servizi e materie prime per la fase sperimentale.

La ricerca prende spunto concettuale dallo studio di un biomateriale prodotto a Green Island (NY-USA), l'Ecovative, realizzato con miceli e paglia di canapa o pioppo tremolo. Questo materiale è completamente biodegradabile e compostabile; la massa di ife filamentose (la parte vegetativa del tallo del fungo) si intreccia alle paglie e forma in una-due settimane una struttura variamente compatta e minimamente rigida, con ottime proprietà isolanti.

tive DNA, its shape, its orientation, its permeability to flows of materials and energy that establish the limits and strengths of its environmental performances by design; it lives and integrates smartly with the urban ecosystem it becomes part of, providing real *ecological services*. Immediately our thought goes to "Arcology" of Solerian memory, which unites the noble intent to minimize the environmental impact of buildings, in their whole life-cycle, with no longer utopian attempt to assign them an intrinsic ecological value, which in the definition of Total Value (Pearce and Turner, 1989) resides in that particle "e" that represents the ability of an ecosystem to be a habitat for its inhabitants.

Synergically with the evolution of the international debate on materials and design, if the technological choices follow the "Cradle-to-Cradle" approach,

the synergic relationship between the building and its environmental surroundings increases, not only for the balanced exchange of materials and energy in input and output of the building as an organism through its envelope, but also thanks to the genesis and epigenesis of its materials. The bio-based materials assume, in fact, the behaviour of a real living being that interacts, adapts, evolves, protects itself and gets the maximum benefit from the change of the surrounding conditions. Thus conceived, the building gives the necessary physical and technical support to the urban system it is part of, it works as a generator of ecosystem services and, according to the regenerative model, it uses solar energy and soil resources, it produces oxygen and captures CO₂, it closes the cycle of water and waste, it breathes, it adapts to different seasons, it is built

Il componente non contiene formaldeide o VOC, potenzialmente nocivi, e la sua caratteristica di "materiale coltivato" offre la possibilità di alloggiare il composto in uno stampo con la possibilità di avere direttamente, dopo la coltivazione, un prodotto finito, adatto a diversi usi (materiale da costruzione, oggetto di design, packaging, ecc.).

La sperimentazione DADI: risultati, rilevanza e implicazioni

La sperimentazione condotta presso il DADI ha inteso testare la procedura di produzione di "materiali coltivati" ampliando

la gamma di paglie utilizzate e confrontandone cinque diversi tipi (canapa – come benchmark di riferimento –, tabacco Burley, tabacco Virginia, grano duro e orzo) per verificarne la velocità e la capacità di attecchimento del micelio in base alle diverse quantità di lignina presenti.

La scelta delle paglie risponde alla logica dell'approccio "prosumer" (Bresso, 1993), che si ispira al modello gestionale degli ecosistemi naturali: il produttore (consumatore degli output di se stesso o di altri produttori, come avviene per il primo anello del ciclo naturale dei produttori primari), nel momento in cui opera tiene conto "a priori" che una parte significativa del prodotto, alla fine della vita utile, deve rientrare in un nuovo pro-

with natural materials (recycled and/or processing waste) that will be recyclable and/or totally reintegrated into the natural life-cycle at the end of their useful economic life. As a matter of fact, the control of the environmental balance directly affects the construction materials as input elements of the building process, nowadays strongly oriented to reduce not only the environmental impact in terms of Carbon Footprint, but also the embodied energy¹ of the materials used for building (Crawford, 2011).

In this scientifically evolving panorama it is set the experimental research design for the production of bio-based thermal insulation materials, made in partnership between universities (DADI - Department of Architecture and Industrial Design of University of Campania "L. Vanvitelli") and industrial partners (SAIPAN srl, Nafco Italia

srl, Service Biotech s.r.l.), lenders and suppliers of services and raw materials for the experimental phase.

The research gets conceptual ideas from the study of biomaterials produced in Green Island (NY-the U.S.A.), the "Ecovative", made with mycelia and hemp straw or quaking aspen tree. This material is completely biodegradable and compostable; the mass of filamentous hyphae (the vegetative part of the thallus of a fungus) is intertwined with straws and forms a structure differently compact and minimally rigid with excellent insulating properties in a week or two.

The component doesn't contain formaldehyde or VOC, potentially harmful, and its characteristic of "grown materials" gives the possibility of setting the blend into a mold with the possibility of having directly a finished product, after cultivation, adapted to

cesso produttivo come input; deve, cioè, essere riciclabile, per quella parte che come rifiuto può essere riutilizzabile, ma deve anche essere biodegradabile per l'altra parte che non è riutilizzabile dall'economia umana, ma è ancora utilizzabile dall'economia del mondo naturale.

Per i "materiali coltivati", gli scarti di lavorazione di produzioni agricole locali sono la materia in input nel nuovo processo produttivo sperimentale, che per le modalità di esecuzione risulta essere a impatto ambientale zero e minima energia incorporata. Si prevede, infatti, l'uso di energia elettrica solo per il funzionamento degli apparecchi preposti alla trinciatura delle paglie, alla pastorizzazione e all'essiccazione del composto paglia-micelio alla fine della fase log. Gli elementi fondamentali della sperimentazione sono i miceli del pleutorus su miglio e l'uso di differenti paglie a confronto; nello specifico caso, sono stati realizzati 7 campioni:

- C.1 Grano non trinciato
- C.2 Tabacco Burley
- C.3 Orzo trinciato
- C.4 Orzo non trinciato
- C.5 Grano trinciato
- C.6 Canapa trinciata
- C.7 Tabacco Virginia

La preparazione del materiale è stata articolata in sei fasi:

- Fase 1. *Trinciatura* (lavorazione energivora), per la preparazione delle paglie.
- Fase 2. *Umidificazione e Fermentazione* delle paglie, bagnate periodicamente con acqua nebulizzata e fermentate in luogo chiuso per sette giorni; alla fine del trattamento le paglie presentavano variazione di colore e peso (me-

different uses (building materials, design object, packaging, etc.).

DADI experimentation: results, relevance and implications

The experimentation carried out at DADI has aimed at testing the production procedure of "grown materials" by expanding the range of straw used and comparing five different types (hemp - as a reference benchmark-, Burley tobacco, Virginia tobacco, durum wheat and barley) to check the rapidity and capacity of engraftment of the mycelium according to the different amount of lignin present.

The choice of the straws responds to the logic of the "prosumer" approach (Bresso, 1993), which is inspired to the management of natural ecosystems: the producer (a consumer of his/her own outputs or other manufacturers' outputs, as it happens for the first

step of the natural cycle of primary producers), when he/she acts, considers in advance that a significant part of the product, at the end of its useful life, must be part of a new production process as an input; that is it must be recyclable for that part which can be reusable as a waste and it must also be biodegradable for the other part which cannot be reusable by the human economy, but which is still usable by the economy of the natural world. For the "grown materials", the scraps of local crop productions are the input materials in the new experimental production process, that for the methods of execution results to be with a zero environmental impact and a minimum embodied energy. It is foreseen, in fact, the use of electricity only for functioning of the straw shredding machine, pasteurization machine and machine for drying the straw-mycelium com-

diamente circa +40%), con tracce evidenti di macrobiotici.

- Fase 3. *Sterilizzazione* (lavorazione energivora), con acqua a 100°C, per eliminare tutti i possibili batteri, potenziali inibitori della corretta proliferazione dei miceli.
 - Fase 4. *Inoculazione* del micelio, procedendo per strati.
 - Fase 5. *Coltivazione* del materiale, cercando di garantire una temperatura ambientale costante compresa tra i 35-40°C, ottimale per proliferazione dei miceli. Dopo solo due giorni dall'inoculazione, già si registravano presenze biotiche apprezzabili, diversamente manifeste nei diversi campioni: la crescita biotica a dieci giorni era maggiore nei tabacchi, rallentata nei composti a taglio lungo e nella canapa, quasi assente nei trinciati (Fig. 1). La principale variazione si è registrata nel fattore *temperatura dei campioni*; questi, nonostante le identiche condizioni ambientali esterne, registravano, rispettivamente: i tabacchi 42°C, le fibre a taglio lungo 34°C e i trinciati 22°C. Con molta probabilità tale differenza è dipendente dal diverso grado di umidità (acqua assorbita e/o trattenuta dalle fibre) dei composti.
 - Fase 6. Fermo della coltivazione (lavorazione energivora), ottenuta sottoponendo i campioni di materiale ad un aumento della temperatura in forno a 100°C, per bloccare la proliferazione delle ife e la sporulazione dei miceli.
- La migliore risposta, in termini di "tempo di coltivazione del materiale" è stata data dal C.2 Tabacco Burley e la migliore in termini di "consistenza materica" del prodotto finale ad uso edilizio, dal C.3 Orzo trinciato, C.7 Tabacco Virginia e C.6 Canapa trinciata.

pound at the end of the log phase. The essential elements of the experimentation are the mycelium of the pleutorus on mile and the use of different straws compared; in the specific case, 7 samples have been made:

- C.1 Unchopped wheat
- C.2 Burley tobacco
- C.3 Chopped barley
- C.4 Unchopped barley
- C.5 Chopped wheat
- C.6 Chopped hemp
- C.7 Virginia tobacco

The preparation of the materials has been divided into six phases:

- Phase 1. *Shredding* (energivorous processing), for straw preparation.
- Phase 2. *Humidification and fermentation* of straw, periodically wet with water spray and fermented in a closed place for seven days; at the end of the

treatment straw assumed variation in colour and weight (about + 40% on average), with evident traces of macrobiotics.

- Phase 3. *Sterilization* (energivorous processing), with water at 100°C, to eliminate all possible bacteria, potential inhibitors of the correct mycelial proliferation.
- Phase 4. Mycelial *inoculation*, proceeding by layers.
- Phase 5. *Cultivation* of materials, trying to ensure a constant environmental temperature between 35-40°C, very good for mycelial proliferation. Only two days later the inoculation, there have been already appreciable biotic presences, differently manifested in the different samples: the

La lettura del “materiale coltivato” al microscopio elettronico a scansione

Ecology, un campo emergente nel design bio-orientato, in cui è significativa la persistenza di sinergie intrinseche tra vincoli ambientali, metodi di produzione ed espressione percettivo-funzionale del materiale realizzato. (Oxman, 2012).

Tuttavia, per la definizione di un paradigma di design veramente ecologico e coevolutivo era interessante capire le modalità di colonizzazione dei miceli, i veri artefici della struttura portante di questo materiale coltivato. A tal fine, i campioni sono stati osservati con microscopio elettronico a scansione.

Dalla matrice originaria dei campioni, in numero di otto³, sono stati prelevati frammenti in maniera random, rappresentativi della struttura madre. I campioni sono stati raccolti in VIAL da 1 ml e trattati in Osmio al 4% per 2 h 200 ml, successivamente sono stati eseguiti 2 lavaggi in PBS ph 7.4 200 ml con durata 25 min. Infine si sono sottoposti i campioni in disidratazione alcolica crescente da 30% a 95% per 25 min ognuno e ripetuto per 20 min a 95%. Infine i campioni sono stati sputterizzati in oro con sputter coater AGB 7366 e così ottenuti sono stati visualizzati mediante utilizzo di un microscopio SEM FEI, Quanta FEG 250⁴.

Si è evidenziato che il micelio ha colonizzato il grano trinciato più del grano non trinciato, in quanto il primo ha offerto mag-

giori spunti di penetrazione alle ife (Fig. 2). Nel grano non trinciato le ife hanno colonizzato soltanto lo strato esterno della canna, lasciando apparentemente libero quello più interno (Fig. 7).

Anche la metodica di crescita è stata differente, in quanto le ife hanno agganciato le paglie trinciate e le spore sono proliferate numerose perché hanno trovato resistenze minori (Fig. 8).

Nell'orzo la colonizzazione è stata più regolare per via della trabecolatura esterna a canali continui. L'organizzazione spaziale di ife e spore si è rivelata molto ben organizzata: le ife sono penetrate nella struttura esternamente liscia tramite i tagli della trinciatura e le spore hanno colonizzato solo la superficie esterna. In questo caso, le ife non avendo molti punti di ingresso, si sono dovute creare una maggiore possibilità di colonizzazione sporulando con più continuità: la rete di ife è, quindi, penetrata nei canali e ha gemmato. Nell'orzo non trinciato si è riscontrata la stessa struttura ordinata di ife e spore, ma i minori punti di ingresso hanno fatto sì che le ife siano penetrate prevalentemente nei canali esterni, non e/o poco interessando quelli più interni (Fig. 3).

Nella canapa, il legame tra i diversi elementi lignei si è mostrato, invece, molto strutturato ed evidente (Fig. 4), con un andamento di proliferazione che è chiaramente apparso prevalentemente monodirezionale (Fig. 5), ma probabilmente il tempo di coltivazione è stato più lungo del necessario, in quanto oltre alla fitta rete di ife sono presenti molte spore.

Probabilmente, anche il processo di essiccazione, fatto in forno e non in autoclave, ha determinato una eccessiva sporulazione in

giori spunti di penetrazione alle ife (Fig. 2). Nel grano non trinciato le ife hanno colonizzato soltanto lo strato esterno della canna, lasciando apparentemente libero quello più interno (Fig. 7). Anche la metodica di crescita è stata differente, in quanto le ife hanno agganciato le paglie trinciate e le spore sono proliferate numerose perché hanno trovato resistenze minori (Fig. 8).

Nell'orzo la colonizzazione è stata più regolare per via della trabecolatura esterna a canali continui. L'organizzazione spaziale di ife e spore si è rivelata molto ben organizzata: le ife sono penetrate nella struttura esternamente liscia tramite i tagli della trinciatura e le spore hanno colonizzato solo la superficie esterna. In questo caso, le ife non avendo molti punti di ingresso, si sono dovute creare una maggiore possibilità di colonizzazione sporulando con più continuità: la rete di ife è, quindi, penetrata nei canali e ha gemmato. Nell'orzo non trinciato si è riscontrata la stessa struttura ordinata di ife e spore, ma i minori punti di ingresso hanno fatto sì che le ife siano penetrate prevalentemente nei canali esterni, non e/o poco interessando quelli più interni (Fig. 3).

Nella canapa, il legame tra i diversi elementi lignei si è mostrato, invece, molto strutturato ed evidente (Fig. 4), con un andamento di proliferazione che è chiaramente apparso prevalentemente monodirezionale (Fig. 5), ma probabilmente il tempo di coltivazione è stato più lungo del necessario, in quanto oltre alla fitta rete di ife sono presenti molte spore.

Probabilmente, anche il processo di essiccazione, fatto in forno e non in autoclave, ha determinato una eccessiva sporulazione in

01 |



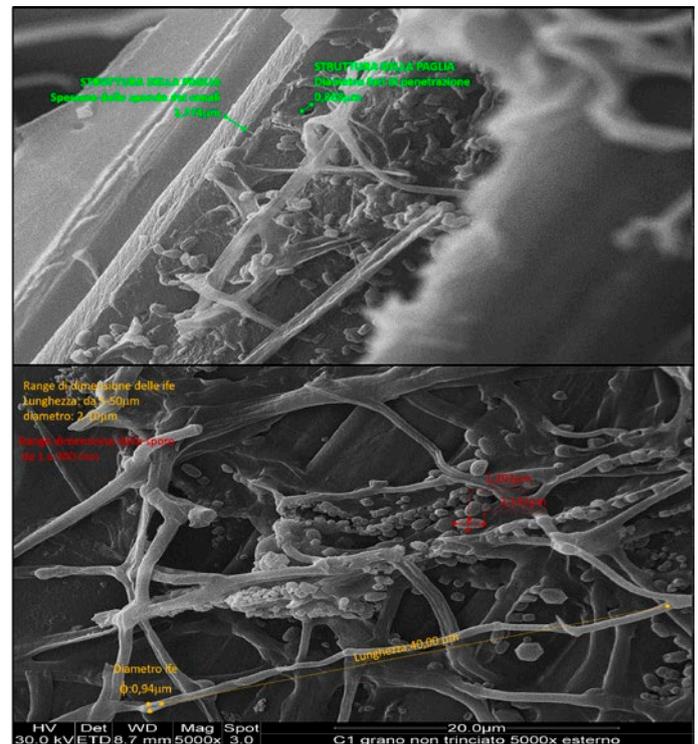
tutti i campioni di materiali coltivati. Infatti, il processo di autoclavatura, bloccando in fase vegetativa la proliferazione, evita la sporulatura.

Molto diversa appare la struttura del tabacco Barley che presenta una serie di canali organizzati a spirali, su cui le ife proliferano con poche spore. La colonizzazione avviene superiormente, poco interessando gli spazi interni delle spirali (Fig. 6).

Infine, il tabacco Virginia ha una struttura più propriamente lignea e le ife proliferano con le spore ma con andamento meno ramificato e più camminato, creando una struttura a legaccio tipo tralci di vite.

La lettura con il microscopio elettronico a scansione ha, di fatto, evidenziato che la crescita delle ife dipende non solo dall'ambiente proliferativo e dalle condizioni di temperatura e umidità a contorno (caratteristiche invariante per tutti i campioni in coltivazione), ma dalla morfologia e natura del supporto vegetale e in tutti i campioni è estremamente evidente il comportamento fortemente adattivo del micelio.

Il valore di questa sperimentazione consiste, quindi, nel cogliere le dinamiche bio-evolutive di questa materia prima vivente al fine di progettare, con consapevolezza biologica, le componenti della “mesh” fino a connettere, combinare, “coltivare”, tessere le bio-trame per formare superfici e volumi parametrizzabili in relazione alle diverse richieste prestazionali, con funzioni e caratteristiche performanti per il settore delle costruzioni. Il “materiale coltivato” cresce sulla base di un’appropriata combinazione tra le proprietà intrinseche del materiale biotico e i nessi ambientali esterni (prevalentemente temperatura e umidità relativa) che ne determinano le qualità potenziali, fissando non solo i parametri più generici riguardanti il comportamento meccanico, (durezza/ morbidezza, rigidità/elasticità, flessibilità /indeformabilità) e l’impatto ambientale (Energy e Carbon footprint), ma anche la resa spaziale e l’effetto percettivo⁵, componente non trascurabile nell’era della comunicazione e dell’espressività visiva dell’architettura.



za/ morbidezza, rigidità/elasticità, flessibilità /indeformabilità) e l’impatto ambientale (Energy e Carbon footprint), ma anche la resa spaziale e l’effetto percettivo⁵, componente non trascurabile nell’era della comunicazione e dell’espressività visiva dell’architettura.

Analisi critica dei risultati conseguiti

Gli esiti della sperimentazione hanno registrato una risposta fortemente adattiva del materiale finale, pienamente rispondente all’approccio del Regenerative Design (edifici in armonia con il ciclo vitale naturale e con impronta ecologica bassissima – Reed, 2008; Attia, 2018) e del Design eco-sociale, che enfatizza la recuperata connessione dia-

ten-day biotic growth has been greater in the tobaccos, slowed down in the long cut compounds and in the hemp, almost absent in the chopped ones (Fig. 1). The main variation has been recorded in the temperature factor of the samples; despite the identical external environmental conditions, they have been recorded, respectively: 42°C for tobaccos, 34°C for long cut fibres and 22°C for chopped fibres. This difference probably depends on the different degree of humidity (water absorbed and/or retained by the fibres) of the compounds.

Phase 6. Stop growing (energetic processing), obtained by putting the samples of materials to an increasing temperature

in an oven at 100°C, in order to block hyphae proliferation and mycelial sporulation.

The best response, in terms of “grown materials time” has been given by C.2 Burley Tobacco and the best response in terms of “materials consistency” of the final product for building use has been given by C.3 Chopped burley, C.7 Virginia tobacco and C.6 Chopped hemp.

“Grown materials” analysed by a scanning electron microscope

The experimentation has produced satisfactory results within advanced production methods of *Material Ecology*, an emerging field in bio-oriented design, where it is meaningful the persistence of intrinsic synergies among environmental constraints, production methods and perceptive-functional expression of the materials produced (Oxman, 2012).

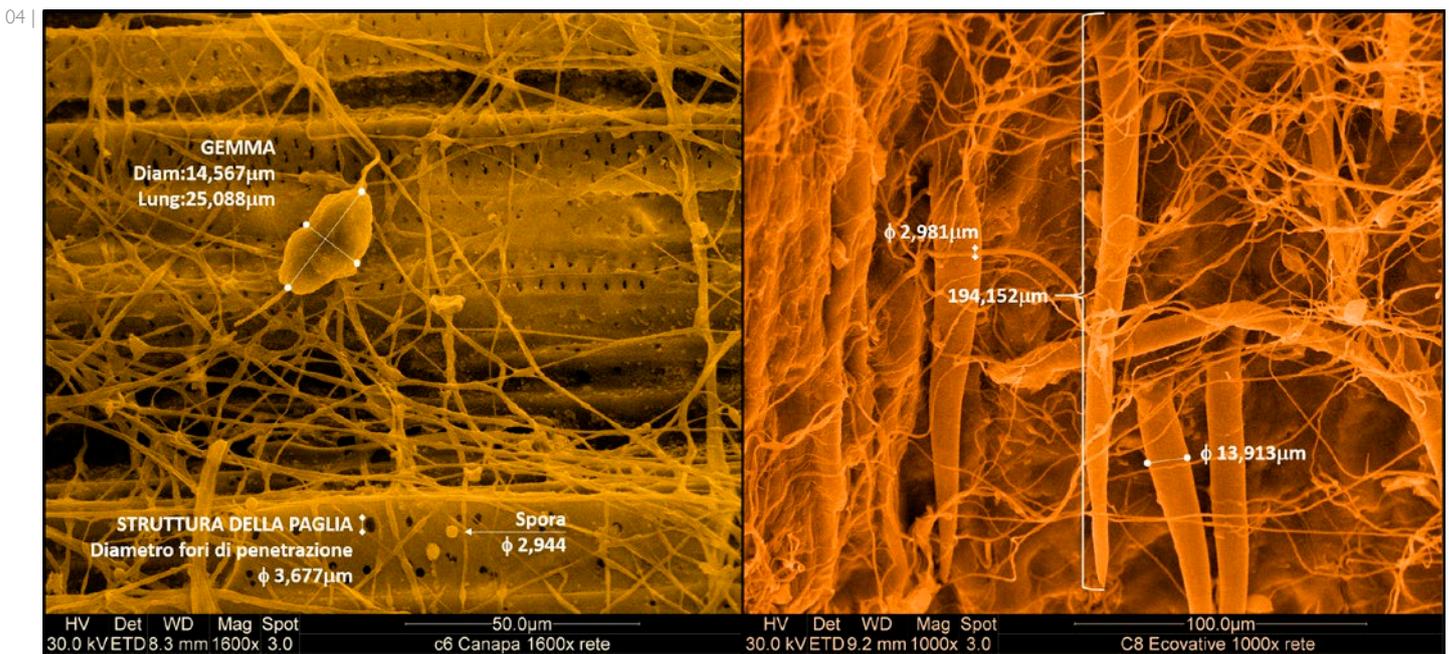
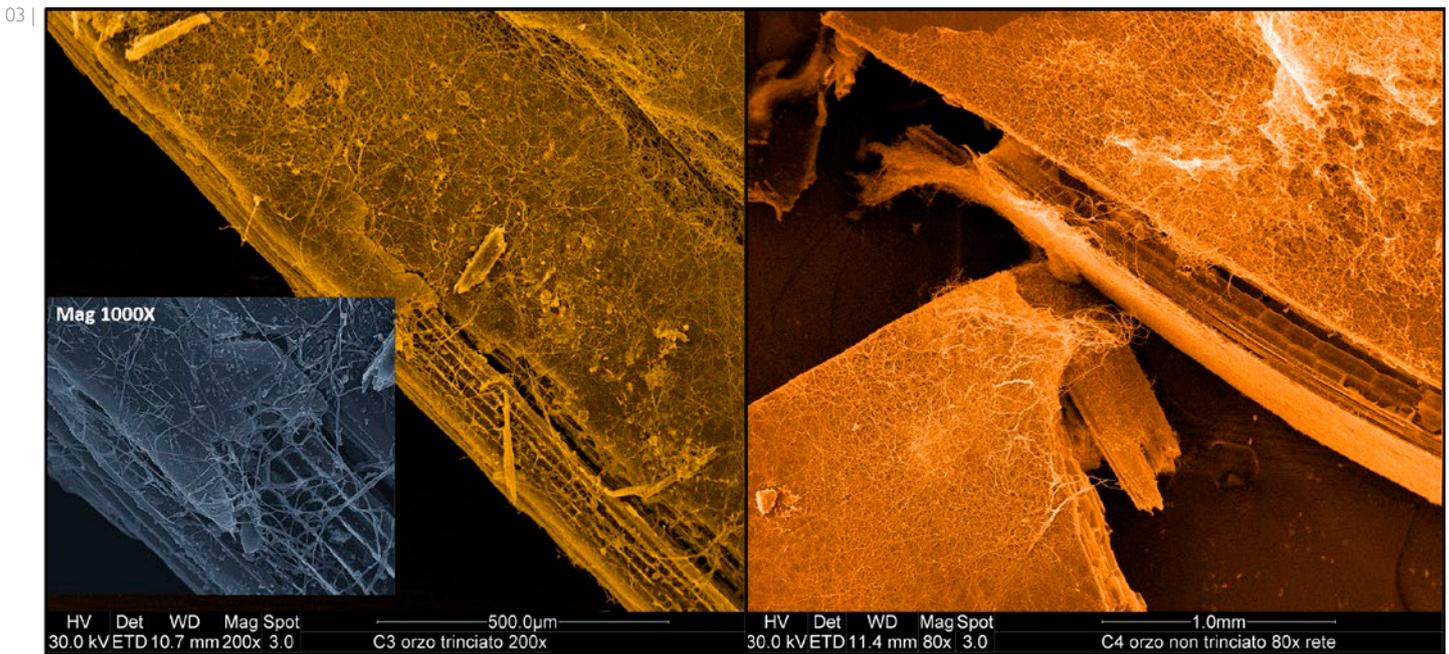
However, in order to define a really ecological and co-evolutionary design paradigm, it has been interesting to understand how to colonize mycelia, the real architects of the supporting structure of the grown materials. For such an aim, the samples have been observed with a scanning electron microscope.

Fragments, representative of the mother structure, have been randomly collected in number of eight³ from the original matrix of the samples. The samples have been collected in 1-ml VIAL and treated in 4% Osmium for 2h 200 ml, then 2 washes have been performed in PBS pH 7.4 200 ml with a 25 min duration. Then, the samples have been subjected to an increasing alcohol dehydration from 30 to 95% for 25 min each and repeated for 20 min at 95%. Finally, the samples have been sputtered in gold with sputter

coater AGB 7366 and, thus obtained, they have been visualized using a FEI Quanta 250 FEG SEM⁴.

It has been shown that the mycelium has colonized the chopped more than the unchopped wheat, since the former has offered more penetration points to the hyphae (Fig. 2). In the unchopped wheat the hyphae have colonized only the outer layer of the cannula, apparently leaving the inner layer free (Fig. 7). Also the method of growth has been different, as the hyphae have hooked the chopped straws and the spores have proliferated numerous because they have found less resistance (Fig. 8).

In the barley, colonization has been more regular due to the external trabeculation of continuous channels. The spatial organization of hyphae and spores have revealed to be very well organized: the hyphae have been pen-

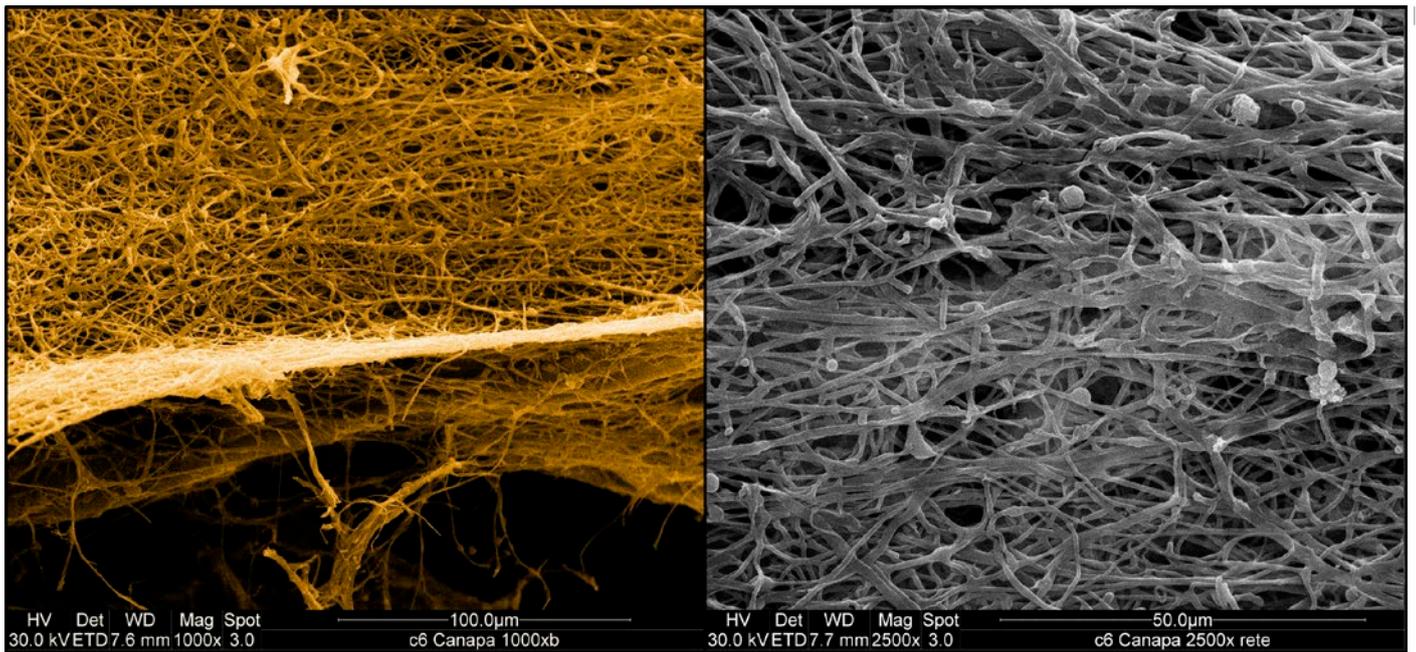


etrated in the externally smooth structure through the cuts of the shredding and the spores have colonized only the outer surface. In this case, not having a lot of entry points, it was necessary for the hyphae to create a greater chance of colonization sporulating with more continuity: the hyphae network has, therefore, penetrated into the channels and has budded. In the unchopped barley the same ordered structure of hyphae and spores has been found, but

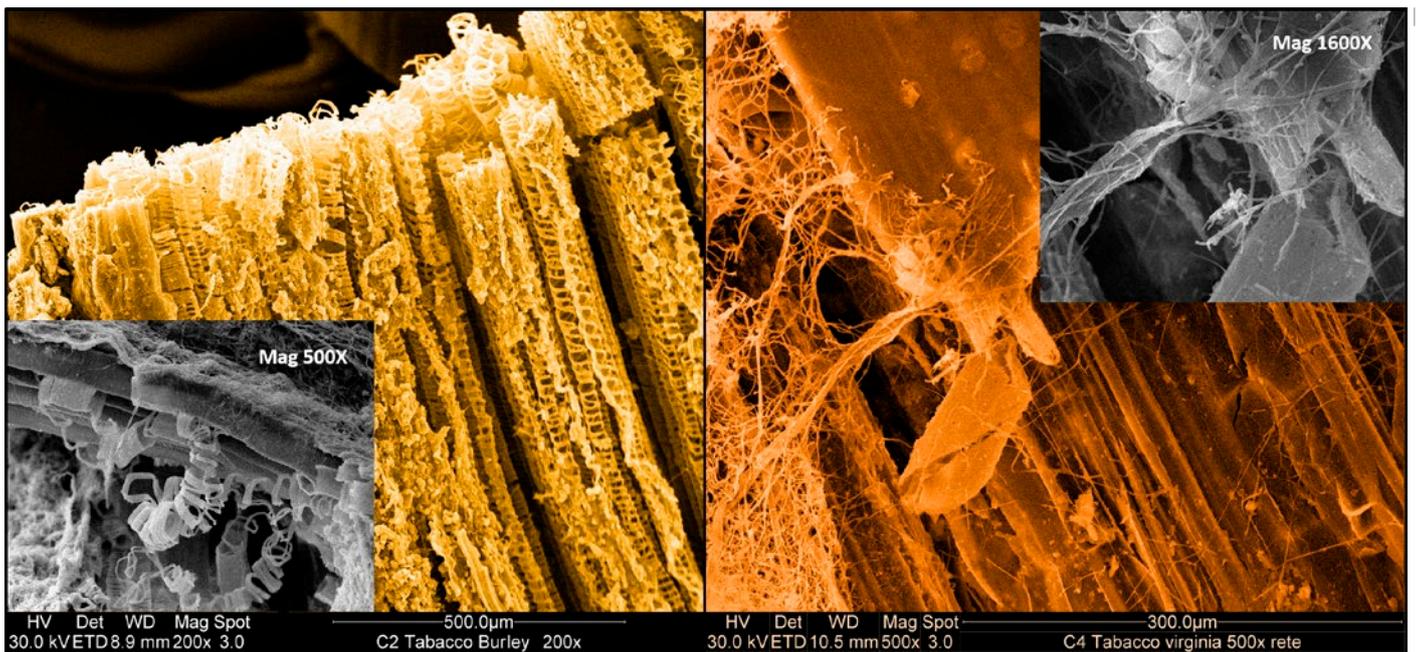
fewer entry points have meant that the hyphae have penetrated mainly in the external channels, not and/or little interested in the innermost ones (Fig. 3). In the hemp, the link among the various wooden elements has revealed to be, however, very structured and evident and (Fig. 4) with a proliferation trend which is clearly appeared predominantly unidirectional (Fig. 5); probably the cultivation time has been longer than it was necessary, since

there are many spores in addition to the dense network of hyphae. Probably, even the drying process, made in oven and not in autoclave, has caused an excessive sporulation in all the samples of grown materials. The autoclaving process, in fact, blocking proliferation at a vegetative stage, avoids sporulation. The Barley tobacco structure appears very different, presenting a series of spirally organized channels, on which

the hyphae proliferate with few spores. Colonization occurs upper, little affecting the internal spaces of the spirals (Fig. 6). Finally, the Virginia tobacco has a more properly wooden structure and hyphae proliferate with spores, but with a less branched and a more walked trend, creating a ligature structure similar to vine shoots. The scanning electron microscope analysis has practically highlighted



| 05



| 06

that the growth of hyphae depends not only on the proliferative environment and on the temperature and humidity conditions at the boundary (invariant characteristics for all the samples in cultivation), but on the morphology and nature of the vegetable support and in all the samples, it is extremely evident the strongly adaptive behaviour of the mycelium. The value of this experimentation consists, therefore, in understanding the

bio-evolutive dynamics of the living raw materials in order to design, with biological awareness, the components of the “mesh” up to connect, combine, “cultivate”, weave the bio-textures to form surfaces and volumes that can be parameterised according to the different performance requirements, with functions and performance characteristics for the construction sector. The “grown materials” grow on the basis of an appropriate combination between

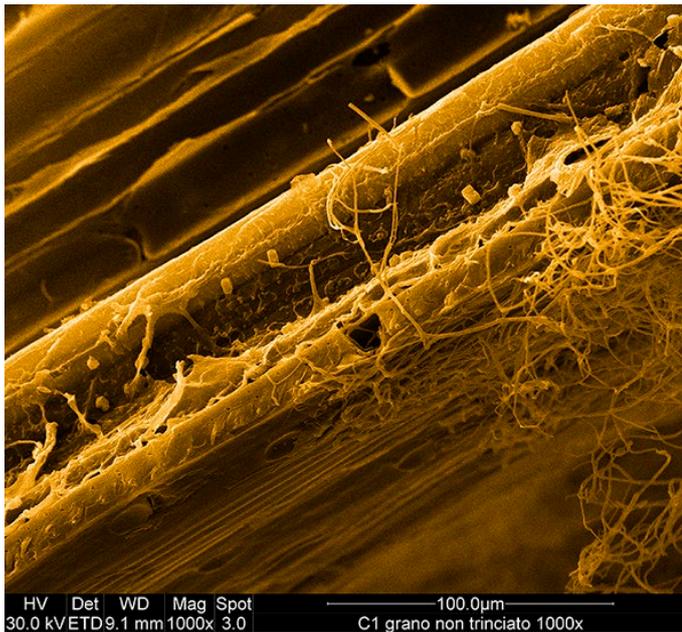
the intrinsic properties of biotic materials and the external environmental connections (mainly temperature and relative humidity) that determine its potential qualities, fixing not only the most general parameters concerning the mechanical behaviour, (hardness/softness, stiffness/elasticity, flexibility/deformability) and the environmental impact (Energy and Carbon footprint), but also the spatial rendering and the perceptive effect⁵, a non-negligible

component in the era of communication and visual expressiveness of architecture.

