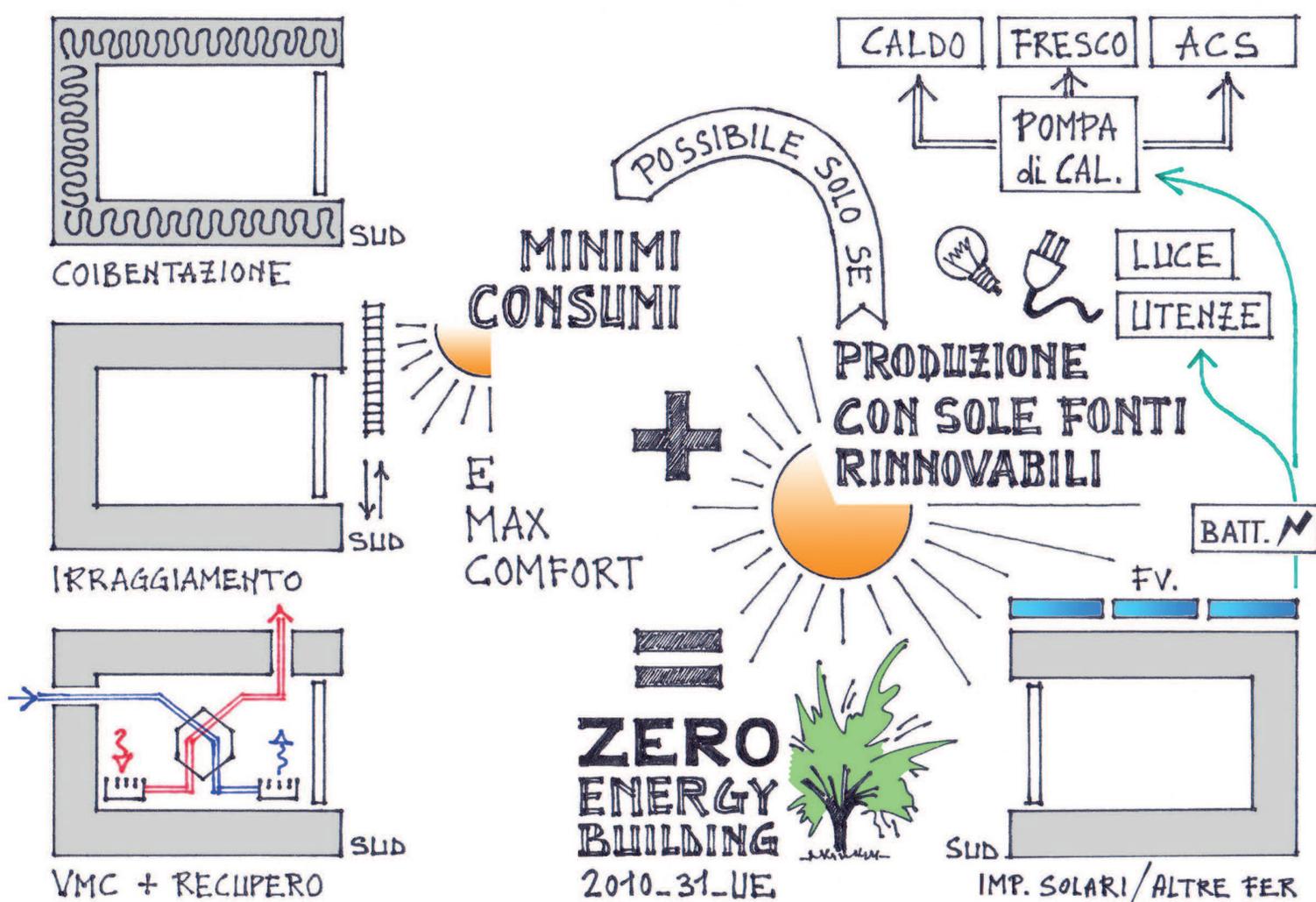


Progettare per costruire sostenibile

# Progettare edifici a energia zero

Percorso metodologico, indicazioni applicative, dettagli costruttivi



**Titolo Collana / Title of the editorial series:**

Progettare per costruire sostenibile

**Direttore / Director:**

Pietromaria Davoli, Università degli Studi di Ferrara

**Comitato scientifico / Scientific committee:**

Alessandra Battisti, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Andrea Boeri, Università di Bologna

Roberto Bologna, Università degli Studi di Firenze

Stefano Della Torre, Politecnico di Milano

Maria Cristina Forlani, Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara

Dora Francese, Università degli Studi di Napoli Federico II

Giovanna Franco, Università degli Studi di Genova

Paola Leardini, The University of Queensland, Australia

Mario Losasso, Università degli Studi di Napoli Federico II

Maria Teresa Lucarelli, Università Mediterranea di Reggio Calabria

Paulo Mendonca, University of Minho, Guimarães, Portogallo

Massimo Perriccioli, Università degli Studi di Camerino

Andrea Rinaldi, Università degli Studi di Ferrara

Alexandre Ton dos Santos, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasile

Corrado Trombetta, Università Mediterranea di Reggio Calabria

Fabrizio Tucci, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

**Comitato editoriale / Editorial Board:**

Vittorino Belpoliti, University of Sharjah, Emirati Arabi Uniti

Paola Boarin, The University of Auckland, Nuova Zelanda

Marta Calzolari, Università degli Studi di Ferrara

Danila Longo, Università di Bologna

**Criteri di validazione della collana:**

Ogni volume della collana è stato sottoposto a *double blind peer review*.