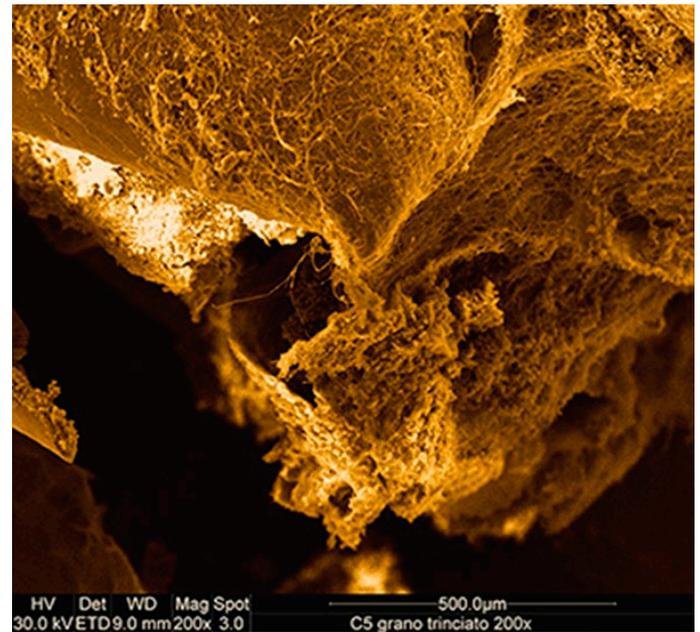
Critical analysis of the achieved results

The results of the experimentation have registered a highly adaptive response of the final materials, fully responsive to the Regenerative Design approach (buildings in harmony with the natural life-cycle and with a very

07 | Proliferazione esterna dei miceli su C.1 grano non trinciato – i miceli sono riusciti a permeare solo nello strato più esterno della cannula; lo strato interno appare libero da ife
External proliferation of mycelia on C.1 unchopped wheat – mycelia have managed to permeate only in the outermost layer of the cannula; the inner layer seems to be free from hyphae



08 | Proliferazione su campione C5 Grano trinciato
Proliferation on the sample C.5 chopped wheat



lettica tra natura/ambiente/benessere ed essere umano (Birkeland, 2002).

Analizzando l'impatto ambientale di tutto il processo, l'Impronta di Carbonio è risultata trascurabile. Infatti, le emissioni di CO₂ sono state stimate pari a 31 Kg/m³ e il consumo di energia pari a 652 MJ⁶, valori estremamente significativi se confrontati con l'energia necessaria per la produzione dei materiali da costruzione tradizionali, i cui valori di Embodied Energy e Embodied Carbon sono riportati nel database "Inventory of Carbon & Energy" (ICE) dell'Università di Bath nel Regno Unito (Hammond e Jones, 2008).

Si tratta, dunque, di un processo estremamente eco-compatibile e resiliente, a matrice più che rinnovabile, in grado di esercitare in

low ecological footprint - Reed, 2008, Attia, 2018) and of eco-social Design, which emphasizes the recovered dialectical connection among nature/environment/ wellness and human being (Birkeland, 2002).

By analyzing the environmental impact of the whole process, the Carbon Footprint has revealed to be negligible. The CO₂ emissions, in fact, have been estimated to be equal to 31 Kg/m³ and the energy consumption equal to 652 MJ⁶, extremely significant values when compared to the energy required for the production of traditional building materials, whose values of Embodied Energy and Embodied Carbon are reported in the database "Inventory of Carbon & Energy" (ICE) of the University of Bath in the United Kingdom (Hammond and Jones, 2008).

It is, therefore, an extremely eco-friendly and resilient process, with a

more than renewable matrix, able to make a meaningful conceptual breakthrough as well as a market success, in the production of natural materials for buildings, and not only, in the nearest future. From the performance point of view, the evaluation of the technical parameters of the panels produced (standardized with the characteristic parameters of the building elements foreseen by the Decrees DD.MM. 26/06/2015) has allowed to underline the added value of the regenerative approach of the bio-based insulating materials, comparing them with two other examples of insulating materials: cork and EPS, evaluating them with the Performances/Environmental costs parameter and comparing them on the basis of four categories of indicators derived from the ISO 21929-1: 2011 standard, divided into functional phases: 1. Production; 2. Construction;

un prossimo futuro una significativa svolta concettuale oltre che di mercato, nella produzione di materiali naturali per le costruzioni ... e non solo. Dal punto di vista prestazionale, la valutazione dei parametri tecnici dei pannelli prodotti (in linea con i parametri caratteristici degli elementi edilizi previsti dai DD.MM. 26/06/2015) ha permesso di sottolineare il valore aggiunto dell'approccio rigenerativo dei materiali isolanti a base biologica, confrontandoli con altri due esempi di materiali isolanti: sughero ed EPS, valutandoli con il parametro Prestazioni/Costi ambientali e confrontandoli in base a quattro categorie di indicatori dedotti dalla norma ISO 21929-1: 2011, articolate in fasi funzionali: 1. Produzione; 2. Costruzione; 3. Esercizio; 4. Fine vita.

3. Operation; 4. End of life.

This experimentation connects traditional functions and innovative performances. So will synthetic biology design and build new materials, systems and living components made up of algae, fungi and bacteria? Certainly, new scenarios are set up, which appear utopian to the most at the moment, but which are fueled by the engine of innovation and supported by the principle of "Environmentally-friendly Behaviour".

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to: S. Del Prete - Service Biotech srl - for collaboration in preparing the samples and analyzing them with the scanning microscope; the VALERE Program of the University of Campania "L. Vanvitelli" that assigns and disseminates open access research products.

NOTES

¹ Only as an example, it is shown that in quite all buildings built in Italy before the entry into force of the Law 373/76, the energy required in the operational phase (to meet the requirements under standard conditions for heating, cooling, illumination, ventilation and production of sanitary hot water) can be equal to – and in some case can even exceed – the energy consumption of the whole useful life of the building, for a period of 50 years (Campioli et al, 2010).

² The following values are indicated as reference parameters: expanded vermiculite = 0.070 W/mK; cork = 0.052W/mK; extruded polystyrene (XPS) in sheets = 0.040W/mK; polyurethane foam = 0.034 - 0.032W/mK.

³ In addition to the seven samples cultivated at DADI, a sample of Ecovative has been analyzed as a reference benchmark.

Questa sperimentazione mette in connessione funzioni tradizionali e prestazioni innovative. Sarà, dunque, la biologia sintetica a progettare e costruire nuovi materiali, sistemi e componenti viventi fatti di alghe, funghi e batteri? Certo, si configurano nuovi scenari, che al momento, ai più, appaiono utopici, ma che sono alimentati dal motore dell'innovazione e sostenuti dal principio del "Comportamento Ambientalmente Consapevole".

NOTE

¹ Solo a titolo di esempio è dimostrato che in quasi tutti gli edifici realizzati in Italia prima dell'entrata in vigore della Legge 373/76, l'energia necessaria nella fase operativa (per soddisfare il fabbisogno in condizioni standard per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria) può, in un periodo di 50 anni, eguagliare - e in alcuni casi superare - il consumo di energia dell'intera vita utile dell'edificio. (Campioli et al, 2010).

² Come parametri di riferimento si indicano i valori di: vermiculite espansa = 0,070 W/mK; sughero = 0,052W/mK; polistirolo estruso (XPS) in lastre = 0,040W/mK; poliuretano espanso = 0,034 - 0,032W/mK.

³ Oltre ai sette campioni coltivati presso il DADI è stato analizzato un campione di Ecovative, come benchmark di riferimento.

⁴ La preparazione dei campioni effettuata presso i laboratori della Service Biotech srl, e l'osservazione al microscopio elettronico sono ad opera del dott. Salvatore Del Prete. I parametri di settaggio sono stati: Work Distance (WD) pari a 10.0 mm e High Voltage (HV) pari a 30.0 kV.

⁵ Gli sviluppi futuri della ricerca sono fortemente orientati al settore del Green-Design.

Valori calcolati per l'Ecovative. Fonte: <https://www.slideshare.net/funk97/ecovative-mushroom-material> (accesso 5 Aprile 2018).

⁴ Sample preparation, carried out at Service Biotech srl laboratories, and observation with electronic microscope are by dott. Salvatore Del Prete. The setting parameters have been: Work Distance (WD) equal to 10.0 mm and High Voltage (HV) equal to 30.0 kV.

⁵ Future research developments are strongly oriented towards the Green-Design sector.

Values calculated for the Ecovative. Source: <https://www.slideshare.net/funk97/ecovative-mushroom-material> (accessed 5 April 2018).

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia: S. Del Prete - Service Biotech srl - per la collaborazione nel preparare i campioni e analizzarli con il microscopio a scansione; il Programma VALERE dell'Università della Campania "L. Vanvitelli" che assegna contributi per la pubblicazione e la diffusione di prodotti di ricerca ad accesso aperto.

REFERENCES

Attia, S. (2018), *Regenerative and Positive Impact Architecture*, SpringerBriefs in Energy Springer, Cham, CH.

Bresso, M. (1993), *Per un'economia ecologica*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, IT, pp. 43-58, 75-82.

Birkeland, J. (2002), *Design for Sustainability: A Sourcebook of Integrated Ecological Solutions*, Earthscan Publications Ltd, London, UK.

Campioli, A., Giurdanella, V. and Lavagna, M. (2010), "Energia per costruire, energia per abitare", *Costruire in laterizio*, n. 134/2010, pp. 60-65.

Crawford, R.H. (2011), *Life Cycle Assessment in the Built Environment*, Taylor and Francis, London, UK.

Hammond, G.P. and Jones, C.I. (2008), "Embodied energy and carbon in construction materials", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Energy* 161, May 2008 Issue EN2 pp. 87-98.

McDonough, W. and Braungart, M. (2010), *Cradle to cradle: remaking the way we make things*, MacMillan, London, UK.

Oxman, N. (2012), "Programming Matter: Architectural Design", *Special Issue: Material*

Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design, Vol. 82, No. 2, pp. 88-95.

Pearce, D.W., Turner, R.K. (1989), *Economia delle risorse naturali e dell'ambiente*, Il Mulino, Bologna.

Reed, B. (2009), *The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability*, John Wiley&Sons Ed., New Jersey, USA.

Steadman, P. (1988), *L'evoluzione del design. Analisi biologica in architettura e nelle arti applicate*, Liguori Editore, Naples.

Definizione di scenari materiali innovativi attraverso processi di digitalizzazione

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

sara.codarin@unife.it
marco.medici@unife.it

Sara Codarin, Marco Medici,
Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara, Italia

Abstract. L'apertura ai nuovi scenari offerti dalla sinergia tra digitalizzazione del processo edilizio e nuovi paradigmi di realizzazione di manufatti architettonici, così come l'affermarsi di tecnologie di produzione capaci di leggere dati digitali e riprodurre le caratteristiche spaziali (Gershenfeld, 2012), pone la necessità di indagare la ripercussione sul linguaggio architettonico mediante sperimentazioni tecniche e verifiche di applicabilità (Willmann et al., 2013). La presente ricerca si focalizza sulla ancora irrisolta dicotomia tra i fenomeni di industrializzazione delle componenti edilizie e di digitalizzazione dei processi, al fine di definire scenari futuribili nei quali le filiere progettuali (innovazione di processo) e produttive (innovazione di prodotto) possano collimare.

Parole chiave: Digitalizzazione; Industrializzazione; Progettazione parametrica; Additive layer manufacturing.

Introduzione e approccio metodologico

Il rallentamento degli investimenti nel settore costruzioni italiano, iniziato nel 2007, è sta-

to successivamente identificato come uno dei segni della crisi economica e finanziaria che, un anno dopo, avrebbe sconvolto il mercato globale. Ad oggi, gli investimenti nel settore della ristrutturazione ormai raggiungono e superano quelli per le nuove costruzioni. Nel 2015, la manutenzione straordinaria e la riqualificazione degli alloggi hanno rappresentato il 36,3% degli investimenti nel settore costruzioni, segnando così uno storico punto di svolta e diventando l'ambito di investimento trainante del settore¹. Tale scenario, creatosi in maniera inaspettata nel giro di un decennio, ancora fatica a trovare strumenti in risposta alle mutate esigenze del settore.

Da un lato, l'industrializzazione in ambito edilizio si è storicamente realizzata mediante la prefabbricazione dei componenti edilizi in risposta ad un mercato di nuova costruzione, mostrando oggi i propri limiti nell'adattabilità all'intervento caso per caso che il patrimonio esistente richiede.

Dall'altro lato, la quarta rivoluzione industriale è già stata delineata in molteplici settori, ponendo l'attenzione sui benefici che la digitalizzazione e l'IoT possono introdurre.

In ambito edilizio, tale digitalizzazione a livello di processo è più che mai espressa come una reale necessità dai professionisti della filiera al fine di interfacciarsi tramite un linguaggio comune, ridurre le incertezze e assicurare una maggiore consapevolezza nelle scelte progettuali. Il recente impegno normativo che ha portato al Nuovo Codice degli Appalti Pubblici² e alla ridefinizione della UNI 11337 – “Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”³, dimostra una volontà di declinare una digitalizzazione dei processi edilizi di stampo anglosassone, in uno strumento capace di essere efficacemente applicato al panorama nazionale.

Dal punto di vista metodologico, si è scelto di approfondire dapprima entrambi gli aspetti, in maniera parallela, al fine di fornire uno stato dell'arte utile alla comprensione delle strategie e degli strumenti necessari ad innescare un tentativo di risoluzione, seppur parziale, della dicotomia descritta. Infatti, lo sforzo rivolto alla classificazione e messa a sistema sia delle possibilità tecnologiche (materiali e digitali) che delle variabili di approccio progettuale, ha permesso di ipotizzare alcuni esperimenti, ad oggi ancora a scala laboratoriale (TRL4).

In tal senso gioca un ruolo significativo la possibilità di far dialogare i sistemi più evoluti di rilievo e modellazione tridimensionale con le recenti tecnologie di produzione additiva, o *Additive Layer Manufacturing*, nel cantiere di recupero.

Definition of innovative material scenarios through digitization processes

Abstract. The ongoing synergy between the digitization of the building process and new paradigms related to the production of architectural constructions and building elements, pave the way for the definition of new scenarios that are worth investigating. The recurring question, indeed, is how the most advanced digital techniques for material production can have a tangible impact on architecture and its morphological languages. In the field of building design, the chance to turn digital data into matter represents a key point to deal with, in order to demonstrate the possibility to transfer actual benefits from other sectors related to the construction industry.

Keywords: Digitization; Industrialization; Parametric design; Additive layer manufacturing.

Introduction and methodological approach

The slowdown in investments within the Italian construction sector, which began in 2007, was identified as a sign of the economic and financial crisis that would have disrupted the global market only one year later.

Today, investments in the building renovation field now reach and exceed those for new constructions. In 2015, unscheduled maintenance interventions and housing refurbishment accounted for 36,3% of the investments in the construction sector, marking a historic turning point and becoming the leading area of investment in the sector itself.

This scenario, created unexpectedly in a decade, struggles to find proper tools in response to the changing needs of the sector.

On the one hand, the industrialization in the building sector has historically

been achieved through the prefabrication of construction components in response to a market based on new constructions, now showing its limits in the field of intervention on existing buildings, which require a case-by-case approach.

On the other hand, the fourth industrial revolution has already been outlined in many sectors, focusing on the benefit that digitization and the internet of things (IoT) can introduce.

In the construction sector, the digitization of the process represents a need for those professionals that want to work with a common language, reduce uncertainties and increase awareness of design choices. The recent update of the legislation has led to the new Public Procurement Code², and to the UNI 11337 modification “Digital management of information processes for constructions”³. This has signified



L'industrializzazione edilizia per il cantiere di recupero

Ad oggi, i progetti sull'esistente vengono effettuati tramite sequenzialità artigianali e secondo tecniche consolidate che tuttavia risultano carenti di processualità aggiornate in grado di fornire maggiore controllo preventivo, precisione, replicabilità, assicurazione di risultato e misurabilità delle prestazioni. Prendendo a riferimento le innovazioni sviluppate in Italia negli anni settanta, orientate alla costruzione su grande scala di nuovi organismi edilizi attraverso la produzione di elementi standard, con le attuali tecnologie digitali è possibile applicare alcuni aspetti di industrializzazione della produzione di componenti edilizi nei progetti di recupero, senza che ciò venga associato ad una produzione necessariamente seriale e dunque incompatibile con il patrimonio esistente.

La conseguenza più evidente ed immediata sarebbe quella di una riduzione dei costi e di un aumento di efficacia ed affidabilità nel tempo del risultato costruttivo, in particolar modo di componenti speciali non standardizzati, le cui fase realizzative non sempre consentono una programmazione certa. Attualmente, gli aspetti legati all'industrializzazione in edilizia sono ancora legati alla produzione *fuori opera* (in stabilimento) di materiali, prodotti e tecnologie che risentono di un più elevato controllo di qualità e di prestazioni certificate. Ciò che ancora non si rileva, nel cantiere tradizionale, sono invece modelli perseguibili di *industrializzazione a pie' d'opera* e *in opera* per aumentare l'efficacia delle lavorazioni, che non facciano leva sulla replicabilità a larga scala, bensì sulla perfetta esecuzione di elementi discretizzati o pezzi unici (Calzolari et al., 2017).

the decision to adapt the Anglo-Saxon example of digitisation within building processes to an applicable tool in Italy. We have decided to analyse methodically both aspects in parallel in order to provide a comprehensive state of the art that can be useful for understanding the strategies and tools necessary to solve, even partially, the mentioned dichotomy. Indeed, our effort to classify and systematize both technological possibilities (material and digital) and the design approach variables, has allowed us to hypothesize some experiments, to date still at the lab environment (TRL4). To confirm this, the possibility to encourage a dialogue between three-dimensional survey and modelling systems with the most advanced Additive Layer Manufacturing machines, outlined by different technological and material alternatives, could play a significant role for further developments.

Industrialization of the restoration building site

Valorization and restoration interventions on the architectural Heritage refer to the so-called case-by-case approach. In accordance with its objectives and due to the lack of forecasting guidelines, architects make several decisions directly on site.

Today, projects on existing buildings are still realized through established techniques used by artisans, although these are not updated enough to provide a greater control in advance, precision, repeatability, guaranteed results, and performance measurability. Taking as an example the innovations developed in Italy in the 70s, focused on the large-scale construction of new standardized buildings, the most advanced digital technologies allow applying some aspects of the industrialization of building components pro-

La digitalizzazione del processo edilizio

Il flusso di lavoro digitale, soprattutto nel momento in cui prendiamo in esame rigenerazioni edilizie e progetti sul costruito, fino a toccare la scala urbana, si configura come una rappresentazione integrata, su tutta la filiera, in relazione alla necessità espressa dai diversi professionisti di interfacciarsi tramite un linguaggio comune (Medici, 2017). In particolar modo, prendendo in esame il ruolo della rappresentazione nell'analisi e nella documentazione degli *asset* edilizi esistenti, la dimensione digitale si pone come elemento di confronto con la realtà, intesa come sintesi di spazi, materiali e tecnologie, risultante da complessi processi di modificazione e stratificazione di un ambiente urbano.

Dal punto di vista della pratica professionale è possibile raggruppare la maggior parte degli strumenti digitali più avanzati disponibili sul mercato sotto il nome di Building Information Modelling (BIM). L'adozione di tali strumenti informativo-rappresentativi, infatti, non permette solo di condurre in modo trasparente le fasi progettuali al fine di realizzare elaborati tradizionali corretti dal punto di vista rappresentativo, ma si estende all'intero processo edilizio, mettendo in relazione elementi compositivi, tecnologici e strutturali con le fasi di costruzione e cantiere (BIM 4D), stima dei costi (BIM 5D), certificazione (BIM 6D) e gestione del ciclo di vita (BIM 7D + CAFM). Diviene così possibile effettuare ragionamenti sulla sostenibilità dell'opera ben più consapevoli ed approfonditi.

Il carattere informativo del modello diviene quindi preponderante rispetto all'aspetto geometrico, grazie alle possibilità offerte dalla standardizzazione delle componenti architettoniche. È infatti il dato informativo stesso che assume, in relazione alla

duction for restoration projects. This innovation effort must not be associated with a necessarily serial production, which would be incompatible with the existing constructions. The immediate consequence could be a reduction in costs and a greater reliability over time of the constructive result, especially of non-standardized components that do not allow a precise planning for their realization.

The aspects related to the industrialization in the building industry still refer to the off-site production (i.e. in a protected, safe and under controlled conditions environment) of materials, products and technologies that are subjected to a higher quality supervision. In the traditional building site, on site industrialisation is yet not evident, even though it could potentially help to increase the perfect execution of unique elements, not realizable

through mass production (Calzolari et al., 2017).

Digitization of the building process

Taking into account building renovations, architectural or urban interventions upon existing building stocks, the digital workflow can be described as an inclusive and integrated representation that meets the need of the professionals to communicate with a common language (Medici et al., 2017). In particular, if we consider the role of representation for the analysis of existing building stocks, the digital environment acts as an element of comparison with reality, which is intended as a synthesis of spaces, materials and technologies, resulting from complex modification and stratification processes of an urban fabric. It is possible to group the most advanced digital tools (commercially

Diagram of the “size” of the building process that can be managed during the life cycle of a building through the implementation of BIM tools and methods - original graphic reworking. Credits: Marco Medici

dimensione nella quale è interpretato, il valore di parametro progettuale (Dore e Murphy, 2014).

Bridging the gap: l’impiego di soluzioni ALM

Benché le metodologie e le tecnologie BIM siano state sviluppate per soddisfare i requisiti per i nuovi edifici, la ricerca a livello nazionale sul tema BIM è incentrata su come rendere queste tecnologie conformi a un panorama diffuso di edifici esistenti. Trasformare il dato digitale in materia diviene infatti la principale sfida alla quale dare risposta al fine di dimostrare quali reali benefici sia possibile trasporre da settori affini. I più aggiornati processi di realizzazione e produzione di componenti, progressivamente in fase di messa a punto, ad oggi sono già in grado di leggere i dati digitali e riprodurne il layout geometrico nello spazio tridimensionale.

Esistono diverse soluzioni di automazioni innovative del cantiere contemporaneo (Bock e Thomas, 2016), tra cui bracci meccanici programmati per movimentare i materiali da costruzione (*brick layering*), componenti robotiche in grado di mettere in forma pannelli da adattare al volume dell’edificio (*forming robots*) o macchine che funzionano per fresatura (CNC) o taglio a filo (*wire-cutting*) e quindi per sottrazione di materiale dall’elemento monolitico di partenza.

Nel 2006, gli architetti e ricercatori F. Gramazio e M. Kohler (Wangler et al., 2016), presso l’ETH di Zurigo hanno applicato per la prima volta, secondo una procedura *fuori opera* ma che si prevede possa venire attuata direttamente *in opera*, la così definita tecnologia di *brick layering*, per la realizzazione dell’involucro di un edificio di nuova costruzione (ampliamento della cantina *Gantenbein*). Il braccio robotico utilizzato per la sperimenta-

available, intended for the design and management of the functionalities of a building), under the definition of Building Information Modelling (BIM).

The adoption of these informative-representative tools allows:

- carrying out transparently the design phases in order to produce conventional graphic works that are correct in terms of representation;
- relating architectural composition, technology, and structure within the whole construction process (BIM 4D), estimation of costs (BIM 5D), certification (BIM 6D), and life-cycle management (BIM 7D + CAFM).

These possibilities allow evaluating in advance and more carefully the sustainability of the works.

Thanks to the possibilities deriving from the standardization of architec-

tural components, the informative character of the digital model significantly outweighs the geometric aspect. The informative data itself, indeed, acquires the value of design parameter, based on the dimension in which it is interpreted (Dore and Murphy, 2014).

Bridging the gap: the use of ALM

Although BIM methodologies have been developed to meet the requirements for new constructions, the ongoing national research on the theme focuses on how to apply these technologies to a widespread panorama of existing buildings.

Turning digital data into matter becomes the main challenge to be undertaken in order to find possible benefits to be transferred from related sectors. The most advanced systems for the production of building elements, currently under development, are able to



zione è stato programmato per spostare e posare all’interno di un modulo prefabbricato singoli mattoni in posizione variabile rispetto alla verticale, generando una dinamica di facciata – funzionale ai fini del controllo solare interno – difficilmente realizzabile con tecniche tradizionali.

Fra i sistemi di automazione di cantiere, le ricerche fino ad oggi svolte nell’ambito di questi processi evoluti hanno approfondito il *large-scale Additive Layer Manufacturing*, ovvero una metodologia costruttiva in grado di sostenere il salto di scala dall’oggetto di design al componente edilizio (Lipson e Kurman, 2013) che consente di generare volumetrie tramite la sovrapposizione (addizione) di *layer* consecutivi di apposite miscele fino alla definizione del prototipo finale, precedentemente modellato in digitale. All’interno delle strumentazioni di ALM, il funzionamento si sviluppa per deposito (*powder bed deposition* o *3D printing*) o per estrusione a freddo (*cold extrusion* o *3D plotting*) a seconda della geometria finale che si intende definire.

I sistemi che funzionano per deposito consistono nel rilascio tramite ugelli di strati alternati di un materiale di base (general-

read digital data and reproduce the deriving geometric layout in the real three-dimensional space.

There are several innovative automation tools of the contemporary building site (Bock and Linner, 2016), including: mechanical arms programmed to move building materials (*brick layering*), robotic arms to re-shape metal panels (*forming robots*), milling machines (CNC) to subtract material from a monolithic element, and wire-cutting technologies.

In 2006, the architects and researchers F. Gramazio and M. Kohler (Wangler et al., 2016), founders of the Architectural Robotic Laboratory at the ETH in Zurich, applied off-site (but in the future, it is expected to be implemented directly on site) the so-called brick layering technology for the construction of a new building (expansion of the *Gantenbein* winery). The robotic

arm used for the experimentation was able to move and lay one brick at a time inside a prefabricated frame in apparently random positions -functional instead for internal the bioclimatic control in both summer and winter- generating a façade dynamism difficult to achieve by using traditional techniques.

Among the building site automation systems, the present study aims at deepening the large-scale Additive Layer Manufacturing, which is a construction technology able to create volumes at any scale, from the design object to the building component (Lipson and Kurman, 2013). These systems work through the consecutive overlapping (addition) of material layers up to the definition of the expected result, previously digitally modelled.

Often times, the term ALM is mistaken for 3D printing, which is instead a

mente sabbia o gesso) e un legante inorganico, ove si intende far solidificare l'inerte. Essi consentono di generare volumi monolitici in forme libere (Kestelier, 2011), su qualsiasi asse.

Attraverso l'uso di questa tecnologia, nel 2007 l'azienda italiana *D-shape*, in collaborazione con *Shiro Studio*, ha realizzato *Radiolaria* (Morgante, 2011), il primo prototipo di dimensione paragonabile a quella di un'opera edilizia, progettato attraverso la definizione di regole algoritmiche che si rifanno alle forme tipiche dei radiolari da cui trarre esempio per l'ottimizzazione morfologica e della performance statica della struttura unicellulare che li costituisce. L'osservazione a scala ravvicinata della natura ha portato, in questo caso, ad adottare come tecnologia costruttiva il procedimento di ALM in quanto consente di depositare strati di materiale in modo additivo solo dove indispensabile, a imitazione dei processi tipici di formazione degli elementi biologici (Menges, 2012).

Nel caso dell'estrusione, le stampanti sono dotate di un dispositivo progettato per depositare strati sovrapposti di impasto vi-

soso (spesso a base di terra cruda o conglomerati cementizi) in grado di solidificare in tempi rapidi, riservando tuttavia delle limitazioni volumetriche sull'output di stampa, che deve essere generato seguendo l'asse verticale.

In questo caso, la tecnologia di ALM permette di elaborare, tramite procedimento a umido, prodotti di stampa con una semplificazione delle logistiche di cantiere che prevede l'eliminazione di casseri per il getto e di lunghi tempi di presa e maturazione.

Un esempio di realizzazione si è ottenuto presso i laboratori dell'*Institute of Advanced Architecture of Catalonia (IAAC)*, con il progetto *Pylos*, per il quale si è prevista la realizzazione di moduli di parete in terra cruda progettati per resistere a sforzi di compressione consistenti (Dubor et al., 2018).

Gli impasti adatti per essere estrusi, a seconda delle ambizioni progettuali, possono essere a base di terra cruda (*Shamballa Village*, Wasproject)⁴, polimeri plastici (*Mataerial*, IAAC)⁵, o calcestruzzo (*Yhnova*, Università di Nantes)⁶.

Questa tecnologia, in particolare, concordemente ai modelli di



04 | Radiolaria, il primo prototipo di dimensione paragonabile a quella di un manufatto edilizio, stampato in 3D da Dshape in collaborazione con Shiro Studio. Crediti: Shiro Studio
Radiolaria, the first large-scale 3D printed prototype, designed by Shiro Studio and realized with Dshape technology. Credits: Shiro Studio

05 | Stampante 3D sperimentata allo IAAC per l'estrusione di layer sovrapposti di terra cruda. Crediti: Sofoklis Giannakopoulos
Experimentation performed at IAAC for the realization of building elements made of raw soil through a 3D plotting process. Credits: Sofoklis Giannakopoulos

04 |



05 |



subset. The ALM tools are mainly two: powder-bed deposition (3D printing), and cold extrusion (3D plotting), to be used differently according to design requirements. 3D printing systems use nozzles to deposit alternating layers of a base material (usually a thin inert, such as sand or gypsum) and an inorganic binder, used to solidify the inert. This technology is

able to create free-form monolithic volumes, without geometrical limitations on any axis (Kestelier, 2011). A tangible outcome realized, in 2007, through powder-bed deposition can be identified in Radiolaria, the first large-scale prototype resulting from a shared work of the Italian company D-shape and the design firm Shiro Studio (Morgante, 2011). The shapes of radiolaria inspired

the volume. They provide, indeed, an example of morphological and structural optimization, whose biological principles were systematized through the definition of digital mathematical algorithms. The close observation of nature, in this case, is in complete accordance with ALM construction processes, which consist of the deposition of material only if indispensable,

by replicating artificially the typical formation processes of biological elements (Menges, 2012). 3D plotting consists of an extruder programmed to deposit overlapping layers of a viscous mixture (raw soil or concrete) that solidifies rapidly. However, the mechanism can produce a limited range of shapes, as long as every output must be generated fol-

Synoptic overview of the different intervention models in relation to the technical complexities solved in the traditional project that require a preliminary analysis for the implementation of ALM technologies. Credits: Sara Codarin

business circolari, permette di sperimentare l'impiego di materiali di recupero attraverso la macinazione degli scarti di cantiere.

Risultati preliminari raggiunti: come sperimentare l'ALM sul cantiere di recupero

Gli esempi fin qui portati hanno messo in luce come sia necessario indirizzare le ricerche future verso la dimostrazione che tali approcci tecnologici necessitano di essere declinati nell'ambito del cantiere di recupero.

Grazie al confronto su tavoli di ricerca internazionali e con particolare riferimento alla comunità scientifica nord-europea, è stato possibile dimostrare come i temi dell'automazione di cantiere sulla base del progetto digitale rappresentino una delle più importanti frontiere di questo ambito disciplinare⁷. Le tecniche avanzate di posizionamento in esterno o interno, così come le logiche di controllo automatico dei macchinari di cantiere, necessitano di un adeguamento procedurale in funzione del rapporto con la preesistenza. Si pone quindi la necessità di comprendere come le tecnologie di ALM siano declinabili al fine di garantire il rispetto del manufatto esistente e la possibilità del progettista di rispondere in maniera coerente rispetto al linguaggio architettonico. A tal fine, all'interno della presente ricerca, sono stati analizzati ed elaborati differenti approcci di intervento attraverso i quali è stato possibile dedurre aspetti tecnologici irrisolti, come mostrato nel seguente schema.

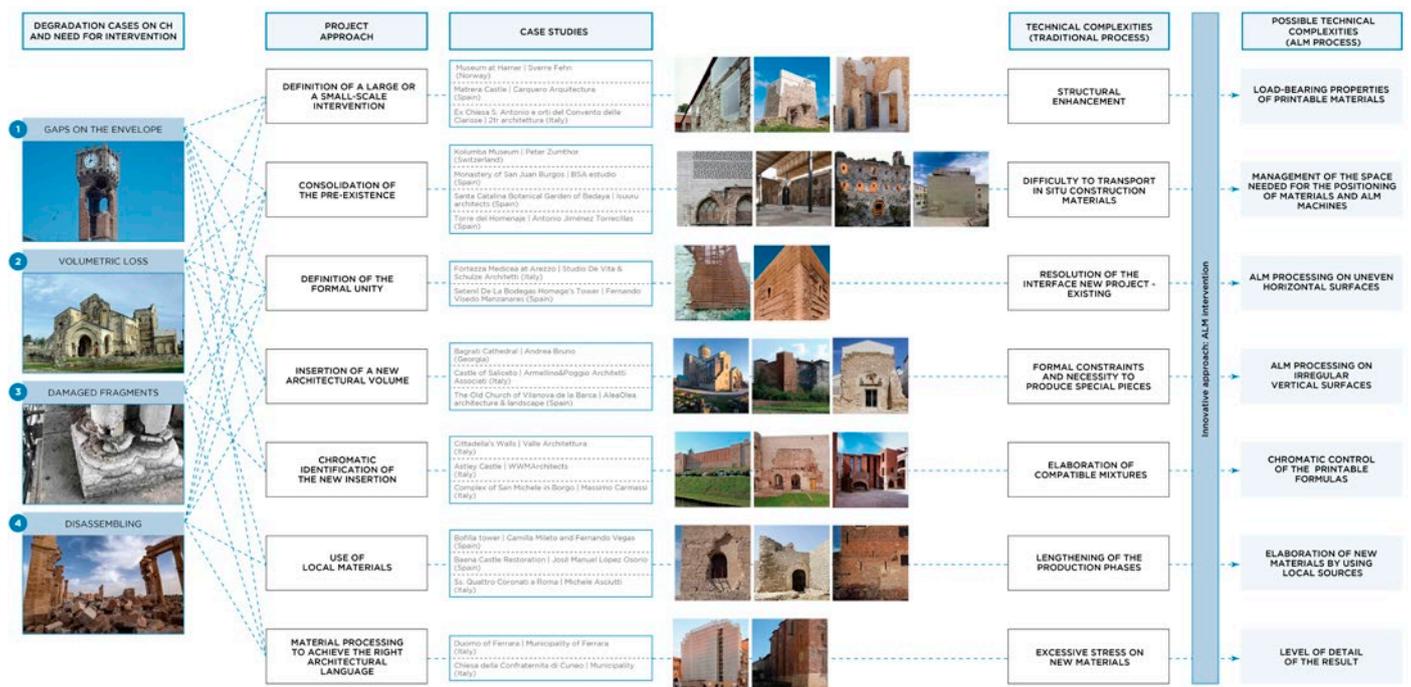
Primo fra tutti, emerge il limite che, indipendentemente dalla

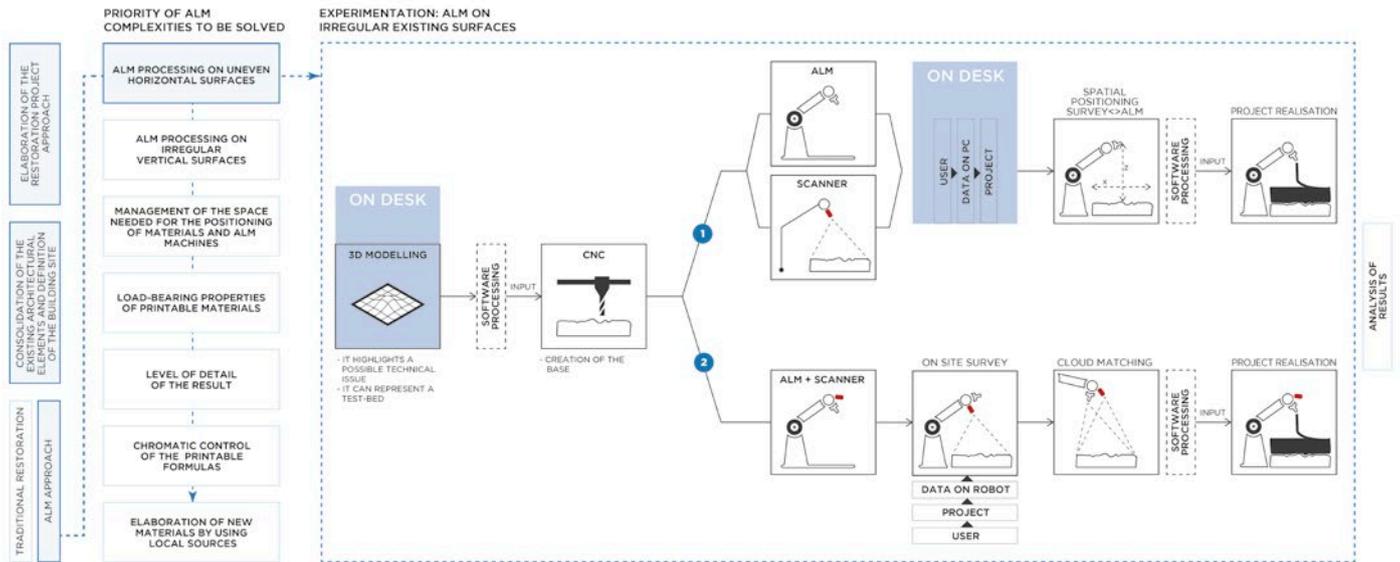
tecnologia di produzione additiva impiegata, il deposito di materiale avviene su un piano orizzontale livellato. Lavorare sull'esistente richiede invece maggiori gradi di libertà, sia in termini di superfici di partenza irregolari e con differenti inclinazioni, che di adeguamento del progetto durante le fasi di cantiere. Al fine di raggiungere la dimostrazione di applicabilità in laboratorio, è attualmente in fase di progettazione uno specifico strumento (TRL3), composto da un braccio robotico sul quale saranno installati differenti sistemi di estrusori congiuntamente ai quali si prevede l'inserimento di un sensore LiDAR⁸, fornendo così la possibilità simultanea di deposito materiale e acquisizione geometrica tridimensionale. Tale strumento potrà permettere da un lato di verificare in ambiente controllato (TRL4) procedure e metodi per il deposito di materiale su superfici non livellate, così come contribuire ad incrementare il livello di documentazione digitale dell'intervento sull'esistente, garantendo la possibilità di adeguamento progettuale in cantiere e aprendo a possibili scenari di industrializzazione a *pie' d'opera* e *in opera*.

Conclusioni e sviluppi futuri: la definizione di un nuovo linguaggio architettonico

Nell'apertura ai nuovi scenari offerti dalla sinergia tra digitalizzazione del processo edilizio e nuovi paradigmi di produzione di manufatti architettonici e

componenti edilizi, la scelta delle logiche di intervento, della materia impiegata e della strumentazione con cui generarla ed ap-





picarla diviene pertanto diretta dipendenza del linguaggio espressivo adottato, nel superamento di due aspetti cardine che hanno da sempre caratterizzato progettazione edilizia. Da un lato si assiste al superamento del concetto tradizionale di rappresentazione tridimensionale per modelli intesa come semplificazione ed astrazione del reale. Il modello digitale del costruito fino ad oggi concepito come una rappresentazione fisica, una simulazione, effettuata tramite software, viene superato. Il modello diviene qui invece un contributo di conoscenza

sull'edificio. Tale processo arricchisce la nostra esperienza, fino a «fornirci più esperienza di quella che noi avremmo potuto raccogliere, senza la mediazione dell'immaginale, in un rapporto, diciamo, empirico con la realtà» (Maldonado, 1992). Il modello di costruzione dell'edificio, nel trasferimento direttamente in cantiere della produzione materica su base digitale, diviene esso stesso materia. Dall'altro lato, si assiste al superamento del concetto di standardizzazione, derivante da una produzione *off-site*. Nell'accorciamento

lowing tightly the vertical axis. In this particular case, cold-extrusion systems can create three-dimensional volumes through a "wet" process with a simplification of the building site logistics. Casting formworks, indeed, are no longer required. To make an example, Pylos project, developed at the laboratories of the Institute of Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), has led to the realization of raw soil wall modules, designed to support consistent compressive stresses (Dubor et al., 2018). Depending on the design language to be achieved, the mixtures suitable to be extruded by using a 3D plotter can be based on raw soil (Shamballa Village, Wasproject)⁴, plastic polymers (Mataerial, IAAC)⁵, or concrete (Yhnova, University of Nantes)⁶. In particular, Additive Layer Manufacturing, in accordance with circular business models aimed at re-

ducing resources consumption and introducing recycled components into new commercial products, opens the door to the use of construction waste, grinded in controlled percentages inside the mixtures.

Preliminary achieved results: how to test ALM technologies on the restoration building site

The examples so far brought in support of this dissertation have highlighted the need to point future research towards the demonstration that should be declined within the frame of the restoration building site. The ongoing debate among international research groups (in particular within the North-European scientific community), came across the idea that the automation of the building site based on a digital project represents one of the most important frontiers in this field⁷.

The relation with the pre-existence requires understanding how ALM technologies can be used to guarantee on the one hand the respect of the existing building and on the other the possibility for the designer to respond coherently to the architectural language. For this purpose, within the present research, we have analyzed and elaborated different intervention models that allowed us to deduce unresolved technological aspects, as shown in the diagram. First, independently of the additive manufacturing technology used, the limit that the deposit of material takes place on a flat horizontal surface emerges. Working on existing buildings requires instead a greater degree of freedom, in terms of irregular surface and various slopes to which interface the project during construction phases. In order to demonstrate the lab applicability, a specific tool (TRL3) is

currently being designed, composed of a robotic arm on which different extruders will be installed, together with the insertion of a LiDAR sensor⁸, thus providing the simultaneous possibility of material deposit and three-dimensional geometric acquisition. This tool will allow to verify in a controlled environment (TRL4) procedures and methods for the deposit of material on uneven surfaces, as well as contributing to increase the level of digital documentation of the intervention on the pre-existence, ensuring the possibility of on site design adaptation opening possible scenarios of on-site industrialization.

Conclusions and future developments: the definition of a new architectural language

The definition of new scenarios as a result of the synergy between the digiti-

della filiera del cantiere, la necessità di produrre componentistica fuori opera in maniera industrializzata perde in parte di significato nella misura in cui i vantaggi offerti dalla produzione *in opera* rendono possibile andare oltre le logiche di approvvigionamento del cantiere. Allo stesso tempo rimane la coerenza di poter garantire gli standard qualitativi e prestazionali introdotti negli ultimi anni, capaci di innalzare la qualità media delle nuove costruzioni. La riproposizione di sistemi di certificazione in questo scenario risponde inoltre alla richiesta di soluzione del divario tra prestazioni dei singoli componenti e dalla loro posa in opera. In tale ambito, è necessario introdurre il concetto di progettazione algoritmica (Tedeschi, 2014), che va oltre la progettazione parametrica aprendo inesplorati scenari di gestione della forma. Dal dato informativo come parametro progettuale computabile inserito in un ambiente digitale controllato e predefinito, si passa alla progettazione delle logiche con le quali le variabili stesse del progetto possono diventare materia. Sebbene oggi parlare di progettazione parametrica sembri essere sinonimo di Building Information Modeling, la volontà di trasporre in forma le relazioni tra differenti parametri emergeva già negli anni '60 grazie agli studi di Luigi Moretti (Mulazzani e Bucci, 2000) o si concretizzava nell'opera di Sergio Musmeci (Nicoletti, 1999). L'esplorazione di tali forme, raggiunte senza l'aiuto di un computer, può essere considerata il presupposto alla progettazione algoritmica odierna, nella quale l'attenzione è posta sulla progettazione dell'algoritmo capace di rispondere in maniera più corretta ai requisiti di progetto. La definizione di forme libere come risultato di tale processo (Gershenfeld, 1999) nell'esplorazione di linguaggi nuovi, diviene quindi attuabile nell'immediato grazie alla traduzione del dato digitale in materia.

zation of the building process and new paradigms for the production of building components needs to be widely investigated in the near future, to prevent the technique from prevailing over the critical approach.

The awareness of different aspects such as the most appropriate methodologies of intervention, the proper use of matter, and the suitable tools to create and install it, is a direct consequence of the adopted architectural language, which contribute to go beyond two key concepts that have always characterized building design.

On the one hand, we are witnessing the overcoming of the traditional concept of three-dimensional representation intended as simplification and abstraction of reality. The idea of a digital model of the built environment used to study certain situations is now obsolete. It can no longer be considered

simply a physical representation, a simulation, or a software output.

This discussion, instead, wants to define the three-dimensional model as a critical result of a creative-interpretive processing, which means a contribution of knowledge on a building. This process of knowledge enriches our experience, in order to «provide us with more experience of what we could collect, without the mediation of the imaginal, in a relation, let's say, empirical with reality» (Maldonado, 2005). The moment we assist to the transfer, directly on the building-site, of the material production on a digital basis, the three-dimensional construction model of a building becomes matter itself.

On the other hand, we are observing an update on the concept of standardization, typical of off-site production. If we are able to shorten the "building-site supply-chain", the need to produce

La rivoluzione portata dalla digitalizzazione si configura infatti come la leva per il superamento degli assetti procedurali che oggi ancora afferiscono a metodologie tradizionali ma che necessitano di una risposta coerente con le attuali innovazioni a livello sistemico.

NOTE

⁰ L'articolo, i cui proponenti sono dei ricercatori under 35, dopo aver superato la fase di accettazione dell'abstract e il successivo referaggio effettuato con modalità "double blind", ha ottenuto, da parte del Board di Techne, una valutazione meritevole per la pubblicazione con la logica No-Pay.

¹ Si veda: Osservatorio del Mercato Immobiliare, Agenzia delle Entrate, 2015.

² Si vedano la Legge n.11 del 28 gennaio 2016 e il Decreto Legislativo n.50 del 18 aprile 2016.

³ La norma UNI 11337:2017 tratta di gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni e, nello specifico, si occupa di evoluzione e sviluppo informativo rispettivamente di modelli, elaborati, oggetti e flussi informativi per prodotti e processi digitalizzati.

⁴ Si veda: <http://www.wasproject.it/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁵ Si veda: <https://iaac.net/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁶ Si veda: <http://batiprint3d.fr/> (sito visitato in data 9 Aprile 2018).

⁷ Si faccia riferimento al progetto Erasmus+BIM4PLACEMENT (2016-1-IT01-KA202-005399) all'interno del quale è stato possibile stabilire sinergie di sviluppo con le Università di Oulu (Finlandia) e Stavanger (Norvegia) volte al trasferimento di competenze per la digitalizzazione e l'automazione di cantiere.

⁸ Lo strumento in fase di progettazione è composto da un braccio robotico KUKA® sul quale è previsto l'inserimento di un sensore Velodyne LiDAR® VLP-16. Tale realizzazione sarà resa possibile grazie all'avvio di una collaborazione con il makeLab™ della Lawrence Technological University di Southfield (MI).

off-site industrialized components automatically fades, as long as the benefits offered by in-situ production allow us to go beyond the hitherto known building-site supply methods. At the same time, the importance of ensuring the high-performance standards introduced in recent years and capable of raising the average quality of new buildings, remains. In this scenario, the proposition of certification systems also responds to the need for a solution regarding the gap between the performance of individual components and their on-site installation.

Given the mentioned premises, it is necessary to introduce the concept of algorithmic design (Tedeschi, 2014), which goes beyond parametric design by opening unexplored scenarios for the management of architectural shapes. From informative data, as computable design parameters inte-

grated in a controlled and predefined digital environment, we move on to the elaboration of the variables that drive the project to become matter. Although today parametric design seems to be synonymous with Building Information Modelling, the attempt to turn the relation between different parameters into a shape emerged in the '60s thanks to the studies of Luigi Moretti (Mulazzani and Bucci, 2002) and the works of Sergio Musmeci (Nicoletti, 1999). The exploration of these shapes, achieved without any IT support, can be considered as the precursor of today's algorithmic design that focuses primarily on the definition of the algorithm rule capable of responding as well as possible to the project requirements, once given the input design variables. The elaboration of free-form shapes as a result of this process to explore new languages, in mimesis with

REFERENCES

- Bock, T. and Thomas, L. (2016), *Site Automation*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA.
- Calzolari, M., Codarin, S. and Davoli, P. (2017), “Innovative technologies for the recovery of the architectural heritage by 3D printing processes”, *Scienza e Beni Culturali*, Vol. 33, pp. 669-680.
- Dore, C. and Murphy, M. (2014), “Semi-automatic generation of as-built BIM facade geometry from laser and image data”, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 19, pp. 20-46.
- Dubor, A., Cabay, E. and Chronis, A. (2018), “Energy Efficient Design for 3D Printed Earth Architecture”, in de Rycke, K. et al. (eds.), *Humanizing Digital Reality*, Springer, pp. 383-393.
- Gershenfeld, N.A. (1999), *The nature of mathematical modeling*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA.
- Gershenfeld, N. (2012), “How to make almost anything: the digital fabrication revolution”, *Foreign Affairs*, Vol. 91, No. 6, pp. 43-57.
- Kestelier, X. (2011), “Design potential for large-scale additive fabrication”, in Glynn, R. and Sheil, B. (eds.), *Fabricate: Making Digital Architecture*, UCL press, London, UK, pp. 244-249.
- Lipson, H. and Kurman, M. (2013), *Fabricated: The new world of 3D printing*, John Wiley & Sons.
- Maldonado, T. (1992), *Reale e virtuale*, Feltrinelli Editore.
- Medici, M. (2017), “The digital workflow of the Smart Swap Building: validation of information-representation methods and tools for the housing renewal process innovation”, in Medici, M., Modugno, V. & Pracucci, A. (eds.), *How to face the scientific communication today. International challenge and digital technology impact on research outputs dissemination*, Vol. 42, Firenze University Press, Florence, pp. 179-192.
- Menges, A. (2012), “Biomimetic design processes in architecture: morphogenetic and evolutionary computational design”, *Bioinspiration & biomimetics*, Vol. 7.
- Morgante, A. (2011), “Radiolaria Pavilion”, in Glynn, R. and Sheil, B. (eds.), *Fabricate: Making Digital Architecture*, UCL press, London, UK, pp. 234-235.
- Mulazzani, M. and Bucci, F. (2000), *Luigi Moretti: opera e scritti*, Princeton Architectural Press, Princeton, USA.
- Nicoletti, M. (1999), *Sergio Musmeci: organicità di forme e forze nello spazio*, Testo & immagine.
- Tedeschi, A. (2014), *AAD, Algorithms-aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*, Le penseur publisher.
- Wangler, T. et al. (2016), “Digital concrete: opportunities and challenges”, *RILEM Technical Letters*, Vol. 1, pp. 67-75.
- Willmann, J., Gramazio, F., Kohler, M. and Langenberg, S. (2013), “Digital by Material”, in Brell-Çokcan S., Braumann J. (Eds.), *Rob | Arch 2012*, Springer.

natural processes (Gershenfeld, 1999), can therefore be implemented immediately thanks to the possibility to translate digital data into matter.

The examples used to support the present discussion, as well as the critical investigation on possible developments, highlight how it is necessary to direct future researches towards this field.

The revolution brought by digitization is in fact configured as the incentive for overcoming the procedures that still depend on traditional methods. They require, indeed, a response which is consistent with current systemic innovations.

NOTES

⁰ The paper, proposed by an under 35 researcher, has passed the acceptance phase of the abstract and consequently the “double blind review”, obtained, on

the part of the Techne Board, a positive evaluation for the publication with the No-Pay logic.

¹ For further information see: Osservatorio del Mercato Immobiliare, Agenzia delle Entrate, 2015

² See the Law (Delegation Law) No. 11 (28 January 2016) and the Legislative Decree No. 50 (18 April 2016).

³ The UNI 11337: 2017 standard (which modifies the previous 11337: 2009) focus on the digital management of data within the construction sector and, specifically, deals with the information aspect in the development of models, products, objects, and data flows for digitized processes.

⁴ For further information see: <http://www.wasproject.it/> (accessed: 9 April 2018).

⁵ For further information see: <https://iaac.net/> (accessed: 9 April 2018).

⁶ For further information see: <http://batiprint3d.fr/> (accessed: 9 April 2018).

⁷ For further information see the Erasmus+ BIM4PLACEMENT project (2016-1-IT01- KA202-005399), which allowed to create a synergy between the University of Oulu (Finland) and the University of Stavanger (Norway) aimed at the transfer of skills for the digitization and automation of construction sites.

⁸ The tool, which is currently at the design phase, consists of a KUKA® robotic arm equipped with a Velodyne LiDAR® VLP-16 sensor. This, is made possible thanks to a collaboration with the makeLab™ of the Lawrence Technological University in Southfield (MI).

Sperimentazione di materiali compositi con fibre vegetali per il settore costruttivo

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Ricerca avanzata (Under 35)

Giulia Savoja,

Dipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

giulia.savoja@unirc.it

Abstract. Il documento descrive il lavoro condotto nell'ambito del dottorato di ricerca in Ingegneria Civile dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, che si è concluso con la discussione della tesi dal titolo "Sperimentazione di lamine in materiale composito rinforzato con fibre vegetali per il settore costruttivo". Collocata nell'ambito dello studio dei materiali avanzati in edilizia, e nello specifico dei materiali compositi, la ricerca ha riguardato la progettazione e la caratterizzazione di lamine in NFRP, natural fibre reinforced polymers, mirando ad ottenere un materiale sostenibile dal punto di vista ambientale, economico e sociale, da applicare nel settore delle costruzioni. Particolare oggetto dello studio sono state materie prime bioderivate e relativi processi di produzione.

Parole chiave: Biocompositi; Fibre vegetali; Materiali avanzati; NFRP; Sviluppo sostenibile.

I materiali progettati

La progettazione dei materiali caratterizza ormai da diversi anni molti settori industriali. La capacità sviluppata dall'essere umano di controllare ad una scala sempre più di dettaglio quanto avviene all'interno della materia ha permesso di giungere alla possibilità di ottenere materiali avanzati, specificatamente progettati per un particolare scopo (Ashby, 2005). L'alto livello di controllo raggiunto in questo senso si è inevitabilmente legato alla sensibilità via via crescente dell'industria, della ricerca, ma anche della popolazione, nei confronti delle tematiche ambientali, cercando di coniugare soluzioni a basso impatto ambientale e di alto profilo tecnologico.

I materiali compositi rappresentano un caso emblematico all'interno di quest'ambito, giungendo finanche ad essere considerati come «la prima forma di materia progettata» (Antonini, 2008). Questi permettono l'elaborazione di un mixing specifico, la realizzazione di un componente tramite il processo produttivo più consona, la concentrazione dei rinforzi nei punti maggiormente sollecitati, ottenendone caratteristiche positive quali alte pre-

stazioni, basso peso, progettazione al minimo strutturale, alta manutenibilità (Russo, 2007). Di conseguenza, il mondo della ricerca ha sempre più partecipato alla diffusione ed allo sviluppo di questi materiali. In merito, si è conclusa recentemente la Cost Action 1207, Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction, in cui l'autrice è stata coinvolta come Action Participant, e che ha permesso la creazione di network tematici, divenuti grande fonte di scambio di informazioni ed esperienze. Ulteriore evoluzione dei compositi, recente ma molto indagata, è la loro versione bio, declinata nel caso della ricerca qui presentata come NFRP (Natural Fiber Reinforced Polymers) materiali costituiti da una matrice polimerica bioderivata e/o biodegradabile e da fibre di origine naturale. Nello specifico, la ricerca che si presenta mira all'individuazione di uno o più mescole per la realizzazione di componenti in biocomposito, da utilizzare in ambito edilizio. Lo studio di diverse tipologie di materie prime, l'individuazione di sistemi di produzione efficaci, il forte legame con il territorio e l'industria sono i punti cardine della ricerca, insieme con un forte carattere pluridisciplinare che, partendo dalla tecnologia dell'architettura, coinvolge l'ingegneria dei materiali, quella strutturale e la chimica, in una necessaria commistione di saperi e competenze.

I dati ottenuti vogliono contribuire all'accrescimento delle conoscenze relative ai biocompositi, dimostrando che è possibile da un lato riscoprire ed innovare materie prime locali e storicizzate, e dall'altro collocarsi all'interno di filiere produttive già esistenti, rivitalizzandole ed aumentandone il livello tecnologico e di sostenibilità.

Grazie alla nuova attenzione che viene posta nei confronti dell'impatto sull'ambiente dei materiali e del loro ciclo di vita,

Experimentation of
composites materials
reinforced with
vegetable fibres for the
construction sector

Abstract. This document describes a research project carried out in the Ph.D. course in Civil Engineering at Mediterranean University of Reggio Calabria. The project is part of a doctoral dissertation entitled "Experimentation of laminas in composites materials reinforced with vegetable fibres for the construction sector". The research is placed in a general context of studies on advanced materials in the architectural industry, and particularly on biocomposites. The project concerned the design and the characterization of laminas in NFRP, natural fibre reinforced polymers, and it aims to obtain an environmental, economic and social sustainable material. In particular, biobased raw materials and their production process have been subject of the study.

Keywords: Biocomposites; Vegetable fibres; Advanced materials; NFRP; Sustainable development.

Designed materials

Designing of materials is part of different industrial sectors yet. The human being's developed capacity to control the internal processes within the material, allowed to obtain advanced materials, which are specifically designed for a specific use (Ashby, 2005). The high level of this control is linked with the sensitivity of industry and research, and both of people, to environmental questions. In this sense, solutions with lower environmental impact and high technological profile are developed.

In this context, composites are emblematic, because they are considered «the first form of engineered matter» (Antonini, 2008). This kind of materials allow design of a specific mix ratio, realization of components with the most appropriate production process, concentration of reinforcements in critical points. They are characterized by high

performances, low weight, minimum structural, high maintainability (Russo, 2007). For all the above reasons, the research community participated to dissemination and development of these materials. In this sense, the author, has been part as Action Participant, of the Cost Action 1207, Next Generation Design Guidelines for Composites in Construction, recently closed and which allowed to create thematic networking, great source of experience and knowledge exchange.

Natural fibre reinforced polymers, or NFRP, are a recent development of composites, that are obtained using a biobased polymer matrix and/or biodegradable and natural fibres. The research aims to identify one or different mixings to realize a biocomposite to use in the architectural industry. The main thrusts of the research are: the study of different kinds of raw

il trend degli ultimi anni ha visto una riscoperta di queste fibre antiche, studiate e lavorate in modo da innovarne sia la produzione che l'utilizzo.

Se la canapa è stata tra le prime a suscitare un interesse di questo tipo, il lino si è imposto, negli ultimi anni, come fibra maggiormente performante in ambito meccanico (Reux e Verpoest, 2012). A questo fattore, sicuramente fondamentale per applicazioni tecnologicamente avanzate, si associa un'ampia coltivabilità dell'essenza, e le conseguenti implicazioni positive per i territori, che ci riportano ai concetti di responsabilità sociale e dovere dell'architettura professati da Rogers (Fairs, 2013).

L'ambito della ricerca: compositi e biocompositi nell'industria

La comparsa di materiali compositi ad alte prestazioni si osserva già dalla metà del secolo scorso in diversi velivoli aerospaziali ed aeronautici. Attualmente le applicazioni più frequenti in questi settori riguardano i polimeri rinforzati con fibra di carbonio (CFRP) per le parti strutturali, e quelli con fibre di vetro (GFRP) o aramidiche per i componenti soggetti a minor sforzo (Niu, 2006). Si pensi, a riguardo, che più del 50% dei materiali utilizzati per la realizzazione dell'ultimo arrivato in casa Boeing, il 787, è costituito da compositi avanzati (Slayton e Spinardi, 2016). Diverse sono inoltre le ricerche che mirano alla sostituzione o integrazione delle fibre sintetiche dei componenti secondari, quali ad esempio pannelli di interior, con fibre vegetali, per ridurre peso ed impatto ambientale (si vedano in proposito IMM del Distretto Aerospaziale Italiano¹ ed il progetto ECO/10/277239 Cayley²). Anche il settore automotive ha sempre più sostituito l'utilizzo di materiali metallici con compositi, ponendo particolare accento,

materials, identification of more effective production systems and the strong link with the territory. Other essential aspect is the multidisciplinary nature which involves technology of architecture, materials and structural engineering, chemical, to create a necessary fusion of knowledges and skills. Objective is to contribute to increase awareness about biocomposites and to demonstrate the possibility to rediscover and to innovate local and historical raw materials. Other important prerogative is to stay within existing local production chains, contributing to revitalise them and to increase their technological level and environmental sustainability.

A rediscovery of ancient fibres is due to the recent sensibility to environmental impact of materials and of their life-cycle. These fibres have been studied and analysed to innovate their produc-

tion and use.

In chronological order, hemp is one of the first fibres which have been studied. But in last years, flax is the most diffused, because it is more mechanical performing (Reux et Verpoest, 2012), important to use it in advanced technological applications. Moreover, flax is easy to growth and its cultivation could have positive economic implications for territories, which are close to the Rogers' concept of responsibility to society of architects (Fairs, 2013).

The field of the research: composites and biocomposites in industry

High performing composites appeared in the half of the last century in aeronautics and aerospace. Actually, composites more diffused in these sectors are CFRP, carbon fibres reinforced polymers, for structural applications, and

nella ricerca, sull'utilizzo di resine termoplastiche e fibre vegetali (come nel caso delle ricerche Forbioplast³, e Materiali Avanzati per TRasporti ECOsostenibili⁴, entrambe con la partecipazione del Centro Ricerche Fiat), visti gli obblighi cui questa industria è costretta a sottostare a livello di diminuzione dell'impatto ambientale, aumento della manutenibilità, possibilità di riciclo dei materiali e riuso dei componenti (Direttiva Europea 2000/53/EC). Inoltre, il progetto qui presentato pone le basi sugli studi portati avanti all'interno dell'Università della Calabria nell'ambito del progetto MATRECO, i cui risultati hanno condotto alla progettazione e allo sviluppo di processi per la realizzazione di materiali avanzati bioderivati per il settore automotive, ed in particolare ad un processo automatizzato di filatura della ginestra. Per quanto riguarda invece l'industria delle costruzioni, come è noto, l'innovazione tarda spesso nel farsi spazio, ed anche in questo caso il settore si affaccia con atteggiamento timido a questi nuovi materiali (Sinopoli e Tatano, 2007). I materiali avanzati in generale, ed i compositi in particolare, sono poco incontrati nell'architettura diffusa, e vengono spesso relegati a fenomeni sperimentali sporadici. Le applicazioni maggiori si hanno in componenti secondari, come appretti e reti per intonaci, o nel caso di rinforzi strutturali di edifici esistenti, realizzati con le cosiddette fasce di rinforzo con fibre di carbonio, aramidiche e, più raramente, di vetro. La diffusione dei materiali compositi a livello strutturale resta quindi molto parziale (Chilton et al., 2005), in modo particolare se si considerano le strutture 100% composito, anche se il documento *Prospect for new guidance in design in FRP, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes* (Ascione et al., 2016), fa ben sperare rispetto ad un aumento di questi materiali nei cantieri europei.

GFRP, glass fibres reinforced polymers or aramid ones for no structural parts (Niu, 1992). In this sense, a model case is the last product of Boeing, the 787, which is composed by more than 50% of advanced composites (Slayton et Spinardi, 2016). Moreover, there are different researches that aim to replace or to integrate synthetic fibres with lower environmental impact ones (for example IMM, by Italian Aerospace District¹ and Cayley ECO/10/277239²). The automotive has a pioneering role in replacing metallic components with composite ones, in particular using thermoplastics and vegetable fibres (examples are Forbioplast³ and Materiali Avanzati per TRasporti ECOsostenibili⁴ - *Advanced materials for sustainable transports, n.d.t.* - , both of two featuring Fiat Research Centre). Certainly, this role is related to obligations for this sector to reduce envi-

ronmental impacts, to increase maintainability and possibilities to recycle and reuse materials and components (European directive 200/53/EC). The presented project is grounded from MATRECO studies of University of Calabria, where a production process for advanced biobased materials for automotive has been designed and developed. In this case, main used fibres are the broom (*Spartium junceum*) ones.

Generally, in construction industry, innovation is slower. In fact, the sector may occasionally be glimpsed on the horizon of these new materials (Sinopoli and Tatano, 2007). Advanced materials in general, composites in particular, are not very common in diffused architecture, often they are relegated to occasional experimentations. In the sector, secondary components are more popular applications, like fin-

Metodologia e sperimentazione

All'interno di questo sistema complesso, l'esperienza qui riportata ha visto lo studio analitico e quello sperimentale intrecciarsi nella valutazione della possibilità di applicazione di materiali avanzati di tipo biocomposito nel settore delle costruzioni.

Si è quindi partiti da una fase preliminare relativa allo stato dell'arte, che ha guardato alle ricerche realizzate in ambito costruttivo, come Biobuild (Fig. 1)⁵, ed a studi condotti in altri settori, come quelli già citati precedentemente nel testo, riconoscendo non solo alto valore alle possibilità di casi di trasferimento tecnologico verso l'industria delle costruzioni, ma anche l'importanza di un approccio pluridisciplinare.

Si è dunque passati alla fase sperimentale strettamente detta, che ha riguardato la progettazione e la realizzazione del materiale, insieme alle fasi di *testing*. Vi è quindi una suddivisione in tre momenti, interconnessi tra loro, riguardanti rispettivamente l'approfondimento sui processi di produzione, lo studio delle fibre e la realizzazione della lamina finale.

Ci si è soffermandoti quindi in prima battuta sugli aspetti legati al processo di produzione, perché, come sostiene Mendes da Rocha «si può immaginare solo quello che si sa come costruire» (Wainwright, 2017). Basandosi su dati da letteratura, si è proceduto ad una serie di verifiche di laboratorio per comprendere la processabilità di diverse forme di fibre. Sono stati quindi ottenuti provini con fibra micronizzata, corta, lunga e tessuto, all'interno di matrici termoindurenti. In seguito alle relative verifiche meccaniche, e legando questi dati con le tecnologie presenti sul territorio, si è scelto che la lamina oggetto della sperimentazione sarebbe stata ottenuta tramite processo di infusione di resina

ishes and plaster mesh. Also reinforcing strips in carbon, aramid or glass fibres are diffused in rehabilitation of buildings. So, diffusion of composites in structural components are partial (Chilton et al., 2005), in particular if 100% composite structures are considered. In that regard, the document *Prospect for new guidance in design in FRP, support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes* (Ascione et al., 2016), is a glimmer of hope that using of composites in buildings will increase.

Methodology and experimentation

In this complex system, the reported experience regarded analytical and experimental studies aim to evaluate the possibility to apply advanced biobased composite materials in architectural industry.

All'interno di questo sistema complesso, l'esperienza qui riportata ha visto lo studio analitico e quello sperimentale intrecciarsi nella valutazione della possibilità di applicazione di materiali avanzati di tipo biocomposito nel settore delle costruzioni.

Si è quindi partiti da una fase preliminare relativa allo stato dell'arte, che ha guardato alle ricerche realizzate in ambito costruttivo, come Biobuild (Fig. 1)⁵, ed a studi condotti in altri settori, come quelli già citati precedentemente nel testo, riconoscendo non solo alto valore alle possibilità di casi di trasferimento tecnologico verso l'industria delle costruzioni, ma anche l'importanza di un approccio pluridisciplinare.

Si è dunque passati alla fase sperimentale strettamente detta, che ha riguardato la progettazione e la realizzazione del materiale, insieme alle fasi di *testing*. Vi è quindi una suddivisione in tre momenti, interconnessi tra loro, riguardanti rispettivamente l'approfondimento sui processi di produzione, lo studio delle fibre e la realizzazione della lamina finale.

Ci si è soffermandoti quindi in prima battuta sugli aspetti legati al processo di produzione, perché, come sostiene Mendes da Rocha «si può immaginare solo quello che si sa come costruire» (Wainwright, 2017). Basandosi su dati da letteratura, si è proceduto ad una serie di verifiche di laboratorio per comprendere la processabilità di diverse forme di fibre. Sono stati quindi ottenuti provini con fibra micronizzata, corta, lunga e tessuto, all'interno di matrici termoindurenti. In seguito alle relative verifiche meccaniche, e legando questi dati con le tecnologie presenti sul territorio, si è scelto che la lamina oggetto della sperimentazione sarebbe stata ottenuta tramite processo di infusione di resina

The breakdown of state-of-the-art represent a preliminary approach of the research. Projects about composites in architectural industry have been explored, like Biobuild (Fig. 1)⁵ and also research from other sectors have been studied, recognizing high importance to technological transfer processes and to a multidisciplinary approach.

The experimentation in the strict sense regarded designing, realization of material and testing. It could be divided in three interconnected parts, regarding a focus on production processes, the study of fibres and the realization of the final lamina.

In particular, the first step analyzed production processes, because «you can only imagine what you know how to build» like Mendes da Rocha said (Wainwright, 2017). Based on literature data, different laboratory tests of processability have been carried out



su tessuto secco, contando anche sulla collaborazione della ditta Borrone Srl di Cetraro (CS), operante nel settore nautico e già partner del progetto MATRECO sopraccitato.

Sono stati quindi analizzati tessuti artigianali e tessuti industriali tecnologicamente avanzati di lino e canapa, documentandone le differenze morfologiche e meccaniche. Nello specifico, i prodotti sono stati osservati al microscopio a scansione elettronica (SEM) del Laboratorio Materiali e Componenti, LabMat&Com, del Building Future Lab, del Dipartimento di Architettura e Territorio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ottenendone immagini a diversi ingrandimenti. Sono poi stati eseguiti dei test a trazione. Questi dati hanno aiutato a comprendere da un lato le diversità tra i tessuti artigianali e quelli industriali, e dall'altro le differenze tra la fibra di canapa e quella di lino, orientando la scelta verso l'utilizzo di un tessuto industriale tecnologicamente avanzato di lino (Biotex 400 g/mq).

on different forms of fibres. Specimens with thermosetting matrix and micronized, short, long, and in fabrics fibres are realized. Mechanical tests have been performed. Results of mechanical test have been crossed with local technological production process, and lamination of dry fabrics and liquid infusion is preferred to other systems. A local naval business, the Borrone Srl based in Cetraro (CS), contributed to the realization of the lamina.

The first step regards the study of handicraft and industrial technological advanced fabrics made by flax and hemp. This study includes the morphological and mechanical characterization. Products have been observed with the scanning electron microscope, SEM, of Materials and Components Laboratory, LabMat&Com, of Building Future Lab, Architecture and Territory Department, Mediterranean University of

Reggio Calabria. This observation produced different images at various magnifications. Also, tensile tests have been carried out. This kind of analyze contributed to understand morphological and performance differences between handicraft and industrial fabrics, and also to the selection between different vegetable fibres. The selected fabric for this research is an advanced industrial flax fabric (Biotex 400 g/mq).

At the same time, different kind of matrices have been analyzed. In particular, biobased epoxy resins have been studied, and the CLR\INF SuperSap of Entropy Resin has been chosen. This resin has good mechanical properties, even if it has a lower glass transition temperature with respect to a traditional epoxy resin (for example Prism EP 2400 di Cytec). However, its Tg has been considered acceptable for the detected production process.

In parallelo, lo studio delle matrici si è orientato verso delle resine di tipo epossidico ad alto contenuto bioderivato, nello specifico CLR\INF SuperSap di Entropy Resin, che a confronto con una epossidica tradizionale (ad esempio Prism EP 2400 di Cytec), conserva buone proprietà meccaniche, anche se è caratterizzata da una temperatura di transizione vetrosa più bassa, comunque ritenuta accettabile per il processo tecnologico individuato.

In seguito, si è quindi giunti all'infusione della resina sul tessuto, utilizzando il sacco a vuoto ed effettuando il processo di cura a temperatura ambiente.

La lamina è stata dunque sottoposta, oltre che ad una prima analisi visiva, all'osservazione tramite SEM, con supporto porta campioni con controllo della temperatura, e a prove di trazione.

Risultati

Il risultato finale della ricerca è ottenuto quindi dall'unione dei dati acquisiti nelle tre fasi di sperimentazione: analisi della processabilità, delle fibre e della lamina.

I primi risultati, relativi alle diverse forme di fibra ed alla loro processabilità, hanno confermato che, considerando il ridotto livello di industrializzazione del territorio di riferimento e le caratteristiche proprie dei materiali compositi, l'infusione di tessuti secchi fosse la scelta maggiormente conveniente, sia in termini di processo che di performance del prodotto finale.

In secondo luogo, le analisi fisiche e meccaniche dei tessuti, hanno rivelato quale di questi fosse il più adatto alle applicazioni progettuali. I tessuti tecnologici hanno mostrato un elevato controllo delle fibre, sia in termini di pulizia che di omogeneità delle sezioni, aspetti pressoché assenti in quelli di derivazione artigianale (Figg. 2-5). Il confronto delle proprietà elastiche carat-

The third part of the experimentation concerned the resin infusion on fabrics, using vacuum bag and a room temperature cure process. The obtained lamina has been visually analyzed, observed with the SEM (at controlled temperature), tested for tensile characteristics.

Results

The final result of the research project has been obtained from a blend of three different phases: processability analyzes, fibres studies and lamina tests.

First of all, liquid infusion has been confirmed like a good production process to obtain a performant final lamina. This process considered the local low level of industrialization and the own characteristics of composites. Secondly, physical and mechanical tests on fibres contributed to the selec-

tion of fabric which is more suitable for applications. Technological fabrics are characterized from a high level of control, both for cleaning and homogeneity of fibre sections (Figg. 2-5). A comparison between elastic properties demonstrated substantial increases in industrial fabrics for tensile strength and Young's Modulus, both in hemp (Codispoti et al., 2015) and in flax, as shown in Table 1.

These noticeable differences find their basis in origins of plants (Baley, 2002) and in a more controlled orientation of fibres in fabrics.

Moreover, industrial fabrics have been designed to realize composites with polymers which are normally hydrophobic, so they are specifically functionalized. In particular, these processes are used to reduce moisture and to increase cohesion between fibres and matrices (Yan et. Al., 2014).

teristiche dei tessuti artigianali ed industriali ha poi evidenziato incrementi sostanziali nella resistenza a trazione e nel modulo di Young, sia per la canapa (Codispoti et al., 2015) che per il lino, come mostrato in Tab.1.

Queste nette differenze tra i tessuti tecnologici e quelli tradizionali, trovano fondamento nell'origine delle prime da piante coltivate in filiere specifiche (Baley, 2002) e nella maggiormente controllata direzionalità delle fibre che compongono loro.

Inoltre, sono progettati per essere uniti a resine normalmente idrofobiche, e sono quindi specificatamente funzionalizzati, in modo da abbatterne il livello di assorbimento dell'umidità ed aumentare la coesione tra fibra a matrice (Yan et al., 2014).

Infine, per quanto riguarda i risultati relativi la lamina, l'osservazione tramite SEM non ha evidenziato porosità rilevanti, e le prove di trazione, per la determinazione della resistenza e del modulo di elasticità di Young, hanno conseguito risultati positivi, superando di gran lunga i dati analitici iniziali, ottenuti sia tramite l'applicazione dei modelli contenuti nella CNR_DT200_R1_2013, sia con l'ausilio del programma Autodesk Simulation Composite Design 2014, e dimostrando ancora una volta la necessità dello sviluppo di specifici modelli di calcolo per i compositi con fibra vegetale (Faruk e Sain, 2015).

Conclusioni e sviluppi futuri

Diventati ormai una realtà in settori come l'*automotive*, i materiali compositi ottenuti in tutto o in parte da materie prime bioderivate stanno suscitando interesse in molte industrie. L'applicazione di sistemi tecnologici avanzati ha permesso di ottenere materiali nuovi, prendendo spesso come base le conoscenze storicizzate circa le caratteristi-

Finally, SEM observation of the lamina didn't show important porosities and the tensile test obtained positive results in terms of tensile strength and Young's Modulus. In particular, in a comparison with analytical data (obtained by application of model by CNR_DT200_R1_2013 and also with Autodesk Simulation Composite Design 2014), properties of real lamina are higher. This kind of observation is fundamental to understand the necessity to create a specific model to design composite materials reinforced with vegetable fibres (Faruk and Sain, 2015).

Conclusions and future developments

Totally biobased and hybrids are important materials in automotive yet, and they are now attracting interest from other industries. The use of advanced technological systems created

new materials, which find their basis in historicized knowledge and knowhow in fibres like flax, hemp and broom. Important aspect of this rediscovers is innovation of applications due to increase of properties obtained with controlled production processes. The research community is currently studying different phases of realization of these materials, from the design (where models for traditional composites are not reliable), to the cultivation of fibre plants (with the social and economic implications on territories), including more suitable production processes and matrices.

In general, biocomposites could be applied in different applications in construction. They could be used in rehabilitation of ancient buildings and monuments, respecting original materials. Also, a replace of traditional plastic materials is possible, as in pipes.

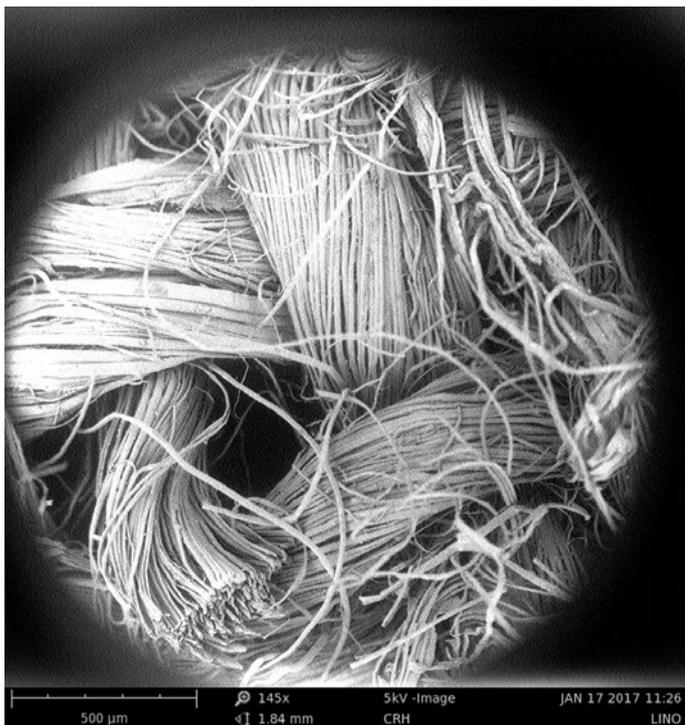
02 | immagine al SEM, fibre artigianali di lino, 145x, unit scale=500 µm
SEM image of handcraft flax fibres, 145x, unit scale=500 µm

03 | immagine al SEM, fibre artigianali di lino, 830 x, unit scale=100 µm
SEM image of handcraft flax fibres, 830 x, unit scale=100 µm

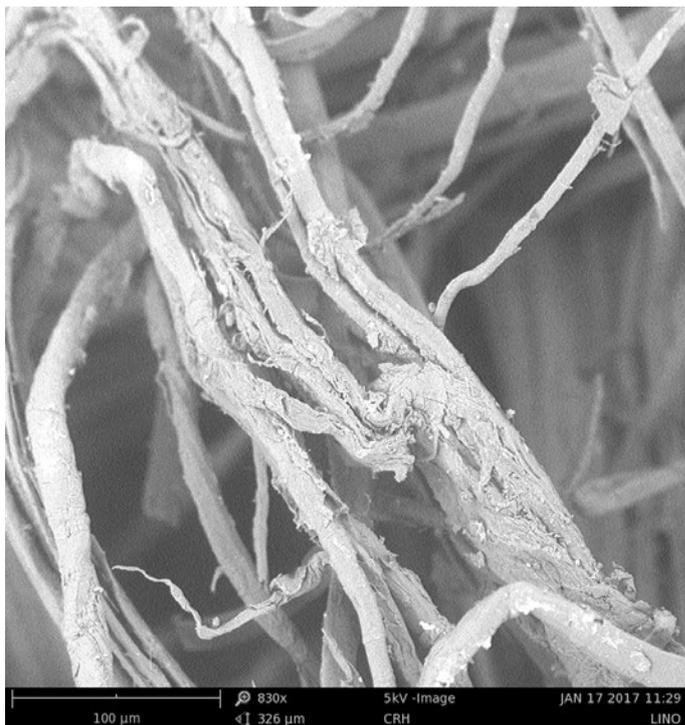
04 | immagine al SEM, fibre industriali di lino, 135 x, unit scale=500 µm
SEM image of industrial flax fibres, 135 x, unit scale=500 µm

05 | immagine al SEM, fibre industriali di lino, 1600x, unit scale=50 µm
SEM image of industrial flax fibres, 1600x, unit scale=50 µm

02 |



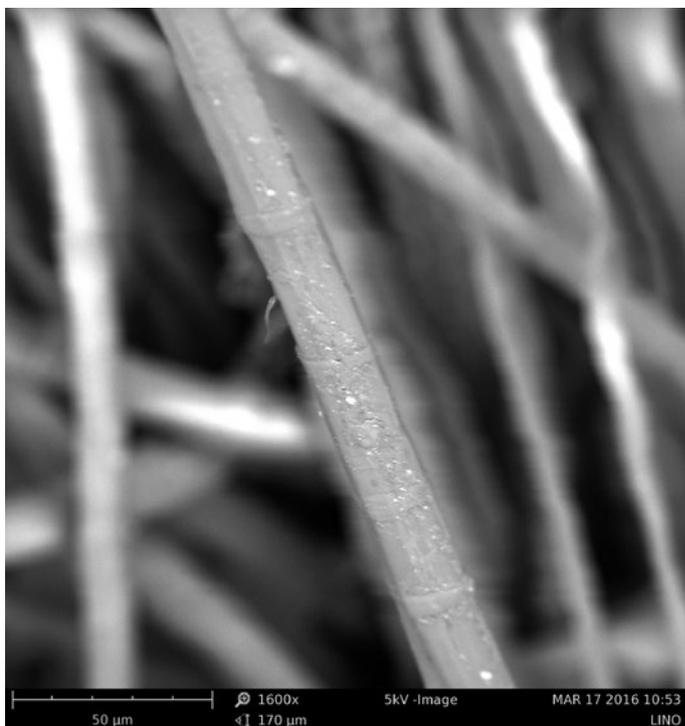
|03



04 |



|05



che di molte fibre, come la canapa, il lino o la ginestra, ed innovandone gli usi, grazie anche all'incremento delle prestazioni derivato dai maggiormente controllati sistemi di produzione. Il mondo della ricerca è attualmente impegnato nello studio delle diverse fasi della realizzazione di questi materiali, dalla progettazione, cui i modelli di calcolo dei compositi tradizionali non risultano affidabili, alla coltivazione delle fibre, con le implicazioni socio-economiche sui territori, ai sistemi di produzione ed alle resine, cercando di individuarne i più adatti.

In senso generale, l'utilizzo di materiali biocompositi nelle costruzioni è valutabile in diverse tipologie di intervento. Da un lato vi sono infatti le applicazioni legate al recupero di edifici e monumenti storici, nel rispetto dei materiali originari, vi sono poi quelle che mirano alla sostituzione dei materiali plastici già utilizzati, come ad esempio tubazioni di vario genere, ma anche la collocazione in ambiti dell'architettura tecnologicamente innovativi, come le costruzioni a secco, dove potrebbero essere utilizzati come pannelli, o ancora come elemento portante di micro-architetture.

Se gli obiettivi a breve periodo che ci si era prefissati nell'ambito del progetto qui presentato sono stati raggiunti, riferendosi principalmente alla verifica della realizzabilità di un materiale composito a minore impatto ambientale, con buone caratteristiche elastiche e un forte legame con il territorio, dall'altro vi sono sviluppi futuri molto variegati cui volgere lo sguardo e su cui si sta attualmente indagando.

Sotto il profilo della progettazione dei materiali, interessanti si mostrano le possibilità di ottenere compositi sempre più performanti, sia dal punto di vista meccanico che fisico, ma anche a minore impatto ambientale. Il concetto di impatto ambientale è

da intendersi nel senso più ampio possibile, assimilando l'accezione che prevede l'analisi di questo dalla culla alla tomba di materiali e componenti. In modo particolare le ricerche future non potranno esimersi dallo studio dei polimeri bioderivati, non solo epossidici, ma anche di natura diversa. Un esempio in questo senso può essere rappresentato dall'alcool furfurilico, ottenuto dagli scarti della filiera agricola e con buone caratteristiche alla fiamma, tali da potersi mettere in competizione con il fenolico, molto più tossico ed impattante (Ahmad et al., 2013). Anche l'acido polilattico, o PLA, ricavato dal mais, e che permette di produrre materiale plastico che può essere compostato a fine vita, è un materiale molto interessante, e che si lega fortemente alle nuove frontiere aperte dall'additive manufacturing.

Dal punto di vista socio-economico, un primo filone potrebbe interessare, come già accennato, la creazione o la rivitalizzazione di un indotto su territori depressi, come nel caso della Calabria, e la comprensione dei fenomeni sociali ed economici derivanti. L'installazione di una filiera produttiva in un territorio di questo tipo, infatti, porterebbe diversi vantaggi: crescita della richiesta di forza lavoro, ripresa dei terreni agricoli abbandonati e marginali, investimenti pubblici e privati, con anche formazione di professionalità legate ad un tipo di industria più sostenibile e rispettosa del territorio. Un secondo filone potrebbe indagare la possibilità della realizzazione di un modello di sviluppo ripetibile in diverse aree geografiche, in ognuna delle quali contestualizzare la produzione con essenze legate al territorio, investendo quindi su di esso senza mettere a rischio le biodiversità locali. Il ritorno allo studio delle fibre vegetali, testimonia infatti la volontà di sostituire le fibre sintetiche con altre più sostenibili, e per rendere realmente sostenibile la fibra vegetale è importante che

Moreover, they could be applied in architectural technological innovative fields, like dry construction. In this case, an application as panels or structure for microarchitecture could be congenial.

Short term objectives of this research project are achieved, particularly about the verification of feasibility of a lower environmental impact composite materials, which has good elastic properties and with a strong level of connection with the territory. But there are different future developments to look towards.

About material design, there are interesting possibilities to obtain biocomposites more performant in mechanical and physical terms, and which are characterized from a low environmental impact. The concept of environmental impact is intended in the broader sense, incorporating

the cradle-to-grave analysis for components and materials. In particular, future research projects should focus on biobased polymers, not only epoxy ones. Moreover, another example should be the furfuryl-alcohol, obtained by agricultural waste. It is characterized by good flame properties, comparable with more toxic and higher impact phenolics. In addition, polylactic acid, or PLA, is a material obtained from corn. It can be composted, and it results very interesting because it's strictly connected with the innovative additive manufacturing.

Concerning social and economic aspects, there are different interesting themes. One of these could be the creation or the revitalization of spillovers in depressed territories, as in the Calabria region, and the comprehension of resulting social and economic phenomena. The realization of a pro-

ductive chain in this kind of territory could bring direct benefits, as training of professional figures specialized in an industry which is characterized by high levels of sustainability and respect for the territory. Another one could be represented by realization of replicable organized models of growth, which involved to contextualize the production, investing on territory and not venturing local biodiversity. The return towards the study of vegetable fibres is part of a larger will to replace the synthetic ones. It's important that this will is related with the geographical context. This kind of contextualization is a formalized system in automotive, for example different fibres are used in South America (sisal, coconut, ...) and in Europe (hemp, juta, ...) (La Rosa et al., 2013).

Architectural design could be another important interested sector. In fact, the

use of these materials could involve new shapes for different functions, with the possibility to obtain types that could not be realized with traditional materials.

By the way, some architecture with composites are notorious examples, like the Chanel pavilion, designed by Zaha Hadid, based in the square in front of the 'Institut du Monde Arabe' in Paris (Fig. 6).

Finally, in order to highlight the interest of industries in these materials, it is noted that the research project presented here was awarded the Leonardo 2017 Innovation award, ranking at the first place in the category Ph.D.⁶. As part of the Awards, a stage - ongoing - has been offered to the author. This activity is proceeding at Materials and Technological Process bureau, Aircraft division of Leonardo S.p.A., and it has like main objective to inves-



tigate applications of biocomposites in aeronautics.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks Prof. G.Chidichimo and his team, including the Borrone S.r.l., for their support and availability throughout different experimental moments.

NOTES

⁰ The paper, proposed by an under 35 researcher, has passed the acceptance phase of the abstract and consequently the "double blind review", obtained, on the part of the Techne Board, a positive evaluation for the publication with the No-Pay logic.

¹ IMM project of Italian Aerospace District has been coordinated by Geven, with different partners, like Alenia Aeromacchi, Seconda Università di Naples e Università Federico II of Naples.

² ECO/10/277239 Cayley project has been co-financed by European Union in the CIP Eco-Innovation Initiative of the Competitiveness and Innovation Framework Programme, it has been coordinated by Invent, and its partners are BoeingR&Te, Lineo e Aimplas.

³ Financed with FP7-KBBE funds, coordinated by Pisa University.

⁴ Financed with PON funds, coordinated by Catania University.

⁵ Biobuild, Biobuild, High Performance, Economical & Sustainable Biocomposite Building Materials, is a project financed by European Union in the Seventh Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration, coordinated by Net Composites Ltd and which including as partners Arup GmbH.

⁶ Ph.D. is concluded in June 2017, and it involved Prof. A. Santini as tutor and Arch. F. Giglio and Arch. F. Pastura, of

Department of Architecture and Territory of Mediterranean University of Reggio Calabria, and Prof. C. Chidichimo, of Department of Chemical and Chemical technologies of University of Calabria.

TECHNICAL DATA SHEET CITED PROJECT

Chanel Travelling Pavilion, Parigi, Chanel, Zaha Hadid, 2007.

questa sia contestualizzata al territorio dove ne è previsto l'utilizzo. L'automotive ne fa già un sistema consolidato, utilizzando fibre diverse nei paesi del Sud America (sisal, cocco, ...), rispetto a quelle europee (canapa, juta, ...) (La Rosa et al., 2013).

Per quanto riguarda la progettazione architettonica, inoltre, si avrà la possibilità di costruire con questi nuovi materiali, legandone le caratteristiche meccaniche tipiche alle forme realizzabili per le diverse funzioni, con l'occasione di ottenere oggetti difficilmente possibili con i materiali tradizionali. In proposito, con compositi con materie prime non rinnovabili, sono già noti alcuni esempi, tra tutti il padiglione Chanel di Zaha Hadid, posato nel piazzale antistante l'Istituto del Mondo Arabo di Parigi (Fig. 6).

Infine, per sottolineare l'interesse dell'industria a questo tipo di materiali, si evidenzia che il progetto qui presentato è stato premiato nell'ambito del premio Innovazione Leonardo 2017, classificandosi al primo posto nella sezione dottorandi⁶. Nell'ambito della premiazione è stato offerto all'autrice uno stage – attualmente in corso – presso l'ufficio Materiali e Processi della divisione Aircraft di Leonardo S.p.A., con lo scopo di indagare sulle possibili applicazioni di materiali biocompositi in ambito aeronautico.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. G. Chidichimo ed il suo gruppo di lavoro, inclusa la Borrone S.r.l., per il supporto fornito e la disponibilità durante le diverse fasi sperimentali.

NOTE

⁰ L'articolo, il cui proponente è un ricercatore under 35, dopo aver superato la fase di accettazione dell'abstract e il successivo referaggio effettuato con modalità "double blind", ha ottenuto, da parte del Board di Techne, una valutazione meritevole per la pubblicazione con la logica No-Pay.

¹ Il progetto IMM del Distretto Aerospaziale Italiano è stato coordinato da Geven e vede tra i partner Alenia Aermacchi, Seconda Università di Napoli e Università Federico II di Napoli.

² Il progetto ECO/10/277239 Cayley è stato co-finanziato dall'Unione Europea all'interno del CIP Eco-Innovation Initiative of the Competitiveness and Innovation Framework Programme, ha avuto come coordinatore Invent e tra i partner vi sono BoeingR&Te, Lineo e Aimplas.

³ Finanziata con fondi FP7-KBBE, coordinata dall'Università di Pisa.

⁴ Finanziata con fondi PON, coordinato dall'Università di Catania.

⁵ Biobuild, High Performance, Economical & Sustainable Biocomposite Building Materials, progetto finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Seventh Framework Programme for Research, Technological Development and Demonstration, coordinato da Net Composites Ltd e che ha visto tra i partner ArupGmbH.

⁶ Il percorso di dottorato si è concluso nel giugno 2017 ed ha coinvolto come tutor il Prof. A. Santini e come co-tutor l'Arch. F. Giglio e l'Arch. F. Pastura, del Dipartimento di Architettura e Territorio dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria ed il Prof. C. Chidichimo, del Dipartimento di Chimica e Tecnologia Chimica dell'Università della Calabria.

SCHEDA TECNICA PROGETTO CITATO

Chanel Travelling Pavilion, Parigi, Chanel, Zaha Hadid, 2007.

REFERENCES

- Antonini, E. (2008), "Materiali complessi", *Materia*, Vol. 58, pp. 44-55.
- Ascione, L., Caron, J.F., Godonou, P., Van IJselmuiden, K., Knippers, J., Mottram, T., Oppe, M., Gantriis Sorensen, M., Taby, J. and Tromp, L. (2016), *Prospect for new guidance in the design of FRP*, EUR 27666 EN.
- Ashby, M.F. (2005), *Materials Selection in Mechanical Design*, Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Baley, C. (2002), "Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase", *Composites Part A*, Vol. 33, pp. 939-948.
- Biobuild (2015), "Revolutionising the construction sector", available at: http://cordis.europa.eu/result/rcn/91789_en.html (accessed 31 January 2018).
- Chilton, J. and Velasco, R. (2005), "Applications of textile composites in the construction industry", in Long, A.C. (Ed.), *Design and manufacture of textile composites*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp. 424-35.
- CNR_ dt 200/2013 (2013), *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati*.
- Codispoti, R., Oliveira, D.V., Olivito, R.S., Lourenço, P.B. and Figueiro, R. (2015), "Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry", *Composites Part B* Vol. 77, pp. 74-83.
- Commissione Europea (2000), *L'UE e la gestione dei rifiuti, Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee*.
- Fairs, M. (2013), "We have a responsibility to society' says Richard Rogers", available at: <https://www.dezeen.com/2013/07/16/we-have-a-responsibility-to-society-says-richard-rogers/> (accessed 29 March 2018).
- Faruk, O. and Sain, M. (2015), *Biofiber reinforcement in composite materials*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Forlani, M.C. and Mastrodonato, L. (2014), "Edilizia sostenibile e risorse locali", *Techne*, Vol. 7, pp. 194-203.
- La Rosa, A.D., Cozzo, G., Latteri, A., Mancini, G., Recca, A.T. and Cicala, G. (2013), "A comparative life cycle assessment of a composite component for automotive", *Chem. Eng. Transactions*, Vol. 32, pp. 1723-1729.
- Ahmad, E. E. M., Luyt, A. S. and Djoković, V. (2013), "Thermal and dynamic mechanical properties of biobased poly(furfuryl alcohol)/sisal whiskers nanocomposites", *Polymer Bulletin*, Vol. 70, pp. 1265-1276.
- Niu, M.C.Y. (2006), *Composite airframe structures*, Adaso Adastr Engineering Center, Northridge, CA, USA.
- Reux, F. and Verpoest, I. (Eds.) (2012), "Flax and hemp fibres: a natural solution for the composite industry", *Proceedings of the Jec Composites 2012*, Paris, FR.
- Russo, S. (2007), *Strutture in composito: sperimentazione, teoria e applicazioni*, Hoepli, Milan.
- Slayton, R. and Spinardi, G. (2016), "Radical innovation in scaling up: Boeing's Dreamliner and the challenge of socio-technical transitions", *Technovation*, Vol. 47, pp. 47-58.
- Wainwright, O. (2017), "One never builds something finished: the brutal brilliance of architect Paulo Mendes da Rocha", available at: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2017/feb/04/why-paulo-mendes-da-rocha-raises-architecture-to-a-new-level> (accessed 29 March 2018).

Un Dialogo tra/A Dialogue between **Barbara Bogoni** e/and **Eduardo Souto de Moura**

Barbara Bogoni. *L'impegno e la precisione che Eduardo Souto de Moura dedica a ogni occasione di dialogo con i luoghi del suo operare confermano la sua adesione alla concretezza e la sua aspirazione alla verità.*

L'architettura priva di quelle fondamenta che la ancorano alla realtà e alla specificità dei luoghi, solo pensata e discussa in termini di potenzialità e astrazione, cieca e sorda alle suggestioni dell'ambiente, non esiste.

Non è Architettura.

Non è, almeno, l'Architettura di Souto de Moura, che è capace, invece, di trasformare le occasioni di dialogo con il contesto in accese discussioni, tra pensiero e realtà, tra desiderio e opportunità, tra segno progettuale e atto costruttivo; in dispute, tra l'immagine primitiva che si forma nella mente – un dettaglio, un materiale, uno spazio – e la sua effettiva realizzabilità; confronti, che si annullano con la presa di coscienza delle immense opportunità offerte al progetto dal contatto con il reale; e il progetto, come in un film, esegue un montaggio e una verifica delle immagini, suggestioni e sequenze che l'occhio percepisce e che la grande poesia di Herberto Helder sottende ed esalta nel suo poema “Memoria Montagem”¹, uno dei grandi riferimenti del maestro portoghese.

Questo metodo, che mette al vaglio le ipotesi – impressioni, opinioni o vere e proprie architetture in progress – e le cala nei luoghi, è applicato indistintamente alle varie scale e ai diversi ambiti di lavoro, alle questioni di composizione volumetrica, al sistema distributivo, a quello tecnologico e impiantistico, alle scelte figurative e materiche. Esso si risolve in una conversazione continua, eterna, un dialogo antico tra l'architetto – ogni architetto, di ogni tempo e di ogni luogo – e gli spazi in cui egli opera; un dialogo che non ha principio né fine, che si ripete sempre uguale da secoli,

che pone e ripone le stesse domande e, alla fine, riceve le stesse risposte.

Nella contemporaneità, il dialogo poco si discosta da questo schema; le variazioni sono minime e tutte riconducibili alle maggiori risorse tecnologiche, ai più articolati bisogni umani, alle mutate disponibilità di spazio, di denaro e di opportunità. E le architetture che ne sono generate obbediscono tutte alla libertà degli architetti, quella, davvero contemporanea, di accettare oppure no il dialogo, di disporsi oppure no all'ascolto critico, di dichiararsi aperti alla partecipazione, di essere curiosi, di ascoltare e di sentire; di ammettere e accogliere lo stato di crisi che ogni vero confronto inevitabilmente produce.

In Eduardo Souto de Moura questo dialogo operante e produttivo è, tuttavia, molto sereno, sebbene innescato da un fluttuante rilancio dubitativo² che, nella sua tormentata evoluzione, rappresenta la chiave della coerenza, della necessità e della ineludibilità dell'architettura del maestro portoghese.

Eduardo Souto de Moura. **La pratica del progetto come verifica delle idee.** Il mio lavoro principale consiste nella verifica continua di soluzioni pensate. Messo di fronte a un tema di architettura, mi capita continuamente di far maturare delle ipotesi ancor prima di aver visto l'area di progetto, e inizio a elaborare un'acerba strategia di intervento con le poche informazioni di cui dispongo. A volte la mia idea matura, definisce le tecniche costruttive, i materiali, addirittura i dettagli, sempre nel pensiero. Perciò, all'incontro con la materia fisica del progetto, il luogo, la terra, il paesaggio, le pietre, arrivo già pronto con un'ipotesi da vagliare e, partendo da questa, cerco di capire se sto seguendo la direzione giusta. A questo punto inizia la fase di verifica dell'ipotesi, durante la quale mi scontro con ciò che penso (o voglio) che sia fattibile e ciò che realmente lo è. È spesso perdo la battaglia.

AN “ANCIENT DIALOGUE” BETWEEN MATTER, TECHNIQUE AND DESIGN

Barbara Bogoni. *The commitment and precision Eduardo Souto de Moura delivers in every dialogue opportunity with the places of his work confirms his bonds to concreteness and his ambition to truth.*

Architecture not founded on bases linked to reality and to place specificity; architecture as a mere result of debate and thinking on abstraction, does not exist.

It is no Architecture.

It isn't Souto de Moura's Architecture, which instead is able to transform the opportunities of establishing a dialogue with the context into fervid discussions between thinking and reality, between desire and possibility, between the marks of design and the act of building; into discussions between the primitive image forming in the architect's mind – a detail, a material, a space – and its actual feasibility; discussions that are meant to

resolve themselves into the awareness of the limitless possibilities given to the project by the contact with reality. The project, as in a movie, performs then an editing and a test of the many images, suggestions and sequences the eye senses; the same as in Herberto Helder's poem “Memoria Montagem”¹, one of the most relevant references of the portuguese master architect.

This method of evaluating the hypothesis – impressions, opinions or even a sort of architectural schemes in progress – and lowering them into the sites, is implemented indifferently at several scales and several programs; at the issues of volumetric composition, at the level of both technology and plants; at the figurative and material options. It is resumed in a continuous and eternal conversation, in an ancient dialogue between the architect – every architect, of any time and place – and the spaces

the architect works into; a dialogue having no beginning nor ending, that keeps happening in the centuries always in the same way, asking again and again the same questions, getting, at the end, always the same answers.

This dialogue, in the present times, is not far from this scheme, the variations are slight and almost always referred to the more powerful technological resources, to the different availability of space, funds and opportunities.

The architecture generated by this method obey to the freedom – really contemporary – of choosing to accept or refuse the dialogue; of preparing to or denying the critical listening; of declaring one's openness to participation; of being curious; of listening and feeling; of admitting and welcoming the critical state every true confrontation inevitably produces. Eduardo Souto de Moura's operating and fertile dialogue is, indeed, very se-

01 | Padiglione, Artesella, Borgo Valsugana, Trento, 2018, schizzo di studio (Archivio dei disegni di Eduardo Souto de Moura)

Pavilion, Artesella, Borgo Valsugana, Trento, Italia, 2018, Sketch (Eduardo Souto de Moura's Drawings Archive)

02 | Convento das Bernardas, Tavira, Portogallo, 2006-2013 (foto di Barbara Bogoni)

Das Bernardas' Convent, Tavira, Portugal, 2006-2013 (photo by Barbara Bogoni)

Preferisco comunque sempre lavorare per sequenze di verifiche piuttosto che arrivare impreparato alle domande poste dal luogo o inventare soluzioni al momento – me l'ho ha insegnato Távora! Quando queste verifiche danno esito negativo – lo comprendo a mano a mano che imparo a muovermi nel racconto dei luoghi – inizia il contraddittorio, la ricerca delle alternative e il vaglio delle opportunità. Alle provocazioni delle mie idee preconette, il luogo risponde i suoi “sì” e i suoi “no”, e ogni “no” mi indica una buona strada, una di quelle veramente percorribili (Fig. 1).

In alcuni casi complessi capita di dover fare i conti con temi di lavoro molto problematici, se non critici, che mi costringono a studiare con più attenzione il problema e a rinunciare all'immagine che mi ero pre-costruita: la demolisco, l'abbandono, e cerco una soluzione diversa. Per motivi funzionali, nel Convento di Tavira mi sono trovato ad aprire 120 finestre nella muratura dell'edificio storico, troppo fragile e instabile, realizzata in terra cruda più di 500 anni fa (Fig. 2) e sono stato costretto a concentrare sforzi enormi nella soluzione del problema strutturale, perché il progetto non concedeva sconti: dovevo ricavare moltissime stanze d'albergo, ciascuna con la propria finestra (Fig. 3). Abbiamo dovuto studiare un sistema costruttivo nuovo, ma abbiamo scelto di realizzarlo con un metodo tradizionale (Fig. 4), consolidando la parete in terra con una rete metallica e del cemento a spruzzo, e ritagliandovi la forometria. Così, la debolezza del progetto, cioè la fragilità del materiale, è diventata un punto di forza, trasformando il problema in una soluzione. La finitura superficiale ha poi conferito all'edificio l'omogeneità materica e cromatica che volevo ottenere: una continuità tra storia e progetto, tra antico e nuovo, attraverso il materiale e, soprattutto, la tecnica costruttiva.

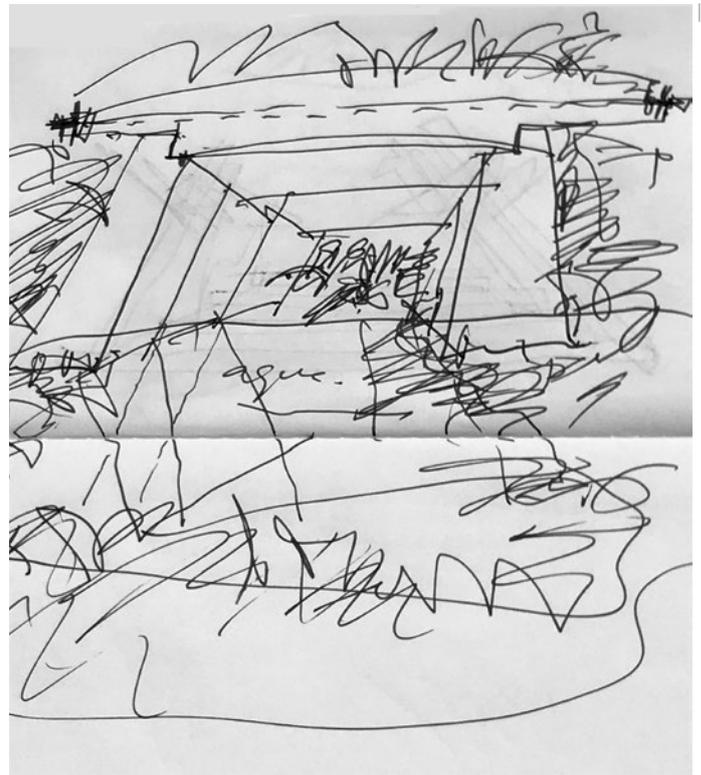
rene, although it is also triggered by a fluctuating rilkian dubitative state, which is, in its tormented evolution, the key to achieving coherence, necessity and inevitability in his architecture.

Eduardo Souto de Moura. The design praxis as a verification of ideas.

My main work consists in continually and repeatedly checking the solutions I think at. When I have to face an architectural theme, it often happens to me to form in my mind some hypothesis even before seeing the design area; I then start and develop an unripe intervention strategy with the few informations I have. Sometimes my ideas get ripe, define the construction technologies, the materials, even the details, always in thinking. So when I meet the physical matter of the project, the site, the land, the landscape, the stones, I am ready to test an idea and, starting from it, I try and understand if

I am following the correct direction. At that time, the hypothesis confirmation phase begins, during which I confront with what I think (or I desire) to be feasible and what really is. Most of the time I loose the battle.

Anyway, I always prefer to work through a series of tests, than to arrive, unprepared, and deal with the questions asked by the site or invent solutions in the very moment – Távora taught me this! – When the checking corresponds to a negative result – I understand this as long as I learn to move amidst the narration of place – the contradiction appears, along with the research of alternative solutions and the test of opportunities. The place answers with its “yes” and its “no” to the provocation of my preconceived ideas: every “no” shows me a good way to follow, one of the truly possible ways (Fig. 1).



03 | Convento das Bernardas, Tavira, Portogallo, 2006-2013, modello di studio (Archivio fotografico di Eduardo Souto de Moura)
Das Bernardas' Convent, Tavira, Portugal, 2006-2013, Model (Eduardo Souto de Moura's Photos Archive)

04 | Convento das Bernardas, Tavira, Portogallo, 2006-2013, cantiere (Archivio fotografico di Eduardo Souto de Moura)
Das Bernardas' Convent, Tavira, Portugal, 2006-2013, Building site (Eduardo Souto de Moura's Photos Archive)

Ho lavorato molto anche sul colore, sulla storia della fabbrica, piuttosto articolata, e sulla sua figurazione, caratterizzata da un conturbante pigmento rosso, così intimamente plasmato dal tempo da renderne impossibile la riedizione moderna. Ho scelto dunque il colore bianco, che, troppo luminoso e riflettente, ha finito per diventare un crema.
Ma quel rosso era indimenticabile...

B.B....e, in un altro contesto, impastato nel cemento, esso torna a definire i volumi della Casa das Historias di Cascais, in un rapporto cromatico, inedito e drammatico, con la rigogliosa vegetazione mediterranea e la luce intensissima del sole.

I temi paiono, alcuni ciclicamente altri continuamente, coinvolti nell'azione progettuale, reiterano, configurano delle invarianti, dei tipi, come quello della casa a patio, del quale Souto de Moura sperimenta modelli e soluzioni.

In una totale libertà di pensiero e di azione, l'architetto usa e riusa i materiali della storia e della modernità, li manipola, se necessario li altera, nella convinzione che ogni intervento contemporaneo sia parte di un processo storico di trasformazione, e che, per questo, non possa essere vincolato o, ancor peggio, menomato, da una pratica sacralizzante che congela il passato, limitando o impedendo le sue possibili relazioni con il presente. È la poesia di Herberto Helder a suggerire a Souto, ancora una volta, una possibile strategia d'intervento sulle rovine e sul paesaggio naturale: "la natura esiste per essere violata!", la natura come la storia, per essere al servizio dell'uomo di oggi.

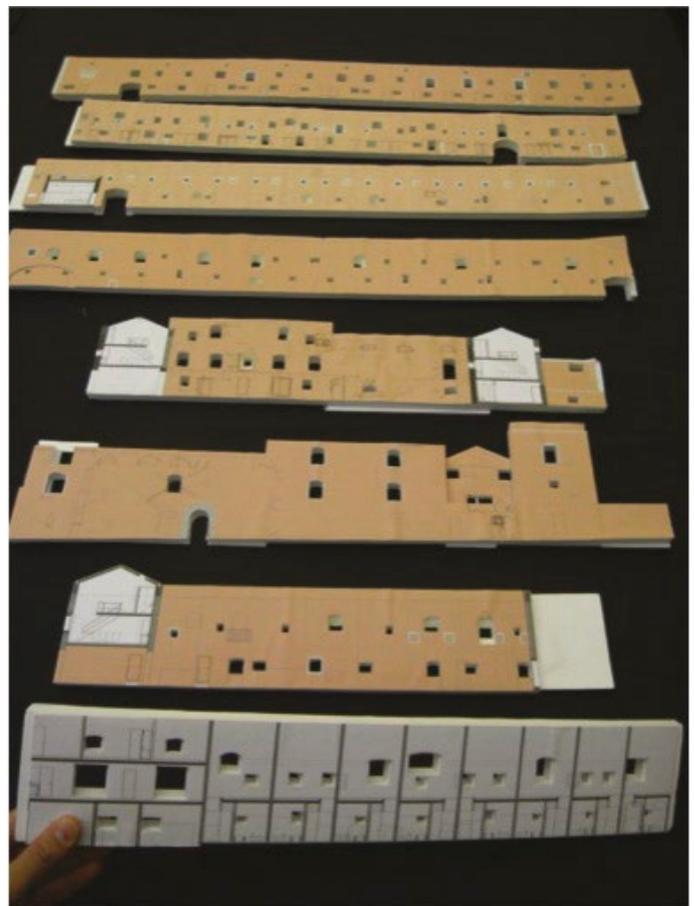
Le rovine hanno la qualità straordinaria di "essere a disposizione": le pietre, gli alberi, i tracciati, la bellezza, tutto questo è disponibile all'uso. E la disponibilità dei materiali suggerisce il loro ri-uso,

In some more complex situations, it may happen to cope with very problematic working themes, even critical ones, requiring from me a deeper investigation of the problem and even requiring that I give up the image I had built in my head: thus I demolish it, I turn it down and I keep searching for a different solution.

For a functional reason, in Tavira convent I found myself in need of opening 120 windows into the historical building walls, too much fragile and unstable, built in raw rammed earth more than 500 years ago (Fig. 2) and I was forced to concentrate enormous efforts in the structural problems solution, because there was no space for reduction in the project: I had to obtain a lot of hotel rooms, each one with its own window (Fig. 3). We had to develop a new building system, but we chose to execute it in a traditional method (Fig. 4)

by stabilizing the earth wall using a metallic net and projected concrete, then by cutting inside it the openings. In that way, the weakness of the design – the fragility of the material – became its strenght, turning the problem itself into a solution. The final finishing also gave the building the material and chromatic homogeneity I wanted to achieve: a continuity between history and design, between ancient and new, through the material and, mainly, through the building technique.

I worked a lot on the colour, too, on the history of the building – rather articulated – and on its image, characterized by a provocative red pigment, so deeply molded by time itself that it was impossible to reproduce it in the present time. I thus opted for a white colour, but it was too bright and reflective and it became a cream in the final solution. But that red is unforgettable...



azione che Souto de Moura dimostra di praticare costantemente. Nel mostrare una spiccata sensibilità nella loro manipolazione, egli esprime un'attitudine all'impiego di elementi molto diversi, scelti in base alle loro specifiche qualità, per rispondere a un tema compositivo, a una relazione con le preesistenze fisiche o figurative, alle sollecitazioni prodotte da un paesaggio, da uno scorcio, da un rudere, dalle testimonianze di antiche tecniche costruttive, la cui memoria giunge a noi come preesistenza.

Il termine "materia", che pur nella sua semplicità, è espressione di molti concetti e risponde a definizioni non univoche, nell'architettura di Souto interpreta molto più di quanto etimologicamente traduca. Materia non è solo, tradizionalmente ed empiricamente, il corpo solido che si può vedere e toccare, che oppone resistenza al nostro sforzo, che conserva, apparentemente invariato, il proprio volume nel tempo; non è solo l'inerte e il pesante; non è solo qualcosa di permanente nel tempo, di stabile e di definitivo.

E.S.M. Sulla materia. ... essa rappresenta il fondamento di ogni azione costruttiva, l'essenza dei corpi con cui siamo in grado di edificare. Penso che la materia non possa che essere intesa nel suo significato più ampio, come tutto ciò che entra nel processo di trasformazione, quanto è manipolabile, alterabile, innestabile nella costruzione dell'architettura. Così il paesaggio – l'orografia, una roccia, un corso d'acqua, un pezzo di città, il colore, il suono, la luce (Fig. 5); le tecniche e i materiali della storia; la memoria di strumenti, di processi e di tecnologie obsolete, chiamati a reinterpretare la modernità; l'acciaio, il vetro, l'intonaco, il mattone, la pietra. Affido a ogni materiale un'identità e un valore propri che non considero né prevalenti né preferibili ad altri. Almeno nella fase iniziale del mio lavoro, ciascun materiale è eleggibile a risolvere il tema costruttivo.

B.B. ...and, in a different context, mixed with concrete, it comes back to define the volumes of the Casa das Histórias in Cascais, in a dramatic and unprecedented chromatic relation with the mediterranean vegetation and the very intense brightness of sunlight.

Some themes seem to appear in the design practice, some of them recurrently, some other continuously: they repeat and configure invariants, typologies, such as the patio house, a theme Souto de Moura works on developing different models and solutions.

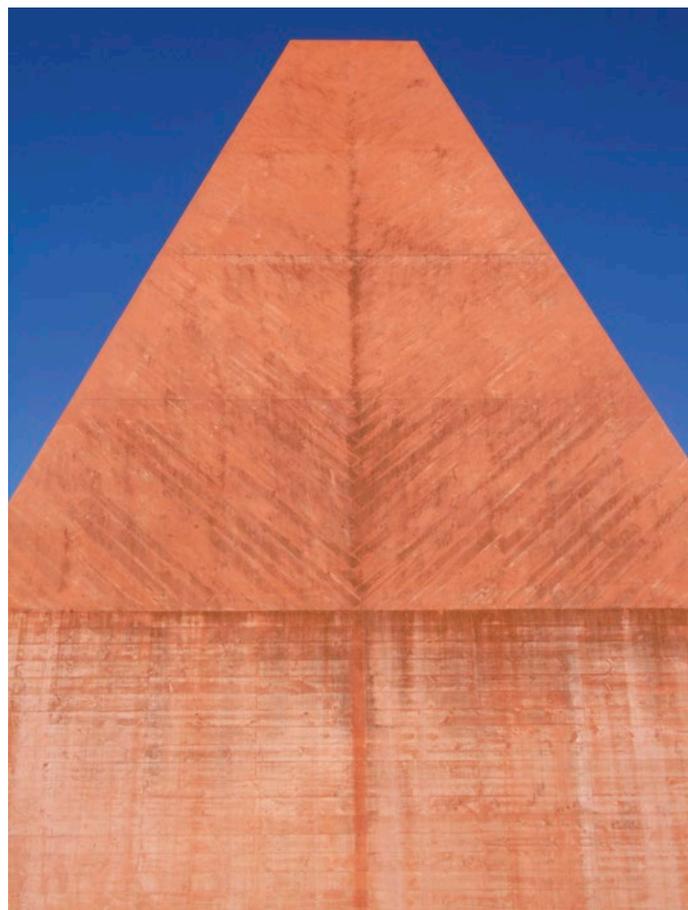
In a total freedom of thinking and action, the architect uses and reuses the materials of the history and of the modernity, he manipulates them, convinced as he is that every contemporary intervention is part of a transformation historical process, that for its very nature may not be restricted or disabled by a sanctifying praxis aimed to freeze the

past by limiting or preventing its relation to the present. It is, again, the poetry by Herberto Helder that suggests Souto a possible intervention strategy on the ruins of the past and on natural landscape: "nature exists to be violated!"; the nature as the history; they are meant to serve the present day mankind.

Ruins have the peculiar quality of being disposable: stones, trees, signs, beauty, all of these are ready to be used. And the availability of materials suggests their own re-use, an action Souto de Moura seems to perform constantly.

By showing a pronounced sensitivity in their manipulation, he expresses an attitude towards the use of very different elements, chosen by their specific qualities in order to give an answer to a composition theme, to a relation with the existing figurative or physical elements, to the calls produced by a landscape, a sight, a ruin, a testimony of old

Ad Amares avevo a che fare con una rovina totalmente degradata e diroccata, possente, di dimensioni monumentali, costruita con enormi conci di pietra e con un doppio paramento murario. La sua consistenza materica era potentissima. Potevo fidarmi della forza del materiale da costruzione e, apparentemente, anche della composizione degli spazi – che però si sono dimostrati troppo esigui e inadatti a risolvere il nuovo programma – e ho usato liberamente questi materiali, facendo emergere della rovina le tracce della storia antica, inserendole nello spazio contemporaneo. Devo ammettere che questa scelta ha presentato non pochi problemi impiantistici e strutturali – le infrastrutture necessarie al funzionamento di un hotel sono sconvolgenti, in termini di quantità, dimensioni e capillarità – e sarebbe stato molto più facile ricostruire la volumetria ex novo. In effetti, la sfida consisteva nel tentare di preservare il più possibile della struttura originaria mentre la "forzavamo" per alloggiarvi la quantità impressionante di tubi e cavi degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, idraulici ed elettrici. La costruzione finita conserva l'immagine del monumento claustrale medievale, eppure



05

06 | Pousada del Convento di Santa Maria do Bouro, Amares, Portogallo, 1989-1997 «[...] in questo caso la reale esattezza credo consista proprio nell'ambiguità. Era infatti quello un luogo ambiguo...», Pier Paolo Pasolini, *La Divina Mimesis, Appunti e frammenti per il IV canto*, 3, 1963-1975 (pubb. 1975). (foto di Francesco Cancelliere)
Pousada of Santa Maria do Bouro Convent, Amares, Portugal, 1989-1997 «[...] in this case I believe that the real exactness consists precisely in its ambiguity. That was, in fact, an ambiguous place...», Pier Paolo Pasolini, La Divina Mimesis, Appunti e frammenti per il IV canto, 3, 1963-1975 (pubb. 1975). (photo by Francesco Cancelliere)

07 | Stadio Municipale, Braga, Portogallo, 2000-2003 (foto di Francesco Cancelliere)
Braga Stadium, Portugal, 2000-2003 (foto di Francesco Cancelliere)

non è un monastero ri-costruito, piuttosto un edificio moderno, edificato con le antiche pietre del monastero (Fig. 6). Ho ottenuto la continuità storica nell'immagine complessiva dell'edificio e dell'ambiente, usando il cemento come pietra contemporanea, che ricuce, completa e omologa antico e nuovo senza creare fratture troppo profonde.

Ho cercato di evidenziare questa continuità anche nello Stadio di Braga, nel punto in cui l'edificio entra in contatto con la roccia che la cava di Monte do Castro mi consegnava come preesistenza. La pietra si presentava nella sua naturale stratificazione, era bellissima, di una forza poderosa (Fig. 7).

Ho fatto una scelta moderna e antichissima insieme, annullando le soluzioni di continuità tra natura e architettura, accostando lo stadio alla montagna per mettere in contrasto la parete rocciosa, naturale e artificiale – sedimentata nei millenni e portata alla luce dal lavoro di escavazione – con la plastica pietra contemporanea, il cemento. I due materiali stanno davvero bene insieme, mi sembra.

B.B. *I Greci (τέχνη) la intendono come la capacità pratica di operare per raggiungere un dato fine – in quanto basata sulla conoscenza e sull'esperienza del modo in cui è possibile raggiungerlo –; i Latini (ars), come l'esperienza artistica nel suo più proprio valore estetico – lo dimostrano le varie declinazioni di "arte", "art" e "Kunst" nelle lingue contemporanee –; Souto de Moura traduce sinteticamente la parola "tecnica" con quanto è più propriamente pratico e strumentale, basato sull'esperienza conoscitiva e non su una fulminea*

building techniques, of which memory comes to us as a pre-existence.

The word "matter", which expresses in its simplicity several concepts and may convey multiple definitions, in Souto's architecture is more related to interpretation than to etymological translation. Matter is not just the solid body one may see and touch – the empirical and traditional meaning – resisting to the pressure one may apply, preserving its apparently unaltered volume in time; it is not only what is heavy and inert, it is not only what is permanent in time, stable and definitive,

E.S.M. About matter. ...it represents the very foundation of every building action, the very essence of the bodies we may build something with. I think that matter should not be understood but in its wider meaning, as everything entering into the process of transformation, of manipulation, of modifica-

tion, of transplantation in architectural construction. It is so for the landscape – the orography, a rock, a river, a part of a town, colour, sound, light (Fig. 5); for the materials and technique of history; for the memory of obsolete tools, techniques and technologies, called to interpret modernity – steel, glass, plaster, brick, stone.

For every material I set an identity and a specific value without assuming it as prevalent or preferable to others. At least in the initial phase of the working process, each and every material may be suitable in order to solve a building problem.

In Amares I had to cope with a totally damaged and destroyed ruin, powerful, of monumental scale, built with enormous ashlar, in a double wall stonework. Its materic compactness was powerful. I could rely on the strength of building material and, ap-



ispirazione o genialità. Essa interpreta più un'apassionata ricerca sulla storia delle tecniche costruttive che un dichiarato impegno nella direzione dell'innovazione tecnologica. Questo principio è esplicito anche negli edifici più progressisti e in quelli che mettono in mostra la verità costruttiva che sottende alle scelte materiche o, più in profondità, che intride l'essenza dell'intero progetto.

E.S.M. Sulla tecnica. Non penso mai a un materiale o a un si-



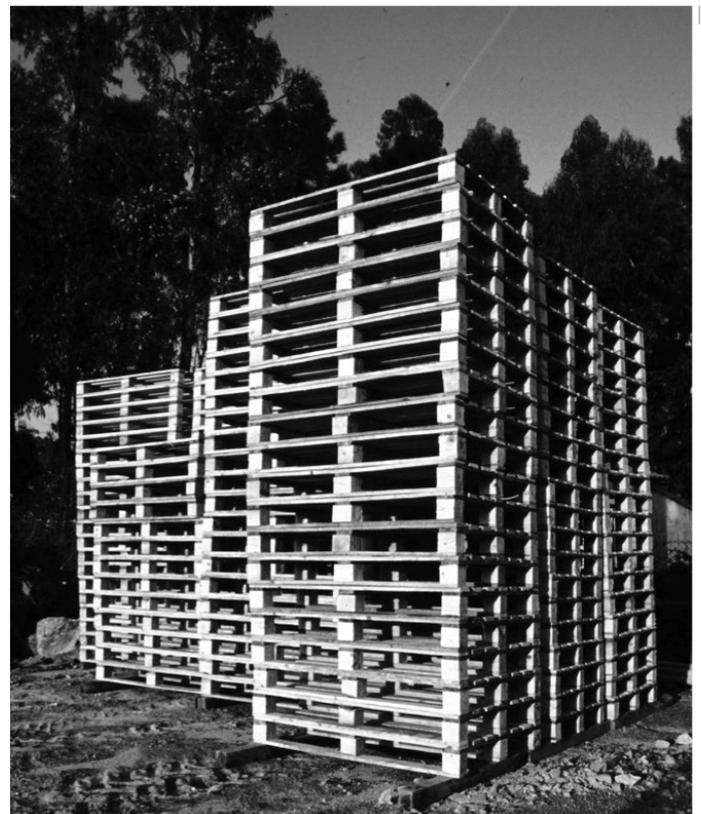
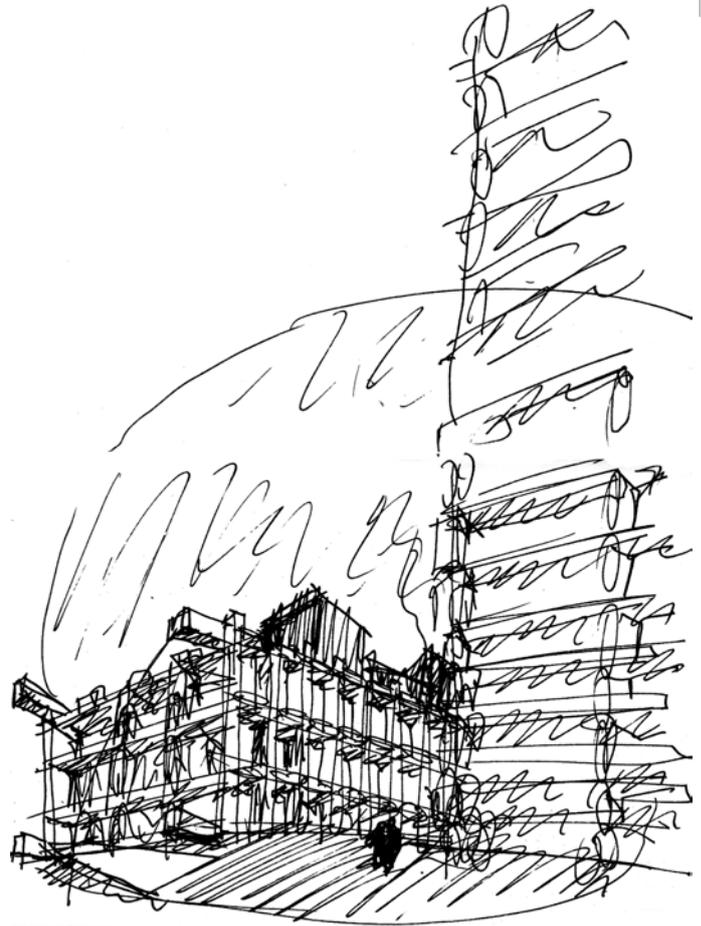
stema costruttivo migliore o peggiore di un altro, ma solo al materiale migliore che posso usare per ottenere l'effetto che voglio raggiungere, e all'unico sistema costruttivo verso cui il materiale mi indirizza. Uso materia e tecnica in funzione di quello che sono in grado di offrirmi, alla loro bontà e alle loro potenzialità. Li sostituisco più e più volte nel tempo, se necessario. Non mi ostino a farne un uso obbligato, ma devo ammettere che, nell'immaginare uno spazio, spesso mi affeziono a un materiale e mi incaponisco a volerlo sperimentare, per il puro desiderio di testarne le potenzialità, o a utilizzare una tecnica, solo per la curiosità di comprenderne l'efficacia costruttiva o estetica.

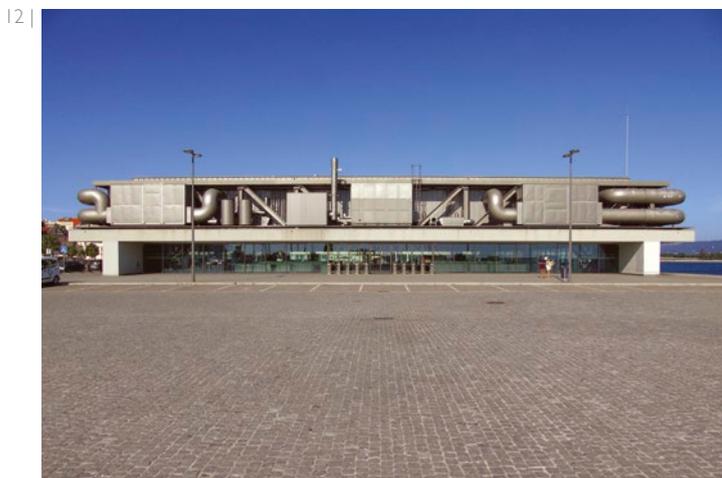
In alcuni casi, ma solo in un secondo momento, quando uso la tecnologia in termini linguistici entra in gioco anche l'aspetto comunicativo. La Torre Burgo somiglia a una miscela di tecnica costruttiva e linguaggio: il trattamento esterno denuncia l'essere-a-incastro dell'edificio (Figg. 8, 9, 10); nelle case di Rua do Teatro in facciata il telaio metallico, le travi, i solai, i bulloni, i sistemi di fissaggio (Fig. 11); nel Padiglione di Viana do Castelo, i sistemi strutturale, tecnologico, impiantistico, tutti insieme, sono trattati in modo autonomo rispetto all'edificio e "ospitati" sui fronti esterni (Fig. 12) – dei quali disegnano la figura – e per questo sono stati trasferiti in una dimensione comunicativa (Fig. 13).

Lo Stadio di Braga ha rappresentato la sfida più alta che io abbia mai affrontato, sul piano tecnico, impiantistico e strutturale (Fig. 14), sia per la dimensione dell'opera, il suo carattere collettivo – deve contenere un pubblico di più di 30000 persone – e le necessarie misure di sicurezza richieste dal programma, sia per lo schema strutturale che abbiamo applicato – una sequenza di setti in calcestruzzo che sorreggono le due piastre delle tribune

parently, on the spatial arrangement – which nonetheless turned out to be too scant and unsuitable to solve the new program – so I used freely those materials so that the traces of the ancient history could surface, inserted in the contemporary spaces. I have to admit that this option lead to several structural and plant problems – infrastructures for an hotel are stunning, in terms of dimensions, quantity and extensiveness – and it could be much easier to re-build a totally new volume. As a matter of fact, the challenge was precisely to maintain the existing structure as much as possible, while we were forcing it to house the impressive amount of electrical and hydraulic pipes and cables of heating and cooling plants. The final building preserves the appearance of the medieval cloistered monument, but indeed it is not a rebuilt monastery, it is rather a modern

building, erected with the ancient monastery stones (Fig. 6). I achieved the historical continuity in the overall appearance of the building and of its environment, using concrete as a contemporary stone, sewing, completing and adapting the new and the old without creating too deep fractures. I tried to show the same continuity in the Braga stadium, in the very point the building touches the rock the Monte do Castro quarry delivered to me as a pre-existence. Stone displayed itself in its natural stratification, it was beautiful, powerful and strong (Fig. 7). I made an ancient yet modern choice, abolishing all continuity breaks between nature and architecture in order to show the contrast between the rocky side of the mountain, both natural and artificial – sedimented in the millennia and brought to light by excavation – and the plastic contemporary stone:





10 | Torre Burgo, Porto, Portugal, 1991-2007, cantiere (Archivio fotografico di Eduardo Souto de Moura)

Burgo Tower, Porto, Portugal, 1991-2007, building site (Eduardo Souto de Moura's Photos Archive)

11 | Edifício ad apartamentos in Rua do Teatro, Porto, Portugal, 1995 (foto di Francesco Cancelliere)

Residential building in Rua do Teatro, Porto, Portugal, 1995 (photo by Francesco Cancelliere)

12 | Padiglione Multiuso, Viana do Castelo, Portugal, 2008-2013 (foto di Francesco Cancelliere)

Multi-purpose Pavilion, Viana do Castelo, Portugal, 2008-2013 (photo by Francesco Cancelliere)

13 | Padiglione Multiuso, Viana do Castelo, Portugal, 2008-2013 (foto di Francesco Cancelliere)

Multi-purpose Pavilion, Viana do Castelo, Portugal, 2008-2013 (photo by Francesco Cancelliere)

the concrete. Both materials fit together well, I think.

B.B. *The Greeks (τέχνη) understand it as a capability of operating in order to attain a specific aim – for it is based on the knowledge and the experience of how to reach it –; Latins (ars) as the artistic experience in its specific aesthetic value – as proved by the many declensions of “art” and “Kunst” in contemporary idioms –; Souto de Moura synthetically translates the word “technique”*

into something specifically practical and instrumental, based on experience and knowledge and not only on fierce inspiration or brilliance. The word reads more into a passionate research about building technique rather than in the technological innovation path. This statement is evident even in the more progressive buildings, the ones showing the constructive truth subtended to the material options, or, in a deeper insight, the ones soaking the essence of the entire project.

E.S.M. About technique. I never think to a material or to a building system as being better or worse than any other, but only to the better material I can use to achieve the effect I have in my mind and to the only building system the material leads me to. I use technique and material based on their capability of offering something to me, on their qualities and values and on their potentialities. I change them repeatedly in time, if necessary. I do not insist in using them in a mandatory way, but I

have to admit that I often grow fond of a material, when I figure out a space, and I carry on in experimenting it, just for the desire to test its potentialities; or in using a technique, just because I am curious of understanding its constructive or aesthetic effectiveness. In some other situations – but only in a further phase, when I use technology in a linguistic mode – the communication aspect surfaces. The Burgo tower is a mix up of building technique and language research: the external treat-



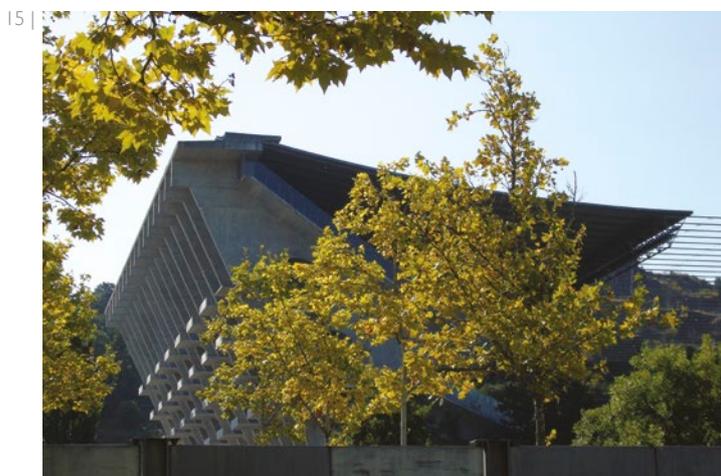
e ancorano le vele di copertura tese con cavi d'acciaio (Fig. 15). Il modo in cui utilizzo i materiali e applico le tecniche costruttive nei grandi edifici non è molto diverso – almeno nel metodo, forse nell'esito – da quello dei progetti di scala minore, le case a patio (Fig. 16), la casa das Artes (Fig. 17), dei progetti che si confrontano con l'antichità, o che risolvono i temi specialissimi dell'archeologia e del sacro. Non faccio differenze nel lavorare su edifici grandi o piccoli, sui monumenti storici o sugli spazi contemporanei, perché non sono moralista con il patrimonio, e, quando sono chiamato a intervenirevi, leggo, interpreto, scelgo, verifico e costruisco.

In questo mi sento davvero postmoderno, perché uso la storia in totale emancipazione intellettuale e progettuale. Non sono interessato a imbalsamare gli edifici e ad allontanarli dalla vita, relegandoli al ruolo di oggetti-da-guardare-a-debita-distanza, ma penso sia importante coinvolgerli come soggetti attivi negli spazi dell'abitare contemporaneo. Per questo prendo la storia – tutta la storia, il mondo antico, i Greci, i Romani, Mies, Le Corbusier, i cinque punti dell'Architettura Moderna – e la uso per sciogliere i miei nodi progettuali. Della facciata continua, della finestra orizzontale, per esempio, che contengono tutta la carica innovativa e la straordinaria coerenza teorica del Movimento Moderno, io faccio un uso disincantato, non più ancorato allo stato di necessità e al rigore di allora. Le impiego per un interesse personale di sperimentazione e di verifica, perché le trovo ancora utili per risolvere un problema costruttivo contemporaneo. Mi sento libero di utilizzare il passato con questa indipendenza, pur con coerenza e onestà, con un'intenzione molto diversa da quella dei postmoderni, quelli veri, ma con un atteggiamento profondamente postmoderno nella pratica.

In relazione al carattere di ciascun edificio, scelgo di applicare una tecnica tradizionale o una più innovativa, vaglio le potenzialità offerte dal loro utilizzo, l'esito delle loro applicazioni e le loro implicazioni in termini costruttivi, economici e materici. Cerco nomi e cognomi di operai locali che hanno lavorato in quel luogo, o su quell'edificio, e che possiedono i segreti delle antiche tecniche costruttive. Quando mi trovo a intervenire su un rudere antico, prendo il mio moderno telefonino e chiedo "Come si fa il cocciopesto?", "Come miscolo la calce pigmentata?"... trovo sempre qualcuno che conosce qualcuno che lo sa fare. Così lo faccio.

B.B. *Architettura è spazio definito e contenente. Luogo in cui si compie l'abitare, che si esprime in attività, gesti, movimenti, stanzialità, memoria. Molti sono gli aspetti che concorrono alla sua definizione, dal trattamento delle superfici che lo delimitano e definiscono, alla luminosità, la proporzione, il colore, l'accessibilità, la percezione...*

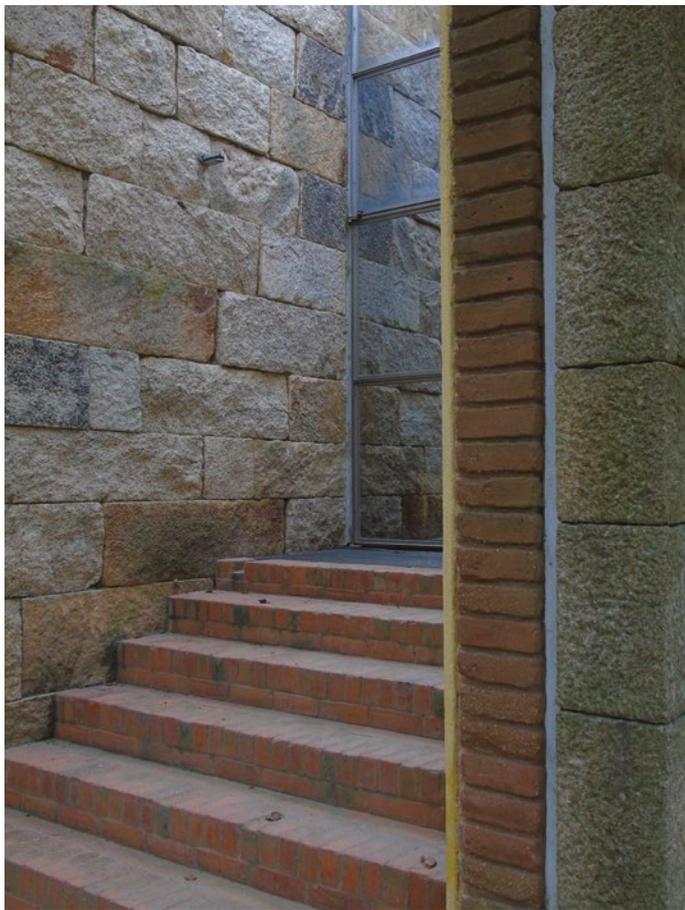
E.S.M. **Sullo spazio.** Non mi è mai interessato fare "il grande



15 | Stadio Municipale, Braga, Portogallo, 2000-2003 (foto di Francesco Cancelliere)
Braga Stadium, Portugal, 2000-2003 (photo by Francesco Cancelliere)



16 | Case a patio, Matosinhos, Portogallo, 1993-1999 (foto di Francesco Cancelliere).
Patio-Houses, Matosinhos, Portugal, 1993-1999 (photo by Francesco Cancelliere)



gesto”, né incidere il territorio con “grandi segni”. Piuttosto i miei edifici nascono sempre da uno stato di “incertezza positiva” che mi accompagna lungo tutto il percorso progettuale. I dubbi sono moltissimi e mi costringono a dare risposte a un’infinità di questioni, e questo continuo battibecco sulla coerenza, l’adeguatezza, la fattibilità, la bontà di un’idea porta inevitabilmente il progetto a innestarsi, aderire e adattarsi ai luoghi, al divenire

ment openly denounces the mortise-joint nature of the building (Fig. 8, 9, 10); in Rua do Teatro housing I brought the iron framework out to the façade: beams, slabs, rivets, mounting systems (Fig. 11); in Viana do Castelo multi-purpose pavilion, all the structural, mechanical and plant systems are dealt with autonomously, in relation to the building, and they are harboured on the external façades (Fig. 12), which are designed by them, so that they are moved to a communicative dimension (Fig. 13).

Braga stadium is the hardest challenge I ever faced, both on a technical, structural and plant level and on a scale level (Fig. 14): it has a collective character – it must house a public of more than 30000 spectators – so the program requires strong safety measures and we opted for a specific structural scheme – a sequence of concrete walls support-

ing two grandstand slabs and anchor the covering canopies held by tensed up steel cables (Fig. 15).

The way I employ materials and adopt building techniques in big buildings is not too different – at least in the method; maybe it is in the result – from the small scale buildings, such as the patio houses (Fig. 16), the Casa das Artes (Fig. 17), the projects dealing with ancient pre-existences or with the very peculiar themes of archaeology and sacred spaces. It makes no difference to me to work on small scale or large scale buildings, on historical monuments or present day spaces, because I am not a moralist when it comes to deal with historical heritage: when I am called to make an intervention in it, I read, I study, I understand, I check and I build.

From this point of view, I really feel I am post-modern, because I use history

della loro storia, a volte a mimetizzarsi in essi.

Le mie ricerche si concentrano sulla dimensione, la proporzione, l’orientamento e la connessione: e da queste ricerche deriva il carattere degli spazi che disegno. Cerco di progettare architetture appropriate e necessarie, sia le nuove, sia le antiche, che vanno ripensate e ricostruite ex novo. Spesso accade che in queste ultime sia il materiale antico già presente in loco, a definire la struttura e la qualità degli spazi. Questo mi facilita moltissimo: le preesistenze sono di grande aiuto in fase di progettazione perché suggeriscono una possibilità reale e già positivamente vagliata, e instillano un gratificante sentimento di correttezza e di coerenza. Io non faccio altro che studiare i materiali disponibili, comprenderne i caratteri e usarli nel progetto.

B.B. *Nella pratica della progettazione e della costruzione, il tema “innovazione” è imprescindibile, in una contemporaneità che impone la grande velocità ideativa, l’incremento e l’accelerazione della produttività, la sistematizzazione. Questi stimoli inducono ad affrontare sforzi ingenti un progettista come Souto de Moura, la cui pratica e il linguaggio si sono affinati negli anni della trasformazione tecnologica, da tradizionale a innovativa.*

E.S.M. Sull’innovazione. L’innovazione mi interessa solo se consiste nella ricerca di soluzioni a problemi pratici specifici. Non la ritengo un tema a priori nella pratica del progetto e la applico in modo acritico.

Lavoro da più di trent’anni con strumenti molto semplici, il disegno e i modelli tridimensionali, ma oggi nel mio studio non posso fare a meno dei giovani che elaborano digitalmente gli schizzi; affronto la professione con l’ambizione di sperimentare soluzioni coerenti con il luogo, nelle case a patio come negli edifici a torre

in total intellectual and project emancipation. I am not interested in fixing the existing buildings and in removing them from life, dooming them to the role of look-from-safe-distance objects; I rather think it is important to involve them as active subjects in the contemporary living spaces. This is why I look at history – all of it: the ancient world, the Greeks and Romans, Mies, Le Corbusier and his five principles of Modern Architecture – and I use it to solve my design problems. As an example, I use the curtain wall façade or the horizontal window – the elements that convey all the innovative issues and the extraordinary theoretical coherence of the Modern Movement – in a very disillusioned way, not linked anymore to the state of necessity and strictness of their original epoch. I use them in a personal research and test perspective, because I find they are

still useful to solve a contemporary design problem. I feel free to use the past with such an independence, but also with coherence and honesty, with very different purposes from the post-modern architects, the true ones, but with a deeply post-modern attitude in practice.

In relation to the specific character of each building, I choose to adopt either a traditional technique or a more innovative one, I test the potentiality linked to their use and their outcome in building, economical and material terms. I look for names and surnames of local workmen active in that specific site or building, the ones who keeps the knowledge and the secrets of the ancient techniques. When I find myself working on an ancient ruin, I pull my very modern cell phone and ask someone: “How do you make cocciopesto?”, “How do I mix lime and pigments?”...

per uffici o appartamenti; mi applico alla sperimentazione tipologica quanto a quella tecnologica, nella esclusiva misura della loro necessità e della loro conformità in termini spaziali e costruttivi e della loro capacità di risolvere problemi reali; in questa sperimentazione baso la mia idea di innovazione (Fig. 18). Non sono intenzionato a rifondare l'architettura, né a scrivere un capitolo nuovo nella storia della costruzione, ma piuttosto – moltissimo – a interpretare l'innovazione nella pratica del mio lavoro, facendo al meglio ciò che ho imparato a fare, con le energie che mi sono messe a disposizione in termini logistici, tecnici e, inevitabilmente, economici.

Ho lavorato a lungo a contatto con Fernando Távora e, ancora oggi, lavoro in qualche occasione con Siza, e posso dire che ciò che dell'architettura, della tradizione e della modernità, ho appreso e apprendo dai miei maestri ha segnato profondamente il mio approccio alla progettazione. Al contempo mi preoccupo di studiare e di sperimentare la materia e le tecnologie innovative, che non possono mai negare la relazione imprescindibile tra principio costruttivo e verità materica.

Nel mondo contemporaneo, che prima di tutto richiede a un progettista velocità – ideativa e produttiva –, economicità e una buona dose di esibizionismo mediatico, ho paura che il mio approccio sia un po' anacronistico, che si fondi troppo su un "abuso" del tempo che il pensiero continua a chiedermi e che la committenza non mi concede, e su una ostinata adesione alla realtà che non ammette deroghe.

Mi entusiasmano le sfide che pone il futuro, ma continua a non affascinarmi la dimensione immateriale del progetto, la sua comunicatività astratta, perché la costruzione ha bisogno di materia, e l'architettura è, prima di tutto, prima del pensiero e del

I'm always able to find someone who knows how to do. Then I do it.

B.B. *Architecture is defined and containing space. The place where the dwelling is fulfilled, where it expresses itself in activities, in gestures, in movements, in residence, in memories. There are several aspects contributing to its definition, from its delimiting surfaces treatment to its brightness, light, proportion, colour, accessibility, perception...*

E.S.M. About space. I was never interested in either making "the great gesture" or marking the territory with "great signs". My buildings are rather born in a state of "positive uncertainty" following me through the design process. The doubts arise in great abundance and they compel me to answer endless questions; this continuous quarrel about coherence, suitability, feasibility, goodness of an idea inevi-

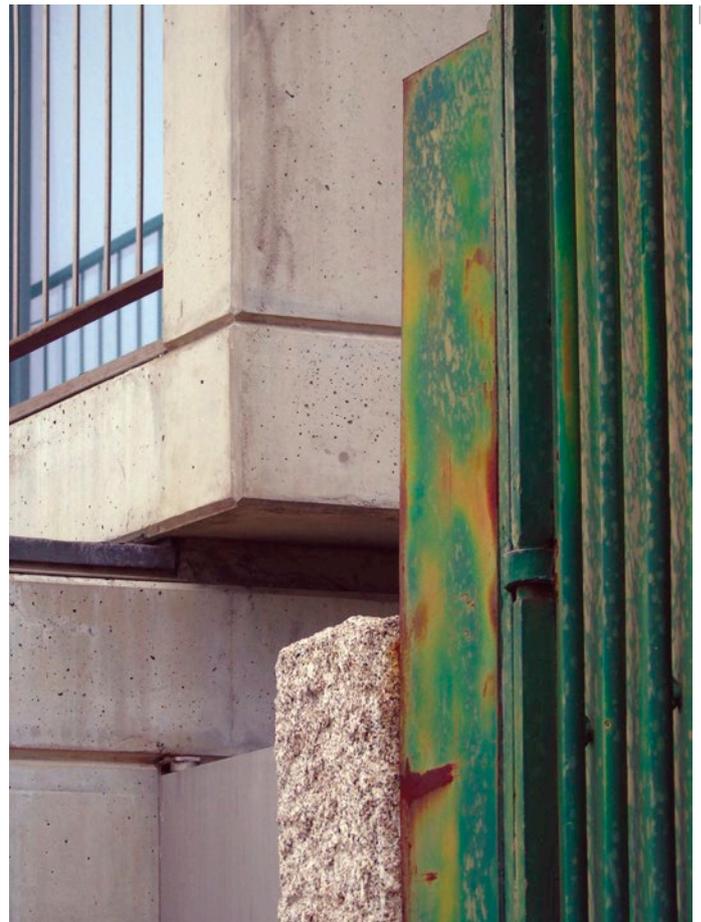
tably leads the project to graft to, to adhere to and to adjust to places and to their historical becoming, and sometimes even to conceal within them.

My researches focus on dimension, proportion, orientation and connection: from these researches the character of the spaces I draft flows. I try and design suitable and necessary architectures, both the new and the ancient ones, which must be re-thought of and rebuilt ex novo. It often happens that the existing material of the last ones, already available in loco, defines the structure and the quality of spaces. This simplifies my work: pre-existing elements are of a great help in the design phase, because they suggest a real and positively tested possibility and they instill a gratifying feeling of coherence and correctness. What I mostly do is studying the available materials, understand their character and use them in the design.

progetto, costruzione.

B.B. *L'architettura di Souto de Moura parla il linguaggio universale della materia, sincero, schietto, immediato: l'intonaco bianco, steso sulle facce dei volumi limpidi, esposto alla intensa luce portoghese, è lo strumento utilizzato per esaltare il magico rapporto cromatico e linguistico tra natura e artificio; il cemento armato, plastico, marchiato indelebilmente dal legno dei casseri, traduce una profonda affezione alle tecniche affinate nella storia, che, nelle mani di artigiani contemporanei, si evolvono pur conservando il legame con la tradizione; il materiale lapideo, il cui uso massivo potenzia i caratteri di permanenza e di gravità dell'architettura, è essenza e presenza dello spazio: le pietre fisicamente abitano l'architettura e non si limitano a definirne i contorni...*

E.S.M. **Ho una grande fiducia nella pietra.** ...la pietra è un materiale fantastico, ecologico ed economico, pittorico e comunicativo. Non ho mai incontrato una pietra brutta, non credo esista: la pietra è sempre meravigliosa, ha superfici, colori e tessiture bellissime. Produce un'architettura solida, che ambisce ad essere





molto vera.

Anche oggi, come una volta, può essere usata come materiale strutturale perché non dà problemi di isolamento termico e acustico se tagliata in spessori superiori ai cinquanta centimetri, ha una notevole tenuta agli sforzi di compressione e si presta alla sinergia con l'acciaio per sostenere trazione e taglio. La pietra strutturale ci aiuta anche a interpretare e ben progettare il sistema impiantistico, che non dovrebbe mai incidere la muratura, e indebolirne la forza materica ed espressiva.

È una pazzia, quella di investire tanto nella costruzione di un muro meraviglioso in pietra naturale o in cemento, di nascondere con un altro muro in laterizio, di distruggerne la metà per collocarvi i cavi, i tubi e gli interruttori, per poi ricucire, tamponare e ricostruire il muro una seconda volta. Una goffaggine del processo costruttivo.

Molto più sano e intelligente sarebbe dare autonomia all'impiantistica, mostrarla, accettarne la complessità e il fascino, studiare un nuovo linguaggio per la sua definitiva ammissione nell'interità dello spazio abitabile, e lasciar parlare il muro, farlo respirare, conservarne la potenza e l'identità. Ma non arrivo a farlo nei miei progetti; ahimè, non me lo lasciano fare!

Nella Cappella per il Vaticano (Fig. 19) sono però riuscito a sperimentare l'uso massivo della pietra di Vicenza, con esiti pregevoli, per realizzare un recinto sacro con blocchi modulari, una soglia, un percorso, un piccolo patio all'aperto, uno spazio interno coperto da due lastre monolitiche. Non doveva essere propriamente una cappella, né un sepolcro, ma un santuario, a scala ridotta. Volevo uno spazio austero e intimo, piccolissimo e unitario, solitario, dove si potesse stare seduti ad aspettare, con i piedi nella terra e la testa tra le mani, e dove, come in una mo-

derna archeologia, si potessero leggere le tracce di un nartece, di un ambone con l'altare e la croce: una lastra di pietra distesa sul pavimento (Fig. 20), un blocco lapideo lavorato sull'appoggio a terra per librare a pochi centimetri dal pavimento, una fresata orizzontale incisa a cavallo di due conci accostati (Fig. 21).

All'inizio pensavo di usare il calcestruzzo, poi il contatto con il luogo, i confronti e le discussioni con un grande amico, Francesco Dal Co, la disponibilità di un materiale locale meraviglioso, la capacità tecnica di lavorazione di veri "mastri lapidei", tutto questo mi ha fatto cambiare idea. E ho costruito in pietra. Il materiale è potente, autosufficiente e completo nel comunicare l'architettura e nel definirne i caratteri, sia nella superficie sia nella sostanza, si presta a essere inciso, accostato, sovrapposto, a interpretare compiutamente il tema della costruzione, proprio come nell'antichità.

B.B. In design and construction practice, the theme of "innovation" is unavoidable in present days dictating great creative speed, increase and acceleration in productivity and systematization. Those inputs lead a designer like Souto de Moura – whose praxis and language came into form and became more refined in the years of technological transformation from traditional to innovative – to make a great effort.

E.S.M. About innovation. Innovation interests to me only when it consists in the research of solutions to specific practical problems. I do not consider it an a priori design theme and I do not employ it without questioning. I've been working for more than thirty years with very simple tools, drawings, models, but today in my office I can't do without young collaborators who digitally develop my sketches; I deal with my profession with the desire of

testing solutions coherent with the site, both in patio houses and in high-rise buildings for apartments or offices; I commit myself to both typological and technological experimentation, just as long as it is necessary, complies with the spatial and building issues and is able to solve real problems: I base my idea of innovation on this kind of experimentation (Fig. 18). I don't have the ambition of re-founding architecture, nor of writing a new chapter in the history of building technology; I rather aim – strongly – to interpret the innovation in my working practice, doing the best that I can the things I learnt to do, with all the energies and resources available in logistic, technical and of course economic terms.

I worked a lot along with Fernando Távora and, yet in present days, I work sometimes with Siza; I can say that what I learnt from my masters and

teachers, in terms of architecture, tradition and modernity, deeply marked my approach to design. At the same time I am concerned with studying and testing innovative materials and techniques, that may never deny the unavoidable relation between building principles and material reality.

In present days world, a designer is first of all required to be fast – in both creative and production phases – to aware of economy and to be quite a media exhibitionist; I sometimes feel that my approach to profession is a bit out of date, based as it is on both the "overuse" of time required by thinking and not granted by clients and my stubborn bond to reality, which does not allow exceptions. I feel excited by the challenges raised by the future, but I am not fascinated by the immaterial dimension of the project, its abstract communication, because building needs matter and ar-

chitecture, before being thinking and design, is building.

B.B. Souto de Moura's architecture speaks the universal language of matter, sincere, straightforward, immediate: the white plaster, laid out on the faces of the pure volumes, exposed to the bright portuguese light, is the tool used to enhance the magical chromatic and linguistic relation between nature and artifact; concrete, plastic and permanently marked by the mold wood, conveys a deep affection to the historically refined techniques, which evolved in the hands of present day craftsmen, although keeping the bond with tradition; the stone, which enhances the character of permanence and weight in architecture when used massively, is the essence and the presence of space itself: the stones dwell physically in the architecture, they are not meant only for defining its limits...

20 | Cappella per la Santa Sede, Isola di San Giorgio, Venezia, 2018 (foto di Barbara Bogoni)
Cappella per la Santa Sede, San Giorgio's Island, Venezia, 2018 (photo by Barbara Bogoni)

21 | Cappella per la Santa Sede, Isola di San Giorgio, Venezia, 2018 (foto di Barbara Bogoni)
Cappella per la Santa Sede, San Giorgio's Island, Venezia, 2018 (photo by Barbara Bogoni)

NOTE

¹Herberto Helder de Oliveira (1930-2015), considerato uno dei più originali poeti di lingua portoghese. Il poema "Memoria Montagem" è contenuto nella raccolta *Photomaton e Vox*, Lisbona, 1979.

²Rainer Maria Rilke, *Lettere a un giovane poeta*, (1929), Adelphi, Milano 1980.



E.S.M. I deeply trust the stone. ... stone is a fantastic material, ecologic and economic, pictorial and communicative. I never found an ugly stone, I don't think it exists: the stone is always wonderful, it has beautiful surfaces, colours, textures. It produces a very solid architecture, with the ambition of being deeply true. Even today, like in past times, it can be used as a structural material, because it raises no problems of thermal insulation when cut in blocks more than 50cm thick, it has a great resistance to compression and works effectively with steel to resist to traction and cutting stress. The structural stone helps us to better understand and design the plants systems, which should never carve the walls and weaken their material and expressive strength. It's absurd to make such a great investment in building a wonderful natural

stone or cast concrete wall, and then hide it with a second brick wall, destroy half of it to let the cables, pipes and switches be installed, and finally mend and build the wall again. It's a clumsiness of the building project. It would be much more sound and clever to give autonomy to plants, to show it, to accept its complexity and its charm, to study a new language for its admission in the internal quality of inhabited space and let the wall speak, let it breathe, keep its strength and identity. But I cannot do that in my projects, I am not allowed to! In the chapel for Vatican (Fig. 19) I was nonetheless able to test successfully the massive use of Vicenza stone to build a sacred enclosure out of modular blocks: a threshold, a path, a small open-air patio, an interior space covered by two monolithic slabs; the result was excellent. It should not be exactly a

chapel, nor a sepulchre, but a sanctuary, at a reduced scale. I wanted an austere and intimate space, tiny and uniform, solitary, where one may sit and wait, with his feet on the ground and the head in his hands, where the traces and marks of a narthex, an ambon, an altar and a cross could be recognized as in a modern archaeology: a stone slab laid down on the ground (Fig. 20), a stone block carved near its contact surface to the ground, in order to let it float apparently few centimetres above the floor, an horizontal milling carved cross the joint between two close ash-lars (Fig. 21). At the beginning, I thought I could use cast concrete, but after the first contact with the place and the debates and exchanges of view with a great friend of mine, Francesco Dal Co; after recognizing the availability of a wonderful local material and the technical capacity of

true "master stone carvers", all of this made me change my mind. I then built using stone: the material is powerful, self-sufficient and complete in communicating architecture and in defining its characters, both in surface and in substance; it can be carved, put close, overlapped, to fully interpret the theme of building, precisely like in ancient times.

NOTES

¹Herberto Helder de Oliveira (1930-2015), is considered as one of the most original poets in portuguese language. His poem "Memoria Montagem" ["Memory Editing"] is contained in the collection *Photomaton e Vox*, Lisbon, 1979.

²Rainer Maria Rilke, *Letters to a young poet* (1929).

English translation by Francesco Cancelliere

a cura di/edited by Francesca Giglio

Materia è progetto. Un titolo fortemente rappresentativo dei caratteri fondanti la disciplina della Tecnologia dell'Architettura in cui la Cultura dei materiali e quindi la conoscenza degli stessi da un punto di vista storico, prestazionale, applicativo, ne rappresenta uno dei principali punti cardine e un campo in continua evoluzione. Lo studio della *Materia* è sempre stato di particolare interesse per i filosofi, per i fisici, per i teorici. Alla parola *Materia* possono essere associati molti termini: Innovazione, Tradizione, Cultura, Scienza, Industria, Economia. Ma è il termine *Progetto* che le rinsalda, le connette, le interpreta. «Parlare di materiali significa parlare di architettura. [...] Oggi, la generazione di progettisti cui appartengo sta conoscendo trasformazioni epocali a causa del progresso tecnologico e anche a causa di nuove discipline che stanno entrando con forza anche nel campo del progetto» (Botta, 2016), spiega Mario Botta nella sua lectio "I materiali dell'architettura" al Politecnico di Milano.

I quattro testi proposti dalla Rubrica *Recensioni* vogliono rappresentare tale evoluzione e l'estensione del Tema nell'ambito produttivo, costruttivo e di processo. I criteri di scelta dei Testi, sono legati alla volontà di essere rappresentativi dei Topic della Call nell'attuale dibattito scientifico e si distinguono in tre tipologie: Testi riguardanti specificatamente l'ambito disciplinare; Testi affini all'Area Architettura, riconducibili a problematiche della disciplina; Testi di analisi critica/saggi sul Tema. Il primo, inerente al Tema affrontato in ambito disciplinare è "Transmaterial Next: A Catalog of Materials That Redefine Our Future" (2017) – edito da Princeton Architectural – di Blaine Brownell, Professore Associato presso la Scuola di Architettura dell'Università del Minnesota, tra i più eminenti studiosi di materiali avanzati per l'Architettura e il Design e autore di numerose pubblicazioni sul

tema. Attraverso la canonica modalità di Brownell di descrivere i materiali mediante termini e concetti chiave che ne esaltano la capacità performante di innovare, trasformare, progettare l'ambiente fisico, il testo continua a rimanere un forte riferimento teorico per i cultori dell'innovazione materica. Ingrid Paoletti, Professore Associato in Tecnologia dell'Architettura al Politecnico di Milano, propone una recensione analitica, in cui evidenzia non solo le diverse categorie di materiali innovativi e le peculiarità espressive e sensoriali, ma principalmente le modalità sperimentali e di ricerca con cui sono stati sviluppati, grazie alla collaborazione di centri di innovazione e università. Una necessità, quella di proporre nuove catalogazioni innovative per i materiali che possono rappresentare il futuro, è un concetto ripreso anche nel secondo Testo. Quest'ultimo, dal titolo: "La sensorialità dei materiali" (2015), di Andrea Lupacchini, Ricercatore in Design Industriale all'Università degli Studi di Camerino – edito da Franco Angeli – è un testo a carattere generale, ma affronta problematiche del Settore Disciplinare affini all'area Architettura, in particolare dell'area del Design. Il testo si concentra sulla necessità da parte del progettista di conoscere le qualità sensoriali dei materiali, che influenzano emotivamente l'utente, determinandone specifiche reazioni. Christina Conti, Professore Associato in Tecnologia dell'Architettura all'Università degli Studi di Udine, recensisce il testo puntando l'attenzione sul controllo e la conoscenza delle prestazioni dei materiali, quale mezzo per poter arrivare alla sperimentabilità nella forma e negli usi. Il campo d'indagine si sposta soprattutto sulle innovazioni dei processi produttivi dei materiali, attraverso un catalogo di trentacinque materiali identificati dall'autore tra quelli comunemente impiegati nell'ambito attuale del disegno industriale.

Matter is design. A title strongly representative of the basic characteristics of Technology of Architecture discipline in which the Culture of materials and therefore the knowledge of the same from a historical, performance, application point of view, is one of the main cornerstones and a field in continuous evolution. The study of *Matter* has always been of particular interest to philosophers, physicists, and theorists. At the word *Materia* many terms can be associated: Innovation, Tradition, Culture, Science, Industry, Economics. But *Project* is the term that strengthens, connects, interprets them. «Talking about materials means talking about architecture. [...] Today, the generation of designers I belong to is experiencing epochal transformations because of technological progress and also because of new disciplines that are entering strongly in the field of the project» (Botta, 2016), explains Mario Botta in his lectio "The materials of architecture" at Polytechnic of Milano.

The four proposed texts by the Rubric *Review* are intended to represent this evolution and the extension of the Theme in the productive, constructive and process fields. The criteria for choosing the texts, are linked to the will to be representative of the call's topic in the current scientific debate and are divided into three types: Texts related to the subject in the disciplinary area; Texts to similar problem list of the Sector to the Architecture Area; Texts of critical analysis/essays on the topic. The first one, related to the Topic addressed in the disciplinary field is "Transmaterial Next: A Catalog of Materials That Redefine Our Future" (2017) – published by Princeton Architectural – by Blaine Brownell, Associate Professor at the University of Minnesota's School of Architecture, among the most eminent researchers of advanced materials for Architecture and Design and author of numerous publications on the subject. Through Brownell's canonical modal-

ity of describing the materials through key terms and concepts that enhance their performance capacity to innovate, transform, design the physical environment, the text continues to remain a strong theoretical reference for experts of material innovation. Ingrid Paoletti, Associate Professor in Technology of Architecture at Polytechnic of Milano, proposes an analytical review, in which she highlights not only the different categories of innovative materials and the expressive and sensorial peculiarities, but mainly the experimental and research methods with which they were developed, thanks to the collaboration of Innovation centers and Universities. A need, that of proposing new innovative catalogs for materials that could represent the future, is a concept also recovered in the second text. The latter, entitled: "La sensorialità dei materiali" (2015), by Andrea Lupacchini, Researcher in Industrial Design at the University of Camerino – published by Franco Angeli – is a general text that tackles similar problem list of

the Sector to the Architecture Area, in particular in the Design Area. The text focuses on the need of the designer to know the sensorial qualities of the materials, which influence emotionally the user, determining specific reactions. Christina Conti, Associate Professor in Technology of Architecture at the University of Udine, reviews the text, focusing on the control and knowledge of the performance of materials, as a means to reach at experimentality in form and use. The field of investigation moves especially on the innovations of the production processes of materials, through a catalog of thirty-five materials identified by the author among those commonly used in the current field of industrial design. Although at different scales and with different objectives, Design and Architecture look at each other, transferring and hybridizing in both fields the process and product innovation, as a common language. The *Project*, however, as anticipated, is the field in which each

Seppur a scale diverse e con obiettivi differenti, Design e Architettura si guardano vicendevolmente, trasferendo e ibridando in entrambi i campi l'innovazione di processo e di prodotto, quale linguaggio comune. È il *Progetto* però, come anticipato, il campo in cui ogni specifica disciplinare trova riscontro e si riconosce quale parte integrante di un unico obiettivo, ed è proprio sulla rilevanza del rapporto tra Materiali e Progetto che si basano gli ultimi due testi, entrambi collocati nella categoria dei testi di analisi critica e saggi sul Tema, a carattere generale – i Maestri. Il primo è “La suspension del tiempo: diario de un arquitecto” (2017), edito da Catarata, di Alberto Campo Baeza. Come altri testi del Maestro, anche questo è composto da saggi brevi in cui il valore del Tempo in rapporto all’ *idea costruita* di Architettura, si descrive attraverso contributi di diversi ambiti disciplinari. In tal senso, Maria Pilar Vettori, Ricercatore in Tecnologia dell’Architettura al Politecnico di Milano, ha analizzato il testo traendo il carattere empatico e coinvolgente del pensiero di Campo Baeza. Un pensiero sul valore tra Tempo – Materia – Architettura, connesso al senso della *bellezza*, e alle nuove possibili *categorie* che dalla stessa possono derivare, in tutte le forme di Arte.

I materiali, quindi, come mezzo per la realizzazione dell’Architettura ma anche come mezzo di espressione teorica della stessa. In tale contesto, il rapporto, non sempre sereno, tra Accademia e Professione, diventa da un lato imprescindibile per arricchire il dibattito scientifico attuale, ma anche difficoltoso nel doppio ruolo tra teoria e pratica. È proprio su questo delicato - quanto importante- campo di azione, che si propone l’ultimo Testo “Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti” (2015), edito da Maggioli. Gli autori, Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva

disciplinary specification is reflected and recognized as an integral part of a single objective, and it’s on the relevance of the relationship between Materials and Project that the last two texts are based, both placed in the category of critical analysis and essays on the topic, of a general nature - the Masters. The first is “La suspension del tiempo: diary de un arquitecto” (2017), published by Catarata, by Alberto Campo Baeza. Like other Master’s texts, this too is composed of brief essays in which the value of Time in relation to the *constructed idea* of Architecture is described through contributions from different disciplinary fields. In this sense, Maria Pilar Vettori, Assistant Professor in Technology of Architecture at Polytechnic of Milano, analyzed the text, drawing on the empathic and engaging character of Campo Baeza’s thought . A thought on the value between Time – Materia – Architecture, connected to the sense of *beauty*, and to the new possible *categories* that could

derive from it, in all forms of Art. The materials, therefore, as a means for the realization of the Architecture but also as a means of theoretical expression of the same. In this context, the relationship, not always calm, between academy and profession, becomes on the one hand indispensable to enrich the current scientific debate, but also difficult in the dual role between theory and practice. It is precisely on this delicate – how important – field of action, which proposes the latest text “Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti” (2015), published by Maggioli. The authors, Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva and Matteo Gambaro, professors and assistant professor at Polytechnic of Milano, report the reading of design research experiences carried out from 2000 to 2015, with the aim of demonstrating how the relationship between University and Profession can be an enrichment for the purpose of meeting

e Matteo Gambaro, professori e ricercatori del Politecnico di Milano, riportano la lettura di esperienze di ricerca progettuale svolte dal 2000 al 2015, con l’obiettivo di dimostrare come il rapporto tra Università e Professione possa essere un arricchimento ai fini del soddisfacimento delle nuove esigenze della società contemporanea. Adolfo Baratta, Professore Associato in Tecnologia dell’Architettura all’Università degli Studi Roma Tre, propone una recensione che colpisce nella sua introduzione, come testimonianza della difficoltà di accesso dei docenti al mercato dei servizi, diventando occasione di scontro con l’ambito professionale. La recensione sviscera la problematica e descrive l’importanza di azioni sinergiche tra ruoli e competenze. Attraverso la descrizione delle esperienze progettuali condotte dai docenti e del metodo rigoroso con cui sono state affrontate. Un tema quest’ultimo, che ben conclude la rassegna dei 4 testi, quale testimonianza della difficoltà tra pensiero teorico e fare progettuale e della crisi identitaria in cui l’Architettura contemporanea versa nella sua proposizione, riconoscibilità, materialità. I materiali ne rappresentano l’aspetto più evidente, percorrendo tutte le linee di pensiero che attualmente coesistono, anche scontrandosi. I nuovi rapporti tra Materiali e capacità adattive, ecoattive, biomimetiche, rigenerative, si sviluppano in un contesto in cui la loro espressività, prestazionalità e uso, spesso sperimentale, continua ad alimentare e ad innovare un settore molto consistente della Tecnologia dell’Architettura, in una continua mediazione tra innovazione dei processi costruttivi e tradizione della Cultura materiale del progetto.

the new needs of contemporary society. Adolfo Baratta, Associate Professor in Technology of Architecture at the University of Roma Tre, offers a review that strikes in his introduction, as a testimony of the difficulty of access of professors to the market of services, becoming an opportunity to clash with the professional field. The review dissects the problem and describes the importance of synergistic actions between roles and competences. through the description of the design experiences carried out by the professors and the rigorous method with which they were dealt with. A theme that concludes the review of the four texts, as a testimony to the difficulty between theoretical thinking and design and the identity crisis in which contemporary architecture pours into its proposition, recognisability, materiality. Materials represent the most evident aspect, covering all the lines of thought that currently coexist, even colliding. The new relationships between mate-

rials and adaptive, eco-active, biomimetic and regenerative capacities are developed in a context in which their expressiveness, performance and use, often experimental, continues to feed and innovate a very substantial sector of Technology of Architecture, in a continuous mediation between innovation of construction processes and tradition of project material culture.



Blaine Brownell
TRANSMATERIAL Next- A Catalog of Materials That Redefine Our Future
Princeton Architectural Press New York, 2017

TRANSMATERIAL è una serie curata da Blaine Brownell che cerca di indagare l'ampio significato e il senso della "materia" in architettura con una visione internazionale e un approccio molto interessante: dai prodotti basati su materiali innovativi, a assemblaggi inusuali, dai processi di produzione, alle applicazioni specifiche, sino a una considerazione più ampia di luce e digitale come 'materialità'.

Il libro è il quarto dopo tre edizioni di successo iniziate nel 2005 e parte dall'affermazione che i nuovi materiali sono uno dei mega trend del ventesimo secolo dovuti al progresso nelle nanotecnologie, nello studio delle proprietà chimiche e nell'avanzamento nelle tecnologie del digitale.

La scelta dei materiali ha un'enorme influenza nella progettazione architettonica, modificando non solo la materialità, ma anche l'estetica, le prestazioni e le caratteristiche di un sistema costruttivo. Il libro non riguarda solo i materiali in sé ma anche le idee e il modo in cui sono state sviluppate, un viaggio attorno a centri di innovazione, università, inventori e manifattura, con una struttura a matrice molto interessante che consente diversi tipi di lettura.

Una prima categorizzazione è fatta in relazione alla tipologia dei materiali, che è stata tenuta dall'autore volutamente molto familiare al grande pubblico al fine di evitare una difficile lettura del libro. Infatti le categorie in cui i materiali sono raggruppati sono dieci: cemento, minerale, metallo, legno e biomateriali, plastica

Blaine Brownell
TRANSMATERIAL Next- A Catalog of Materials That Redefine Our Future
Princeton Architectural Press New York, 2017

TRANSMATERIAL is a serie curated by Blaine Brownell which tries to understand the wide meaning and sense of 'material' in architecture with an international focus and a very wide approach: from material-based products to assemblies, from processes to application, to a broader consideration of light and digital as matters.

The book is the fourth after three successful editions started in 2005 and starts from the statement that new materials are one of the mega trends of the twentieth century due to advancement in nanotechnologies, chemical properties and digital environment.

Material choice has an enormous influence in architectural design changing not only the materiality but also aesthetics, performance and characteristics of a specific system.

The book is not only about material but more about ideas and how they have been developed, a journey around innovation centers, universities, inventors and manufacturing with a very interesting matrix structure that allow different type of reading.

A first categorization is made in relation to the typology of materials, that has been kept by the author very familiar to the large public in order to avoid a difficult first reading of the book. In fact the categories in which materials are grouped are ten: concrete, mineral, metal, wood and biomaterials, plastic and rubber, glass, paint and coatings, fabric, light and digital.

Each 'material system' is described in

and rubber, glass, paint and coatings, fabric, light and digital.

Ogni "sistema materiale" è descritto in relazione alla sua fase di *materiale*, di *prodotto* o *processo*.

Oltre a questa lettura diretta, un'interpretazione a matrice è possibile attraverso una categorizzazione che serve a chiarire una significativa trasformazione materiale. Queste classificazioni evidenziano temi importanti condivisi da prodotti diversi e creano connessioni inattese. Le sette categorie sono le seguenti: ultraperformante, multidimensionale, riproposto, ricombinante, intelligente, trasformatore e interfacciato.

Ogni categoria forma una particolare proprietà che fornisce solo un tratto specifico del sistema materiale descritto ma che può lasciare apertura ad altre interpretazioni.

Per evidenziare alcuni dei più interessanti nella nostra prospettiva possiamo citare: *Volumetric light deposition* del Mediated Matter Group di MIT che fa parte di un processo, è nel capitolo della luce e nella categoria interfacciale, o, per esempio, la *interactive surface with augmented* dallo studio Felix Faire nella categoria del digitale o *synthesize spider silk* di Spiber Japan nella categoria ultraperformante.

Un libro molto utile con un modo pratico di leggere le informazioni grazie a una scheda tecnica aggiornata e descritta per comprendere a prima vista l'applicazione, la maturità, i limiti, lo sviluppo futuro e tutti i contatti.

Al giorno d'oggi architetti, designer o ingegneri non possono evitare di cogliere l'opportunità della scienza dei materiali, che sarà sicuramente una delle maggiori sfide della progettazione nel futuro prossimo.

Ingrid Paoletti

its phase of raw material, of product or process.

Besides this straight reading a matrix interpretation is possible through a categorization that serves to elucidate significant material transformation. These classifications highlight important themes shared by dissimilar products and make unexpected connections. The seven categories are as follows: ultraperforming, multidimensional, repurposed, recombinant, intelligent, transformational and interfacial.

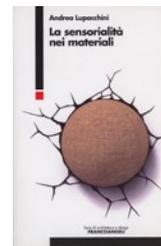
Each category shapes a particular property that gives only a trait to the material system described but that can leave open to other interpretation.

To highlight some of the more interesting in our perspective we can quote: *Volumetric light deposition* from Mediated Matter Group of MIT that is part a process, in the light chapter and in the interfacial category, or, for example,

the *interactive surface with augmented acoustic* from Felix Faire studio in the category of digital or the *synthesize spider silk* by Spiber Japan in the ultraperforming category.

A very useful book in the end with a practical way of reading and with data sheet updated and described in order to understand at a first glance application, readiness, limitations, future development and all the contacts.

Nowadays architects, designers or engineers cannot avoid catching the opportunity of innovation in material science as for sure it will one of the major challenge of design in the near future.



Andrea Lupacchini
La sensorialità dei materiali
Franco Angeli, Milano, 2016

Per imparare a scegliere un materiale, nel complesso e articolato contesto delle attuali produzioni sempre più specializzate, per impiegarlo correttamente e con esso sperimentare forme per ideare nuovi artefatti bisogna conoscerne le prestazioni identificando le caratteristiche fisiche e cogliendo le possibili suggestioni che lo rendono unico ed in quanto tale speciale.

Per sperimentare la forma, un progettista deve saper scegliere il materiale; ne consegue l'importanza di conoscere i materiali in generale con attenzione alla composizione materica, ai processi di trasformazione, alle possibilità di lavorazione e anche ai caratteri propri che definiscono la qualità emozionale, espressivo-sensoriale. Si tratta di caratteri specifici di ogni materiale, che sono definibili e descrivibili, seppur non sempre oggettivamente qualificabili e quantificabili. Sono caratteri speciali propri della essenza della materia e risultato delle diverse e molteplici lavorazioni con cui l'essenza si trasforma con il processo di produzione e composizione per la costruzione dell'architettura e l'ideazione di design; caratteri che condizionano la forma e che con la forma attribuiscono agli artefatti qualità estetica, tecnica, tecnologica e funzionale oltre che emozionale.

Voler conoscere la specificità dei materiali significa avere la consapevolezza che «ogni materiale ha caratteristiche speciali, che è necessario comprendere se vogliamo adoperarlo [...] dobbiamo sempre ricordarci che tutto dipende dal modo in cui lo usiamo e non dal materiale in sé. Anche i nuovi materiali non sono ne-

Andrea Lupacchini
La sensorialità dei materiali
Franco Angeli, Milano, 2016

In order to learn to choose a material in the present background of specialized manufacturing, to use it correctly and to experiment new shapes with it, it is necessary to know its specific performances, identify the physical characteristics and understand the possible suggestions that make it unique and special.

A designer must know how to choose a material to create new artefacts; to be able to do it he has to know the materials with a focus on composition, manufacturing processes, possible modifications and also on the general characteristics that define the emotional, expressive-sensorial quality. These characteristics are peculiar of each material and are typical of the essence

and the result of the different production and design processes with which it is transformed for the construction of the architecture; these characteristics condition the shape of the artefacts and, with the shape, ascribe to the artefacts aesthetic, technical, technological and functional quality as well as emotional qualities.

When someone wants to know the specificity of materials it means that he should have the awareness that «each material has its specific characteristics, which we must understand if we want to use it. [...] We must remember that everything depends on how we use a material, not on the material itself. Also new materials are not necessarily superior. Each material is only what we make of it» (Mies van der Rohe, 1938'). Facing the field of architectural materials is a complex issue that investigates

cessariamente superiori. Ogni materiale è soltanto il risultato del nostro fare» (Mies van der Rohe, 1938').

Affrontare l'ambito materico del progetto è, quindi, una questione particolarmente articolata che indaga natura e processi senza mai prescindere dalle regole formali e dai paradigmi tecnologici; di ogni progettista l'attitudine, più o meno sensibile, a comprendere il valore materico, una abilità esercitata con perizia e supportata da una vasta letteratura scientifica indirizza ai diversi temi del progetto e alle diverse scale dell'architettura.

In questo panorama scientifico, con intento didattico e formativo, si colloca il volume di Andrea Lupacchini dedicato alla comprensione della qualità emozionale, espressivo-sensoriale, dei materiali per il disegno industriale, quella qualità che può concorrere a realizzare oggetti capaci di suggestionare chi li osserva suscitando una potente reazione interiore all'utente. L'utente che sperimenta un oggetto avverte sensorialmente i contenuti caratteristici apprendendoli spesso senza l'intervento della coscienza; la sensorialità è caratteristica del materiale e delle sue lavorazioni e finiture che determinano prestazioni tali da determinare più o meno forti sensazioni. Identificato l'insieme dei caratteri/prestazioni è necessario comprendere quindi anche gli effetti fisiologici sull'utente con la consapevolezza che ogni persona, singola o in relazione con altre, è 'particolare' per abilità, esperienza e condizioni di contesto. L'ambito di indagine privilegiato del volume sono i materiali del disegno industriale in un contesto di lavorazioni avanzate strettamente legate alla sperimentazione di progetto che non si limita ad adottare soluzioni precostituite ma che si confronta con la ricerca della soluzione che meglio risponde alle peculiarità di ogni oggetto in un comparto produttivo consolidato.

nature and processes without ever leaving behind formal rules and technological paradigms; the attitude, more or less sensitive, to recognise the material value is unique for each designer. It is a skill exercised with expertise and supported by a vast scientific literature employed in different themes of the project and scales of architecture.

In this scientific context is contained the book wrote by Andrea Lupacchini whose aim is training young designers; the book's target is to teach how to understand the emotional quality of the industrial design materials: a quality that can contribute to create objects capable of influencing those who observe them, arousing a powerful internal reaction to the user. The user who has a sensorial experiences with design objects usually has it often without the intervention of the conscience; the sensorial capability is a characteris-

tic of the material and of its workings and finishes, that define performances able to generate more or less strong emotions. Once the set of characters/performances has been identified, it is necessary to understand the physiological effects on the user with the awareness that every person, single or in relation with others, is 'particular' in terms of skills, experiences and contextual conditions.

The privileged field of investigation of the book concerns materials of industrial design in a context of advanced workings, closely linked to the experimentation of the project that is not limited adopting pre-established solutions, but which is compared with the research of the solution that best meets the peculiarities of each object in a consolidated production sector. The functional frame of reference deepens the aspects inherent to the

Il quadro di riferimento funzionale approfondisce gli aspetti inerenti alle prestazioni tecnologiche e ai caratteri percettivi con attenzione anche agli aspetti fisiologici inerenti all'utente; i contenuti tecnologici prestazionali e percettivi sono esemplificati nell'intero corpo del volume con la presentazione di oggetti di design che permettono di visualizzare anche gli aspetti più impercettibili e di costruire un concreto quadro di riferimento d'uso con attenzione alle diverse tendenze attuali.

Il volume è organizzato in due parti di cui la prima è costituita da una struttura che con rigore descrive l'ambito introducendo la produzione di materiali per il disegno industriale attribuendo a questi la duplice valenza fisica effettiva e percepita, definisce il tema della sensorialità, ed esplora il contesto di riferimento e le potenzialità del progetto. Di interesse l'esemplificazione delle qualità tattili, visive, sonore, olfattive, gustative e la proposta di un percorso progettuale che pone rilievo alla dimensione sensoriale dei materiali con conseguente descrizione dell'interazione persona-oggetto; attenzione è data ai fenomeni percettivi e alle relazioni che sussistono tra il mondo fisico e il mondo percepito in un contesto fortemente condizionato dalla specificità degli utenti, dal movimento, dalla localizzazione spaziale, dalla destinazione, dalle dimensioni, dagli accostamenti, ecc., più in generale dall'ambiente. Nell'insieme la prima parte, ideata come introduzione didattica ai materiali del design, risulta una interessante occasione anche per i professionisti del design di 'guardare al mondo dei materiali' da un altro punto di vista con conseguente stimolo per sempre nuovi approfondimenti.

La seconda parte del volume completa i contenuti approfondendo trentacinque materiali identificati dall'autore tra quelli comunemente impiegati nell'ambito attuale del disegno industriale.

technological performances and perceptive characters, with a particular attention to the physiological aspects of the user. The performances and perceptive technological contents are exemplified in the whole body of the book with the presentation of design objects that allow to visualize even the most imperceptible aspects and to construct a concrete framework of use, with attention to the different current trends.

The book is organized in two parts, the first of which consists of a structure that rigorously describes the area by introducing the production of materials for industrial design, attributing them the dual physical and perceived physical value, defining the theme of sensorial capability, and exploring the context of references of the project. It is interesting how tactile, visual, sound, olfactory, gustative qualities

are analysed; analogously is fascinating the proposal of a design path that emphasizes the sensorial dimension of the materials, with a consequent description of the person-object interaction. Great attention is also given to the perceptive phenomena and the relationships that exist between the physical and the perceived world in a context strongly conditioned by the specificity of the users, movement, spatial location, destination, dimensions, combinations, etc.: more generally by the environment.

Overall, the first part, conceived as a didactic introduction to design materials, is an interesting opportunity for design professionals to 'look at the world of materials' from another point of view, with a consequent stimulus for ever new insights.

The second part of the book completes the presentation of the context by ana-

lyzing thirty-five materials identified by the author among those commonly used in the current field of industrial design. For each material the basic indications are given with attention to: chemical and physical properties, processing and transformation methods, ergonomic expressive-sensorial characteristics. The technological contents are explained with numerous examples of design products, whose description enriches the reading of information generated on the relationship between shape and function. The author, starting from the assumption that all materials «are to be considered all of equal value» and that «they do not exist, better materials than others, are all potentially valid as long as they are used appropriately»², has chosen to present the thirty-five materials identified in strict alphabetical order, obtaining as a result an original dictionary: a tool to understand current materials and their potential support project experimentation.

Christina Conti

NOTE

¹ Discorso pronunciato da Mies van der Rohe sull'insegnamento dell'architettura quando assunse la carica di Direttore del Department of Architecture all'Armour Institute di Chicago, testo italiano tratto da insegnarearchitettura.blogspot.com, Università degli Studi Roma Tre, Forum 2008-2009 da Casabella.

² Andrea Lupacchini, Franco Angeli, 2016, p. 73.

cal order, obtaining as a result an original dictionary: a tool to understand current materials and their potential support project experimentation.

NOTES

¹ Mies van der Rohe Inaugural Address, 1938; speech given by Mies van der Rohe when he became Director of the Department of Architecture at the Armour Institute of Chicago.

² Andrea Lupacchini, Franco Angeli, 2016, p. 73.

The author, starting from the assumption that all materials «are to be considered all of equal value» and that «they do not exist, better materials than others, are all potentially valid as long as they are used appropriately»², has chosen to present the thirty-five materials identified in strict alphabetical



Alberto Campo Baeza

La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto

Fundación Arquia, Barcelona; Catarata, Madrid, 2017

Alberto Campo Baeza scrive come costruisce, con “calviniana” leggerezza, esattezza e coerenza. Le sue riflessioni sul tema dell’architettura come idea costruita sono state pubblicate in numerosi testi, tradotti in varie lingue, diffuse in differenti ambiti culturali senza mai perdere quel tono di universalità che l’architettura, linguaggio comune a tutti gli uomini, incarna dai tempi della sua nascita.

Il testo *La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto*, edito con il patrocinio della Fundación Arquia – un’istituzione creata con l’obiettivo di promuovere e diffondere progetti di carattere culturale, sociale e formativo nel campo della ricerca architettonica – condensa il pensiero del maestro spagnolo in una raccolta di testi di varia genesi che esprime la chiarezza del suo pensiero e ne evidenzia la coerenza con la sua opera.

I 24 saggi brevi che compongono il testo accompagnano il lettore all’interno di una ricchissima “biblioteca” di riferimenti culturali (visivi, testuali, musicali) provando l’importanza, per la formazione e la crescita di un architetto, della capacità di trarre beneficio e contributo da tutti i campi disciplinari ed esperienziali.

Il testo di apertura chiarisce le ragioni di un titolo affascinante quanto solenne che introduce all’obiettivo centrale dell’azione architettonica, «*arte con razón de necesidad*»: solo l’opera artistica, in quanto creazione della ragione umana, aspira all’eternità. Il tempo, «*tema central de la arquitectura*», declinato come tempo della *utilitas* (la funzione), tempo della *firmitas* (la costruzione), tempo della *venustas* (la bellezza), tempo della *memoria* (la per-

manenza) è ciò che determina quel valore “misterioso” della creazione artistica, quella condizione in cui l’opera trascende la sua creazione, quel senso di sospensione dato dalla “commozione” di fronte all’atto realizzativo.

In un ordine non esplicitato, seguono gli altri saggi, di carattere eterogeneo seppur legati dal linguaggio semplice - nel senso tutt’altro che banale di “non complesso” - ma soprattutto dal filo rosso della costante aspirazione alla *bellezza*, intesa come capacità di un’opera di «arrivare al cuore dell’uomo attraverso la ragione» che innerva tutta l’opera, scritta e costruita, di Campo Baeza.

Alcuni testi raccontano un punto di vista solido e preciso sui fondamenti della disciplina architettonica (la luce, la materia, la costruzione); altri aprono alle memorie personali di architetto e intellettuale per il quale l’esperienza si costruisce di idee, costruzioni, viaggi, letture, momenti, emozioni (come la descrizione toccante della sensazione provata durante la costruzione del Banco de Granada nel momento in cui furono aperti i lucernari dell’atrio centrale e la luce, materia solida entrò nello spazio facendolo «suonare divinamente»). Un’alternanza di teoria e prassi che esprime l’imprescindibilità, in architettura, del rapporto dialogico tra pratica e pensiero e evidenzia il ruolo della memoria, intesa come per Sant’Agostino, come studio e conoscenza, strumenti fondamentali per l’architetto.

L’eloquente sottotitolo del testo, *Diario di un architetto*, dimostra quanto il contributo teorico di Alberto Campo Baeza sia, seppur antiaccademico, profondamente didattico. I riferimenti ai grandi maestri dell’architettura spagnola (De la Sota, Sáenz de Oiza, Carvajal, Fisac) e internazionale (Mies, Le Corbusier, Terragni, Utzon, Niemeyer), il confronto ammirato con i colleghi (Alvaro

Alberto Campo Baeza

La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto

Fundación Arquia, Barcelona; Catarata, Madrid, 2017

Alberto Campo Baeza writes, in the same way he builds, repropounding Calvino’s ideas of lightness, exactness and consistency. His reflections about architecture as built idea have been published in numerous texts and various languages. Widespread in different cultural areas, his message never loses that tone of universality that architecture, a language common to all mankind, has embodied since its birth.

La suspensión del tiempo. Diario de un arquitecto, published under the patronage of the Fundación Arquia – an institution created with the aim of promoting and disseminating cultural, social and educational projects in the

field of architectural research - condenses the thought of the Spanish master into a collection of texts of various genesis, expressing the clarity of his thought and highlighting its consistency with his architectural work.

The 24 short essays that make up the book accompany the reader within a very rich “library” of cultural references (visual, textual, musical), proving the importance of the contribution of all disciplinary and experiential fields to the training and growth of an architect.

The opening text clarifies the reasons for the fascinating and solemn title, which introduces the central objective of architectural action, «*arte con razón de necesidad*»: only the artistic work, creation of human reason, aspires to eternity. The time, «*tema central de la arquitectura*», is declined as a time of *utilitas* (function), time of *firmitas*

(construction), time of *venustas* (beauty), time of *memoria* (permanence). Time is what determines the “mysterious” value of the artistic work, the condition in which the work transcends its creation, the sense of suspension given by “emotion” following the realization. The other essays follow in an unexplained order, presented with a heterogeneous character but still linked by a simple - in the sense, far from trivial, of “not complex” - language. Above all, the essays are linked by the *fil rouge* of the constant aspiration to *beauty*, which innervates the whole work, written and built, of Campo Baeza and which is understood as the capacity of a work of «reaching the heart of man through reason».

Some essays tell a solid and precise point of view on the fundamentals of the architectural discipline (light, matter, construction); others open to

the personal memories of the architect and of the intellectual character, for whom experience is comprised of ideas, constructions, journeys, readings, moments, emotions (as the touching description of the sensation experienced during the construction of the Banco de Granada, when the skylights of the central atrium were opened and the light, solid matter, entered the space making it «play divinely»). An alternation of theory and praxis, which expresses the inescapability, in architecture, of the dialogic relationship between practice and thought, highlighting at the same time the role of memory, understood as for Sant’Agostino, as study and knowledge, fundamental tools for the architect.

The eloquent subtitle of the text, *Diary of an architect*, shows how much the theoretical contribution of Alberto Campo Baeza, even if antiacademic, is

Siza, Eduardo Souto de Moura, Richard Meier, Renzo Piano), danno evidenza di un percorso culturale in continua progressione fondato su pochi precisi capisaldi e al tempo stesso aperto al confronto con il passare del tempo.

Ai testi Campo Baeza alterna dieci disegni di altrettante sue opere dislocate nell'arco temporale di un ventennio: un messaggio sul valore didattico dell'opera costruita, sul necessario equilibrio tra tecnica e poetica, sul valore dell'idea costruita. Pur facendo riferimento alla propria carriera, è però descrivendo un'opera di Bernini che l'autore ci ricorda che la bellezza non è fine a se stessa e che è proprio grazie ai mezzi che la tecnica ci mette a disposizione che possiamo arrivare a «nuove categorie di bellezza» che prescindono da questioni stilistiche o temporali.

Quello che il maestro madrileño sembra volerci ribadire è che le forme evolvono col tempo a fronte di idee che rimangono eterne. Il progetto di architettura, azione al tempo stesso intellettuale e tecnica per cui «tutti i grandi maestri sono grandi costruttori», è occasione di riflessione sul rapporto con il processo costruttivo e con il «peso ineludibile» della materia, in cui la continuità con l'opera dei maestri, con il contributo della riflessione filosofica, è la base per una visione universale dell'architettura, del mestiere, dei fondamenti su cui si radica.

Nel raccontare il profondo rapporto dell'architettura con la poesia, la pittura, la musica e la filosofia, l'autore sottolinea l'importanza della ragione e della tecnica. «L'architettura non è una cosa veloce, nasce da una ricerca laboriosa. È un'azione intellettuale che ha bisogno di tempo» (Campo Baeza in *Techne* 13, 2017). Il tempo pertanto, elemento necessario all'azione progettuale quanto all'affrancamento di questa dal suo essere mero compimento di una funzione.

profoundly didactic. References to the great masters of Spanish architecture (De la Sota, Sáenz de Oiza, Carvajal, Fisac) and to the international one (Mies, Le Corbusier, Terragni, Utzon, Niemeyer), the admired comparison with the colleagues (Alvaro Siza, Eduardo Souto de Moura, Richard Meier, Renzo Piano), show a continuous cultural progression which, based on a few precise cornerstones, faces the passage of time.

Campo Baeza alternates ten drawings to the essays. The drawings represent ten architectural works spread over a period of twenty years: a message on the didactic value of the constructed work, on the necessary balance between technique and poetics, on the value of the built idea. Although referring to his own career, the author describes a work by Bernini to remind that beauty is not an end by itself; it

is indeed thanks to the technological tools provided that we can reach «new categories of beauty», independent from stylistic or temporal issues.

What the master seems to be willing to reiterate is that shapes evolve over time, while ideas remain eternal. The architectural project, intellectual and technical action at the same time, for which «all the great masters are great builders», is an occasion for reflecting on the relationship between the constructive process and the «unavoidable weight» of the material. The continuity with the work of the masters, with the contribution of the philosophical reflection, represents the basis for a universal vision of architecture, of the profession, of the foundations on which it is rooted. In recounting the profound relationship between architecture and poetry, painting, music and philosophy, the author emphasizes the importance of

L'ultimo capitolo porta il titolo della lezione che il maestro spagnolo ha tenuto in occasione del suo pensionamento alla Escuela Técnica Superior di Madrid dove tuttora insegna come docente emerito: *Acerca del disfrute intelectual*. Il testo si chiude pertanto con una confortante certezza: la gioia che può derivare dalla soddisfazione intellettuale non ha tempo, così come l'emozione che può derivare dalla lettura di un sonetto di Shakespeare o dell'Odissea, o dal «riconoscimento» di uno spazio come il Pantheon. Dal libro emerge una figura di architetto radicata ai valori classici delle discipline umanistiche e allo stesso tempo rivolta ad incorporare la cultura tecnica contemporanea ma soprattutto, di un architetto che aspira ad un'architettura «precisa, avanzata, capace di permanere nel tempo e nella memoria degli uomini: *timeless*».

Maria Pilar Vettori

reason and technique. «Architecture is not something fast; it is born of painstaking research. It is an intellectual action that takes time» (Campo Baeza in *Techne* 13, 2017). Time is, therefore, a necessary element to the design action, as for its liberation from its mere functional fulfillment.

The last chapter is entitled to a lesson that the Spanish master held for his retirement at the Escuela Técnica Superior in Madrid, where he still teaches as emeritus professor: *Acerca del disfrute intelectual*. The text closes with a comforting certainty: the joy that can derive from intellectual satisfaction has no time, as does the emotion that may derive from reading a Shakespeare sonnet or the Odyssey, or from the «recognition» of a space like the Pantheon.

What emerges from the book is a figure of architect rooted in the classical

values of the humanistic disciplines, at the same time aimed at incorporating contemporary technical culture and, above all, of an architect who aspires to a «precise, advanced architecture, able to remain in time and in memory of men: *timeless*».



Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva, Matteo Gambaro
Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti
Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2015

Lo scorso maggio con il “Progetto Magistri”, una grande inchiesta della Guardia di Finanza, è emerso che 172 professori di Architettura e Ingegneria, in violazione all'articolo 53 del decreto legislativo 165 del 2001, hanno assunto incarichi retribuiti per svolgere attività professionale. Apriti cielo. È corretto che un professore universitario svolga attività professionale? Se no, perché l'Abilitazione Scientifica Nazionale valuta tra i titoli le “Specifiche esperienze professionali caratterizzate da attività di ricerca attinenti al settore concorsuale per cui è presentata la domanda per l'abilitazione”?

L'accesso dei professori al mercato dei servizi è oggetto di scontro con i professionisti, oltre che di alterne interpretazioni giuridiche. I professionisti, che devono confrontarsi con la pratica costruttiva senza scadere nella prassi omologante, vedono nei professori una fonte di concorrenza sleale, a causa della disponibilità a basso costo di strumenti e forza lavoro oltre che per la rendita di posizione che conferisce il titolo accademico; i professori, che devono avere una capacità di astrazione del pensiero e sperimentazione teorica che non deve trascendere nel velleitarismo, allontanandosi dalla professione rischiano di chiudersi in un'attività autoreferenziale e priva di riscontri e scambi con le figure che operano nel processo edilizio.

Uno scenario improduttivo, in totale controtendenza con quanto avviene in realtà europee quali quelle francese e tedesca dove la competenza professionale è requisito, non impedimento, per

Fabrizio Schiaffonati, Elena Mussinelli, Arturo Majocchi, Andrea Tartaglia, Raffaella Riva, Matteo Gambaro
Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti
Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna, 2015

Last May, the “Progetto Magistri”, a major investigation by the Guardia di Finanza (the Italian fiscal police), exposed 172 professors of Architecture and Engineering because they hired professional paid jobs, violating article 53 of Legislative Decree 165/2001. Good heavens. A university professor carrying out a professional activity? It is morally right? If not, why does the National Scientific Qualification (the Italian procedure for the University Professor position recruiting) evaluate, as academic titles, “Specific professional experiences characterized by research activities related to the competi-

tion sector for which the application for certification is presented”?

The matter of “if the professors should have access to the services market or not” is a subject of confrontation with professionals, as well as subject of alternative legal interpretations. The professionals have to deal with the construction practice without expiring in the homologating one; they look at the presence of professors on the market as a source of unfair competition, due to the low-cost availability of tools and workforce the professors can have as well as to the income conferring their academic position. The professors must have a capacity of abstract thought and theoretical experimentation that must not transcend into presumption; if they move away from the profession, they risk to end up in a self-referential activity lacking in feedback and exchanges with the figures operating in the building process.

It is an unproductive scenario in outright contradiction with European re-

la qualificazione della docenza. Questo perché è evidente che un professore che esercita la professione è migliore rispetto a un professore che non conosce il mestiere del fare. Ne consegue il vero nodo della questione ovvero che la preparazione professionale del professore è utile nella misura in cui è necessaria alla formazione di uno studente che dovrà possedere anche delle competenze pratiche.

Se è vero che i professori per poter esercitare la pratica professionale possono scegliere di optare per un regime a tempo determinato, è altrettanto vero che gli stipendi dei professori italiani sono tra i più bassi in Europa.

Come scrive Francesco Karrer in uno dei saggi introduttivi, «il lavoro di un gruppo di docenti del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano è un importante paradigma interpretativo di tale *querelle*».

Infatti, il volume “Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti” di F. Schiaffonati, E. Mussinelli, A. Majocchi, A. Tartaglia, R. Riva e M. Gambaro, edito nel 2015 da Maggioli Editore, argomenta tale scenario con la lucidità che contraddistingue gli autori.

Il contributo principale del libro è di alimentare il dibattito sul rapporto esistente tra Università e mercato dei servizi di architettura, in un periodo in cui l'Università italiana verte in condizioni di particolare disagio. Come scrive E. Mussinelli, «la continua diminuzione delle risorse assegnate alla ricerca universitaria, la preclusione allo svolgimento non solo dell'attività professionale ma anche di quella *intra moenia*, la notevole problematicità nell'accesso ai finanziamenti comunitari, l'accorpamento della ricerca dottorale entro strutture di grande dimensione difficili da gestire e poco connotate sul piano disciplinare, la cre-

alities, such as the French and the German ones, where professional competence is a requirement, not an impediment, for the qualification of teaching.

This is because of the evidence that a professor who practices the profession is better than a professor who does not know the craft of making. The crux of the matter is that the professional preparation of a professor is useful if it is necessary for the training of a student who also possesses practical skills.

If it is true that those professors who aim to legally practice can choose to opt for a fixed-term contract, it is also true that the salaries of Italian professors are among the lowest in Europe.

As Francesco Karrer wrote in one of the introductory texts «the work of a group of professors of the ABC Department of the Politecnico di Milano constitutes an important interpretation paradigm of this *querelle*».

In fact, the volume “Tecnologia, Architettura, Territorio. Studi ricerche progetti” by F. Schiaffonati, E. Muss-

inelli, A. Majocchi, A. Tartaglia, R. Riva and M. Gambaro, published by Maggioli Editore in 2015, argues this scenario with the clarity that belongs to authors. The main contribution of the book is to feed the debate on the relationship between the University and the market of architectural services, in a period in which the Italian University is in conditions of discomfort. As E. Mussinelli wrote the factors that increase removing the university from the world of the project's production and architecture are «the continuing decline in resources allocated to University research, the shutting down not only of professional but also of *intra moenia* activities, the significant problem of access to public funding, the incorporation of doctoral research into large organizations, management difficulties and very little disciplinary consequences, and increasing bureaucracy in all spheres of teaching. Indeed, these are factors that end up increasingly alienating the University from the concrete reality of design and

scente burocratizzazione del lavoro in tutti gli ambiti di attività dalla docenza, sono fattori che finiscono per allontanare sempre più il mondo universitario dalla realtà concreta della produzione del progetto e delle opere di architettura».

Perché ciò non avvenga, la dialettica tra teoria e prassi, ricerca e pratica, non deve presentare alcuna soluzione di continuità.

Il libro restituisce la lettura delle esperienze di ricerca progettuali svolte, dal 2000 al 2015, dal gruppo di studiosi del Politecnico di Milano dimostrando come l'Università, oltre alla didattica e alla ricerca, possa fornire un servizio che può essere prestato «non solo a domanda ma anche liberamente, in base alla lettura delle esigenze della società».

Il complesso di ricerche progettuali presentate coinvolge un fronte importante di operatori: soggetti pubblici (Province, Comuni, Società di trasporto, Agenzie per la Casa, Camera di commercio industria artigianato e agricoltura, altre Università) e privati (fondazioni, società, aziende, imprese, studi professionali) hanno coinvolto a vario titolo il gruppo di ricerca milanese, attraverso contratti, convenzioni e consulenze, a sviluppare studi e ricerche per masterplan, piani strategici, piani particolareggiati, piani del colore, contratti di quartiere, studi di fattibilità, riqualificazioni paesistiche e urbane, edifici specialistici e commerciali, residenze e piani di marketing. Di frequente, lo stesso gruppo di ricerca ha intercettato la richiesta territoriale elaborando degli autonomi contributi di ricerca: i risultati sono presentati illustrando le strategie e le soluzioni tecniche adoperate, motivandone le scelte e restituendo gli approcci.

Tra le molte interessanti esperienze di ricerca progettuale spicca lo Studio di fattibilità finalizzato alla verifica dell'opportunità di ricorrere alla costituzione di una Società di trasformazione ur-

bane per progettare, attuare e gestire il complesso intervento di riconversione e riqualificazione delle ex raffinerie presenti nella zona industriale orientale di Napoli. Lo studio, come evidenziano anche le tavole progettuali, presenta un elevato grado di interesse e complessità.

Ma vale la pena ricordare anche il Piano Strategico di Novara, uno strumento che delinea il disegno socio-politico dello sviluppo a medio-lungo termine della città, la riconversione funzionale dell'Ospedale degli Infermi di Biella, con il recupero della storica struttura ospedaliera e l'insediamento di nuovi volumi con funzione residenziale, e lo Studio di fattibilità per la costituzione di una Società di trasformazione urbana relativa alla riqualificazione di una vasta area urbana a Modugno (Bari).

Le trentatré esperienze illustrate sono accomunate da un metodo rigoroso e dalla sperimentazione di approcci multiscalarari e transdisciplinari, in una prospettiva culturalmente aperta che non consente alcuna schematica collocazione disciplinare: «Il riferimento che meglio li può rappresentare» – scrive infatti Schiaffonati – «rimanda all'ambito della Progettazione ambientale, i cui contorni non predefiniscono scale e contesti applicativi, ma richiamano la complessità di tutte le trasformazioni che sovrintendono lo sviluppo dell'*habitat*, secondo una concezione scientifica che fonda le sue ragioni su principi di causalità e razionalità, articolandosi e ampliandosi, per acquisire le competenze necessarie al governo di un progetto contraddistinto da una crescente complessità». Mettendo così in evidenza l'importanza di una dimensione strategica nell'integrazione sinergica di ruoli e competenze, a costruire quell'esperienza che fa dell'Università il luogo deputato all'avanzamento della conoscenza.

Adolfo F.L. Baratta

the creation of architecture».

To make sure it won't happen, the dialectic between theory, research and practice must be seamlessness.

The book reports the design research experiences carried out by a group of researcher of the Milan Polytechnic from 2000 to 2015; it demonstrates how the University, in addition to teaching and research, can supply a service that can be provided «not just on demand, but also freely by reading society's needs».

The design research presented involves several and important operators: public entities (Provinces, Municipalities, Transport Companies, Home Agencies, Chamber of Commerce, Industry, Crafts and Agriculture, other Universities) and privates (foundations, companies, holdings, professional firms); they involved in several ways the Milanese research group through contracts, conventions and consultancy, to develop studies and research for masterplans, strategic plans, detailed plans, color

plans, neighborhood contracts, feasibility studies, landscape and urban redevelopment, specialist and commercial buildings, housing and marketing plans. Frequently, the same research group has intercepted the territorial request by elaborating autonomous research contributions: the results of this study are presented illustrating the strategies and technical solutions used, motivating the choices and communicating the methodological approaches. Among the many interesting experiences of design research in the book, it stands out the feasibility study aimed at verifying the opportunity to establish an urban transformation company to design, implement and manage the complex reconversion and redevelopment of the former refineries in the eastern industrial area of Naples. The study, as also highlighted by the design drawings, presents a high degree of interest and complexity.

But it is also worth mentioning the Novara Strategic Plan, an instrument that

outlines the socio-political design of medium-long term development of the city, the functional reconversion of the hospital "Ospedale degli Infermi" in Biella through the recovery of the historic hospital structure and the establishment of new residential buildings, and the feasibility study for the establishment of an urban transformation company also to the redevelopment of a large urban area in Modugno (Bari). The thirty-three experiences illustrated are united by a rigorous method and by experimentation of multiscalar and transdisciplinary approaches, in a culturally open perspective that does not allow any schematic disciplinary placement: «The reference that best represents them» – writes Schiaffonati – «refers to environmental design, whose contours do not pre-define scales and application contexts, but recall the complexity of all the transformations that oversee the development of habitat, according to a scientific concept that bases its reasons on

principles of causality and rationality, articulating and expanding, to acquire the necessary skills for the governance of a project characterized by increasing complexity». Thus highlighting the importance of a strategic dimension in the synergistic integration of roles and skills, to build that experience that makes the University the place dedicated to the advancement of knowledge.

a cura di/edited by Alessandro Claudi de Saint Mihiel

Il contributo dell'area tecnologica alla ricerca industriale

A. Claudi de St. Mihiel,

Responsabile della Rubrica Innovazione e sviluppo industriale

Paolo Felli nel 2011, nel suo scritto "Una rivista scientifica per un progetto innovativo", introduce al lancio del primo numero di *TECHNE* rintracciando tra le varie ragioni della nascita della rivista scientifica della *SITdA* quelle finalizzate a *Valorizzare le ricadute e gli esiti delle ricerche in determinati contesti* chiamando a collaborare alla rivista *operatori del mondo imprenditoriale, dell'industria e dei servizi, delle professioni e delle Amministrazioni Pubbliche*.

In continuità con tale visione e con la *mission* della Società, che *si propone di collegare università, professioni, istituzioni promuovendo la Tecnologia dell'Architettura nei confronti dei soggetti istituzionali nonché in rapporto ad enti, aziende e associazioni private*, il Direttore Maria Teresa Lucarelli, l'Editor in Chief Emilio Faroldi e il nuovo Editorial Board del triennio 2017-2020 hanno individuato la necessità di rimarcare tali istanze attraverso la creazione di una nuova Rubrica all'interno di *TECHNE* mirata a promuovere e consolidare la cultura imprenditoriale, la virtuosa "commercializzazione" della ricerca.

Il mondo dell'industria, della produzione, delle PP.AA. è chiamato a condividere il proprio know-how, contestualizzando la ricerca e orientando gli sforzi verso la cultura aperta e collaborativa della "quadrupla elica".

Nell'attuale quadro di riferimento, caratterizzato dalle nuove sfide dell'Industria 4.0 e dei relativi nuovi driver della ricerca tec-

Technological area contribution to industrial research

Paolo Felli in 2011, in his piece "Una rivista scientifica per un progetto innovativo (A scientific magazine for innovative design)", introduces to the first *TECHNE* number's launch tracing, among the various reasons for *SidTA* scientific magazine birth, those finalized to *Valorise the impact and researches outcomes in certain contexts, calling the entrepreneurial, industrial and services, and Public Administrations operators* to contribute to the magazine.

In continuity with this vision and with the Society's mission, that *is intended to connect universities, professions, institutions promoting Architecture Technology towards institutional subjects, as well as in relation to entities, companies*

and private associations, the Director Maria Teresa Lucarelli, the Editor in Chief Emilio Faroldi and the new Editorial Board of the three-years-period 2017-2020 have individuated the need to remark such instances through the creation of a new *TECHNE* magazine Section, targeted to promote and consolidate the entrepreneurial culture, the virtuous "marketing" of the research.

The industrial, production and Public Administrations world is called to share its own know-how, contextualizing the research and orienting its efforts towards the "quadruple helix" open and collaborative culture.

In the current reference framework, characterized by the new Industry 4.0 challenges and by relatively-new technological research drivers, it is evident how Industrial Research and Experimental Development activities cover

nologica è evidente come le attività di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale rivestano grande importanza nell'acquisire nuove conoscenze e capacità da utilizzare per sviluppare nuovi prodotti, processi o servizi o per apportare un notevole miglioramento a quelli esistenti.

Attraverso la Rubrica "Innovazione e sviluppo industriale" si intende quindi aprire un confronto con realtà industriali e produttive, società di costruzioni e di servizi per l'ingegneria e l'architettura, le cui attività siano fortemente orientate a processi d'innovazione dimostrando come la ricerca tecnologica attraverso attività di R&S costituisca un valore aggiunto all'intera filiera del mondo delle costruzioni intercettandone i nuovi sviluppi nati dalla crisi energetica, dalla rivoluzione digitale e digitalizzazione del AEO, dallo sviluppo e dall'implementazione di nuove tecnologie, da nuove prassi e procedure di governance.

Attraverso i contributi pubblicati nella Rubrica, i qualificati e eterogenei interlocutori individuati avranno la possibilità di contribuire attraverso il "racconto" delle competenze sviluppate in riferimento a progetti, ricerche, sperimentazioni, all'avanzamento delle conoscenze e al trasferimento delle stesse, accreditandosi scientificamente sul piano della ricerca nazionale e internazionale.

Le nuove o mutate declinazioni tecnologiche impongono quindi la necessità di una variazione di prospettive, di selezione delle priorità individuando strategicamente nella ricerca di base e in quella applicata - attraverso il rapporto con il settore industriale e produttivo - le future linee di avanzamento scientifico dell'area tecnologica a partire dai denominatori comuni che la identificano valorizzandoli e innovandoli secondo le mutate condizioni

great importance in acquiring new knowledge and skills to develop new products, processes and services or to remarkably improve the existing ones. Through the "Innovazione e sviluppo industriale (Innovation and industrial development)" Section we intend to open a debate with industrial and productive realities, construction and service societies for engineering and architecture, whom activities are strictly oriented towards innovation processes, demonstrating how technological research through R&D activities constitutes an added value to the entire construction world, intercepting new advancements descending from the energetic crisis, the digital revolution and AEO digitalization, new technologies development and implementation, new practice and governance procedures.

Through the contributions published

in the Section, the individuated qualified and heterogeneous interlocutors will have the chance to contribute through the "tale" of the competences developed in reference to projects, researches, experimentations, to knowledge advancement and their transfer, scientifically accrediting themselves in terms of national and international research.

The new or changed technological declinations hence impose the need of perspectives variation, priorities selection, strategically individuating in base and applied research - through the relation with industrial and production sector - the future scientific advancement lines in the technological area, starting from common denominators that identify it, enhancing and innovating them according to the new reference conditions that, according to competitiveness, research and de-

di riferimento che, rispetto a esigenze di competitività, ricerca e sviluppo, contribuiscono a far evolvere l'assetto disciplinare in un confronto costante e necessario con i molteplici attori che concorrono alla trasformazione dell'ambiente costruito.

In particolare, per il lancio della Rubrica si è inteso esplicitare un percorso di ricerca caratterizzato da processi di trasferimento tecnologico, nell'accezione di trasmissione di conoscenze e competenze, con la finalità di veicolare un'innovazione tecnologica fondata su avanzate modalità di aggregazione e su capacità di "fare sistema" fra mondo imprenditoriale e strutture di ricerca.

In quest'ottica, il progetto SELFIE, "Sistema di Elementi avanzati multi Layer basato su superFici e materiali Innovativi nanostrutturati per una Edilizia sostenibile ed energeticamente efficiente" sviluppato nell'ambito del progetto co-finanziato dalla Regione Toscana su fondi FAR FAS 2014 individua una linea di lavoro originale attraverso il progetto di componenti innovativi di facciata per l'edilizia attraverso il quale i partner industriali coinvolti hanno beneficiato della ricerca universitaria avviando processi virtuosi di innovazione tecnologica, aprendosi a nuovi settori del mercato e puntando su nuove produzioni.

In definitiva possiamo affermare che la ricerca applicata e progettuale cambia pelle, diventando anch'essa un prodotto in parte soggetto a meccanismi di mercato regolati dal rapporto fra domanda e offerta. Una sfida alla quale rispondere attraverso il perseguimento di linee strategiche imperniate su nuove forme di partenariato pubblico-privato, con la generazione di sinergie e alleanze e mediante la gestione di filiere verticali e orizzontali, con modelli organizzativi, produttivi e distributivi a rete (cluster, distretti, piattaforme) entro i quali il progetto possa agire come motore creativo e propulsivo per il trasferimento, l'applicazione

e la diffusione di innovazioni tecnologiche adeguate a una domanda emergente e continuamente mutevole.

Si è in presenza di innovative modalità, quindi, di gestione della produzione del progetto, che rappresentano una risposta di ricerca avanzata nell'attuale periodo di crisi, incentivando la nascita di reti di competenze fra varie strutture di volta in volta connesse in funzione delle richieste relative alla tipologia di progetto e a quelle del mondo produttivo esterno alla ricerca.

velopment needs, contribute to make the disciplinary attitude evolve into a steady and necessary comparison with the many actors that concur to the built environment transformation.

Specifically, for the Section launch we have intended to explicit a research route characterized by technological transfer processes, with the meaning of knowledge and competences transmission, with the aim to transmit a technological innovation based on advanced aggregation modes and on "networking" capabilities between the entrepreneurial world and research structures.

In this perspective, the SELFIE project, "Sistema di Elementi avanzati multi Layer basato su superFici e materiali Innovativi nanostrutturati per una Edilizia sostenibile ed energeticamente efficiente" developed within the project co-funded by the Toscana Region

on FAR FAS 2014 funds, individuates an original work line either through the design of innovative building components for the envelope, through which the involved industrial partners have benefited from university research by launching virtuous processes of technological innovation, opening up to new market sectors and focusing on new productions.

Ultimately, we can affirm that applied and design research changes its skin, becoming itself a product partly subject to market mechanisms run by the relation between demand and offer. A challenge to which to respond through the pursuit of strategic lines hinged on new public-private partnership, with new synergies and alliances' generation and through the management of vertical and horizontal supply chains, with organizational, productive and distributing net models (cluster, dis-

tributed, platforms) within which the project can act as creative and propulsive engine for the transfer, application and diffusion of technological innovations adequate for an emerging and continuously changing demand.

We are in presence of innovative project management modalities that represent an advanced research response in the current crisis period, encouraging the creation of competence networks between different structures from time to time connected according to the requests related to the project type and the productive world.

Innovazione e cultura imprenditoriale per la produzione edilizia ad elevata qualità ambientale

P. Gallo,

Coordinatore scientifico per il Centro ABITA del progetto SELFIE

Per incidere sulla competitività nella società della conoscenza è necessario investire sul potenziale di ricerca che si sviluppa con l'innovazione; in particolare a livello europeo il potenziale di R&S (dettato da Horizon 2020) per essere competitivo presume la compartecipazione di soggetti eterogenei: soggetti pubblici e soggetti privati, università e imprese, centri di ricerche e aziende, quindi mondo della ricerca e dell'imprenditoria.

Ad una visione più ampia e d'insieme, caratteristica propria del dominio della prima, con le università ed i centri di ricerca in ambito pubblico, si affianca un metodo più mirato al concretizzarsi degli investimenti in prodotti e servizi per il mercato della seconda, con le imprese e le aziende private; due mondi diversi ma complementari per una visione di insieme necessaria per raggiungere l'obiettivo di sviluppo a scala europea.

Nel caso del progetto SELFIE è stato costituito un "innovation cluster", un raggruppamento di ricerca finalizzato ad offrire un valore aggiunto alle innovazioni scientifiche o tecnologiche grazie alla costituzione di rapporti a rete tra una pluralità di attori e soprattutto della qualità e dell'intensità delle loro relazioni.

Al progetto, che ha ricevuto un co-finanziamento totale di 3.338.475 euro, hanno partecipato:

- Imprese con caratteristiche di eccellenza nella gestione dei sistemi di pianificazione e controllo del processo edilizio capaci di svolgere un ruolo attivo nel trasferimento tecnologico

Innovation and entrepreneurial culture for high environmental quality building production

In order to influence on the competitiveness in knowledge society, it is necessary to invest on the research potential that is developed through innovation; specifically at European level, the R&D potential (indicated by Horizon 2020), in order to be competitive, presumes the cooperation between heterogeneous subjects: public and private subjects, university and enterprises, research centres and companies, then research and entrepreneurship world. A wider overview, typical of the first one's domain, together with universities and research centres in the public sphere, is flanked by a method more focused on investments realization in products and services for the second

one's market, with enterprises and private companies: two different but yet complementary worlds for a complete vision necessary to reach the European-scaled development goal.

In the SELFIE project, an "innovation cluster" has been developed, that is a research consortium aimed at offering an added value to scientific or technological innovations through the constitution of network relations between a plurality of actors and especially through their relations quality and intensity.

The participants in the project, that has received a total co-funding of 3.338.475 euro, are:

- Companies with excellence characteristics in the building process planning and control management systems, capable to perform an active role in technological transfer from the research scientific sector to the one of the building sector mar-

dal settore scientifico della ricerca a quello delle esigenze di mercato del settore edilizio, sia in ambito pubblico che privato; (CLa - Cooperativa L'avvenire 1921);

- Aziende che producono materiali con caratteristiche innovative (T.I.M., isolanti nanostrutturati, superfici trasparenti bassoemissive innovative, vernici fotocatalitiche, fotovoltaico di terza generazione); (COLOROBIA Consulting s.r.l. - Glass2Energy - RoberGlass s.r.l.);
- Imprese capaci di mettere in opera i componenti progettati, verificandone l'integrabilità tra le parti e testandone le caratteristiche prestazionali; (MAVO - ERGO s.r.l.);
- Organismi di ricerca per lo studio e l'individuazione di vincoli e requisiti dei materiali innovativi, per la definizione delle metodologie e per il monitoraggio delle performances dei prototipi materici proposti, nonché all'interpretazione del comportamento dinamico delle matrici polimeriche adottate per la realizzazione di alcuni materiali; (CNR ICCOM: Istituto di Chimica e dei Composti OrganoMetallici, CNR IPCF Istituto per i Processi Chimico-Fisici, CNR ISTI: Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione);
- Università per la ricerca industriale e sviluppo sperimentale finalizzati alla progettazione di dettaglio, sulla base dell'approccio esigenziale prestazionale, dei componenti tecnologici innovativi utilizzati per la realizzazione del sistema di facciata dinamica; (Università degli Studi di Firenze: Centro Interuniversitario ABITA del Dipartimento Di Architettura DIDA, Dipartimento di Ingegneria civile e Ambientale DICEA).

Il progetto SELFIE ha visto quindi la compartecipazione di organizzazioni di natura differenziata, unite per la progettazione e prototipazione di un componente innovativo di facciata per

ket needs, both in public and private ambit (CLa - Cooperativa L'avvenire 1921)

- Companies that produce materials with innovative characteristics (T.I.M., nanostructured insulators, innovative low-emission transparent surfaces, photo-catalytic paints, third-generation PV); (COLOROBIA Consulting s.r.l. - Glass2Energy - RoberGlass s.r.l.)
 - Companies able to implement the designed components, verifying the integrability between parts and testing performances characteristics; (MAVO - ERGO s.r.l.)
 - R&D centres for the study of innovative materials, for methodologies definition and performances monitoring of the proposed matteric prototypes, as well as the dynamic behaviour interpretation of the polymeric matrices adopted for some materials realization; (CNR ICCOM: Istituto di Chimica e dei Composti OrganoMetallici, CNR IPCF: Istituto per i Processi Chimico-Fisici, CNR ISTI: Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione);
 - University for industrial research and experimental development finalized to detail design, based on a performance-requirements approach, of innovative technological components used for the construction of the dynamic façade component; (Università degli Studi di Firenze: Centro Interuniversitario ABITA del Dipartimento di Architettura DIDA, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale DICEA).
- Different organizations have cooperated in the SELFIE Project, joined for the designing and prototyping of an innovative façade component for future

edifici del futuro a “zero energy”, da commercializzare entro i termini della conclusione del programma, con la necessità di immettere sul mercato un prodotto innovativo per l’edilizia e capace di rispondere alle esigenze delle aziende partecipanti.

Gli obiettivi principali del progetto di ricerca, al di là della dimostrazione dell’efficacia delle analisi, dello studio dei materiali, delle verifiche strumentali e dei sistemi tecnologici innovativi applicati al prototipo realizzato, sono stati quelli di riuscire a rapportarsi nel network con soggetti eterogenei, che spesso perseguivano finalità diverse generando alcune difficoltà legate ai metodi condotti nella ricerca ed ai tempi per conseguirla.

Ruolo fondamentale in questo processo altalenante fatto di collaborazione e sinergia tra i partner, è stato quello degli organismi di ricerca che hanno stimolato il trasferimento tecnologico individuando le criticità riscontrate lungo tutto l’arco del processo ideativo, progettuale e produttivo dei componenti dell’intero sistema di facciata, oltre che suggerire le modalità di risoluzione ai problemi accertati, mettendo a disposizione il know-how, soprattutto metodologico, maturato in ambito accademico che è stato così validato nella prassi operativa dalle aziende partecipanti al progetto. Si è trattato quindi di trasferire al livello della produzione, una ritrovata capacità di concentrare nel ruolo del *progettista* il riferimento per lo svolgimento di tutte le fasi operative e di controllo dei risultati del prodotto, dove la tecnologia dell’architettura ha giocato un ruolo di coesione tra le varie fasi che da sempre hanno caratterizzato il ciclo della produzione, ma che ormai sono scisse a causa della trasformazione del processo di realizzazione dei manufatti.

Nel progetto SELFIE, questi elementi propri del processo quali l’individuazione che coincide con la progettazione, la definizione che corrisponde alla scelta tecnologica e la realizzazione che

riassume il momento attuativo, si sono fusi nel prodotto della ricerca che ha rappresentato la perfetta sintesi finale della progettazione con la fase produttiva.

Le scelte tecnologiche operate in ambito progettuale per la facciata dinamica SELFIE, si sono inquadrate nella logica delle richieste imprenditoriali per una rapidità di risposte, presentando in tempi molto stretti, il prototipo di una facciata molto complessa, realizzata assemblando ed adattando nuovi materiali ma anche prodotti industriali già sviluppati, in questo nuovo sistema di involucro capace di offrire risposte concrete al raggiungimento degli obiettivi nZEB, offrendo così alle aziende una risposta competitiva capace di cogliere i mutamenti del presente per avere nuove occasioni e rimanere sul mercato del futuro.

Il tutto armonizzato secondo la logica del trasferimento delle competenze del mondo aziendale, che grazie al supporto della ricerca applicata, ha avviato processi di esplorazione per nuovi investimenti; l’impiego infatti di materiali e componenti, nati e prodotti per altre lavorazioni, ma assemblati nel prototipo di facciata, ha consentito alle ditte partecipanti di prevederne nuove applicazioni.

Ed è così che delle piastrelle ceramiche in smalto porcellanato, prodotte dalla grande azienda partner (COLOROBRIA Consulting s.r.l.) per il settore della climatizzazione con caratteristiche di sanificazione dell’aria, additivate da una sospensione a base di biossido di titanio nano-particellare, nel progetto della facciata SELFIE sono diventate un elemento caratterizzante per il funzionamento del prototipo, offrendo alla stessa azienda che le ha realizzate, la capacità di riconvertire un ramo della produzione per la commercializzazione di un nuovo prodotto da immettere sul mercato con caratteristiche di elevata funzionalità per l’ab-

“zero energy” buildings, to be commercialized within the programme conclusion terms (2 years), with the need to put in the market an innovative building product capable to respond to participant companies’ needs.

The main goal of the research project, beyond the analysis effectiveness demonstration, the material studies, the instrumental assessments and the innovative technological systems applied to the realized prototype, has been to deal, within the network, with heterogeneous subjects, which often have pursued different finalities, generating some difficulties related to the research methods and the times to achieve it.

A Fundamental role, in this fluctuating process made of partners collaboration and synergy, have been assumed by the research centres that have stimulated the technological transfer identifying the criticalities along the entire crea-

tive, designing and constructive process of the façade system components, besides suggesting problem solving modalities, making the know-how developed in the research field available, especially the method-related one, that has been validated in the operative praxis from the participants companies to the project. Therefore, it has been a question of transferring to production level a renewed capacity to centralize in the designer role the reference for operative and product results, checking phases development, where architecture technology has played a cohesion role between the different phases that since ever have characterized the production cycle, but that are by now divided due to the transformation of building construction process.

In the SELFIE Project, this process elements as the detection that coincides with designing, definition that corre-

sponds to technological choice and the realization that summarize the implementation phase, have been jointed in the research product representing the perfect final synthesis of the project together with the productive phase.

The technological design choices for the dynamic SELFIE façade, have been moved within the logic of entrepreneurial requests for a responses rapidity, presenting in a very short time the prototype of a very complex façade, made assembling and adapting new materials but also already-implemented industrial products, in this new envelope system capable to offer concrete answers to nZEB goals achievement, offering to the companies a competitive response able to catch the present changes to have new future market occasions.

Everything harmonized according to the competence transfer logic of the enterprise world, that thanks to the

applied research support, has started exploration processes for new investments; indeed, the material and component use, designed and produced for other processing, but assembled in the façade prototype, allows participant companies to foresee new applications. A process applied to some porcelain enamel ceramic tiles, produced by the big partner company (COLOROBRIA Consulting s.r.l.) for air conditioning with sanitation sector, additized with a nano-particle titanium dioxide-based suspension, in the SELFIE façade project have become a characterizing element for the prototype functioning. This evolution offered to the patent’s owner company the capacity to reconvert a production branch for a new product marketing, to be put in the market with high-functionality standards for indoor pollution reduction. The in-depth study conducted within

battimento dell'inquinamento indoor.

Lo studio approfondito condotto nell'ambito della ricerca industriale e sviluppo sperimentale, ed i risultati ottenuti sulle potenzialità che questo prodotto innovativo poteva avere sulle performance dell'intero componente, effettuato per mezzo di simulazioni strumentali (energetico/ambientali), hanno infatti consentito all'azienda di scommettere con fondi propri sull'investimento di questo prodotto innovativo.

Simulazioni strumentali ed attività di ricerca sperimentale condotta dalle università e dai centri di ricerca coinvolti che, in fase di definizione di concept, al fine di valutare le prestazioni termoisolometriche del sistema al variare delle diverse configurazioni geometriche-funzionali assunte durante la naturale "evoluzione" occorsa durante la fase progettuale, hanno notevolmente influito sulla definizione dei criteri fondamentali di scelta delle idee progettuali energeticamente più sostenibili ed efficaci.

Grazie a questo approccio la piccola impresa coinvolta (RoberGlass s.r.l.) per la realizzazione di vetri stratificati arricchiti da materiale nanostrutturato avente caratteristiche intrinseche IR riflettenti, ha potuto sperimentare un nuovo sistema produttivo basato sull'uso di una stampante a getto per l'integrazione dell'additivo nanostrutturato sul supporto trasparente, mettendo a frutto le proprie competenze maturate nel settore, combinate con le evoluzioni tecnologiche proprie dell'era digitale.

Opportunità queste messa a punto con il sostegno di quel valore aggiunto che la tecnologia per la produzione con il suo ruolo di approccio anticipatorio proprio della ricerca accademica da tempo riconosciuto, ha saputo dare al mondo delle imprese innanzitutto per consolidarne la cultura imprenditoriale, ma con l'obiettivo prioritario di intercettare nuove fette di mercato.

industrial research and experimental development, and the results achieved on the potential that this innovative product could have on the entire components performances, carried out through instrumental (energetic/environmental) simulations, indeed have allowed to the company to bet with its own funds on this innovative product investment.

Instrumental simulations and experimental research activities conducted by universities and research centres, that in the concept definition phase have considerably influenced the definition of fundamental choice criteria for the most energetically effective and sustainable projects. This with the aim to evaluate the system thermo-hygro-metric performances together with the variation of different geometrical-functional configurations assumed during the natural "evolution" oc-

curred during the designing process.

Also thanks to this approach the small enterprise (RoberGlass s.r.l.) involved for the realization of stratified glass enriched with nanostructured material with IR reflective characteristics, has been able to experiment a new productive system based on the use of a jet printer for the nanostructured additive integration in the glass, improving the know-how developed in the sector, combined with digital-era own technological evolutions.

Opportunities developed with the support of that added value, that production technology with its anticipatory approach role, proper of the academic research since long time recognized, has managed to give to the enterprise world, primarily to consolidate the entrepreneurial culture, but with the prior aim to intercept new markets.

Finally, we can assert that a process

In definitiva possiamo affermare che un processo siffatto, ha orientato in modo sistemico i risultati della R&S verso l'innovazione industriale, rendendo sinergiche le attività di imprese, università e istituti di ricerca coinvolti, integrando la catena del valore uomo-industria, che esprime la domanda di nuovi prodotti e servizi, con la catena del valore ricerca-innovazione.

Nello specifico, il valore aggiunto alla filiera produttiva così costituita per la realizzazione del prototipo, si è concretizzato:

- nella "convergenza" di nuove tecnologie abilitanti e, quindi, allo sviluppo di nuovi prodotti e dei relativi processi ad elevata qualità sostenibile;
- nella riduzione del "time to market" tra ricerca e innovazione industriale;
- nella integrazione di diversi partner di ricerca, lungo la catena del valore ricerca - innovazione industriale;
- nello sviluppo di nuova imprenditorialità fondata sulla ricerca.

Il progetto infatti si è focalizzato sul mantenimento della competitività secondo queste direttrici, vero obiettivo delle imprese; risultato che è stato raggiunto non solo attraverso la realizzazione del prototipo di facciata in quanto tale, ma mediante il controllo del processo produttivo di nuovi prodotti e materiali.

Il valore di R&S attraverso il lavoro del cluster, si è configurato pertanto quale "propulsore" dello sviluppo industriale applicato alle facciate dinamiche, con la funzione fondamentale di elaborare un programma articolato necessario al sistema produttivo delle costruzioni per rispondere alle sfide principali del settore e di stabilire relazioni tra entità di ricerca pubbliche, private e aziende private che dinamicamente possono entrare nel sistema di offerta delle competenze richieste dal mercato sia alla scala locale che nazionale.

like this has orientated in a systemic way the R&D results towards industrial innovation, making enterprises, universities and involved research centres activities synergistic, integrating the man-industry value chain that expresses the request for new products and services, with the research-innovation value chain.

In detail, the added value to the productive supply chain for the prototype realization, has been concretized:

- in new enabler technologies' "convergence" and, hence, in new product and related process development with high sustainable quality;
- in the "time to market" reduction between research and industrial innovation;
- in the integration between different research partner, along the research-industrial innovation value chain;
- in research-based new entrepre-

neurship development.

In fact, the project has been focused on competitiveness maintenance according to these directions, real aim of the companies; a result that has been reached not only through the façade prototype realization itself, but also through the control of new materials and products productive process.

The R&D value through the cluster work, therefore, has been configured as an industrial development "propeller" applied to dynamic façades, with the fundamental function to elaborate an articulated programme necessary to building production system to respond to the major sector challenges and to establish relations among public and private research bodies and private companies that could dynamically enter the competences offer system requested by the market either at local and national scale.