**Federico Arieti**

# **Progettare edifici a energia zero**

- **Percorso metodologico**
- **Indicazioni applicative**
- **Dettagli costruttivi**

**per il controllo operativo del bilancio energetico  
e il benessere bioclimatico**

L'autore della presente opera non potrà essere ritenuto responsabile per qualsivoglia conseguenza dovesse derivare dall'applicazione delle tesi e delle argomentazioni esposte, in assenza di una rielaborazione critica delle medesime a cura del lettore. L'autore non è responsabile (neppure a titolo di concorso) per i materiali, i dati, le informazioni che abbia acquisito da soggetti terzi.

I crediti delle immagini e fotografie utilizzate, che non siano di proprietà dall'autore stesso dell'opera, sono indicati nelle note relative alla proprietà fotografica. L'autore ha cercato, per quanto gli è stato possibile, di risalire alle fonti di tutte le immagini pubblicate, dandone doverosa segnalazione; allorché fosse incorso in errori, lacune od omissioni, se ne scusa sinceramente e si dichiara fin d'ora disponibile, in sede di eventuale ristampa, a revisioni o alla rimozione delle immagini medesime se richiesta.

**© Copyright 2017 by Maggioli S.p.A.**

**Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.  
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008**

*47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8  
Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595  
www.maggiolieditore.it  
e-mail: clienti.editore@maggioli.it*

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.

L'Autore e l'Editore declinano ogni responsabilità per eventuali errori e/o inesattezze relativi alla elaborazione dei testi normativi e per l'eventuale modifica e/o variazione degli schemi e della modulistica allegata.

L'Autore, pur garantendo la massima affidabilità dell'opera, non risponde di danni derivanti dall'uso dei dati e delle notizie ivi contenute.

L'Editore non risponde di eventuali danni causati da involontari refusi o errori di stampa.

Finito di stampare nel mese di giugno 2017  
nello stabilimento Maggioli S.p.A.  
Santarcangelo di Romagna

*Ai tanti allievi, amici, colleghi  
con i quali ho avuto e ho il privilegio di poter condividere  
esperienze di crescita formativa, ma soprattutto, e più in generale, umana*

### **Crediti e proprietà fotografici**

Alcune fotografie ed illustrazioni incluse nella presente opera non appartengono all'autore. Fermo restando quanto precisato nel *disclaimer*, si richiamano di seguito le titolarità delle immagini non appartenenti all'autore. La proprietà di dette immagini rimane riservata in modo esclusivo ai soggetti di seguito menzionati, che si ringraziano per la disponibilità.

- ✓ Studio Trabucchi Architetti. Figg.: 4.30, 4.36, 4.42, 4.43, 4.45, 4.53, 4.54, 5.15, 5.18, 5.19, 7.7. Tutte le fotografie e illustrazioni dell'Appendice.
- ✓ Ing. Paolo Veggetti. Figg.: 4.4, 4.45, 4.46, 4.76, 4.77, 4.78, 4.81, 4.102, 4.103 (rielaborazione grafica), 5.13.a, 5.13.b.
- ✓ Agenzia CasaClima di Bolzano. Figg.: 2.16, 2.18, 2.19, 2.24, 2.25, 2.34, 2.35, 2.36, 4.29, 4.31, 4.32, 4.33, 4.37, 4.40, 4.41, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.62a, 4.62b, 4.63, 4.64, 4.65, 4.66, 4.67, 4.68, 4.69, 4.70, 4.71, 4.72, 4.73, 4.82, 4.88, 5.20. Tabb.: 3.2, 3.3, 3.4.
- ✓ Bolzano University Press. Fig.: 2.10 (rielaborazione grafica).
- ✓ Gruppo di sviluppo CEPH (Certified European Passive House Designer). Figg.: 4.18, 4.19 (rielaborazione grafica), 4.21.
- ✓ Bacchi spa. Figg.: 3.21, 3.22.
- ✓ Bampi spa. Figg.: 3.10, 3.11, 4.12, 4.13.
- ✓ Bioisotherm srl. Figg.: 3.16, 3.17, 3.18, 4.20.
- ✓ Dosteba gmbh. Figg.: 4.44a, 4.44c, 4.48.
- ✓ Exrg srl. Figg.: 7.28, 7.29.
- ✓ Fantoni spa. Figg.: 3.3, 3.4.
- ✓ Foamglas Italia srl. Figg.: 4.83, 4.84.
- ✓ Hoval srl. Figg.: 5.7a, 5.7b.
- ✓ Isotex srl. Figg.: 3.19, 3.20.
- ✓ Naturalia Bau srl. Figg.: 4.3, 4.7, 4.8, 4.23, 4.24.a.
- ✓ Consorzio Poroton Italia. Fig.: 3.24.
- ✓ Schoeck Italia srl. Figg.: 4.51, 4.52.
- ✓ Trulli srl. Fig.: 3.2.
- ✓ Wienerberger spa. Figg.: 3.23, 3.25, 3.27.
- ✓ Zehnder Group Italia. Figg.: 5.4.b, 5.10.b, 5.10.d, 5.14.

### **Ringraziamenti**

In questa sede, desidero ringraziare con sincerità: ing. Walter e Alessandra Bersani, arch. Pietromaria Davoli, ing. Stefano Faganello, dr. Mauro Ferrarini, dr. Ulrich Klammsteiner, arch. Emanuele Piaia, ing. Matteo Rondoni, ing. Elena Stagni, arch. Fabiano Trabucchi, ing. Paolo Veggetti.

# Indice

<b>Prefazione</b> , di <i>Pietromaria Davoli</i> .....	Pag.	13
<b>1. Introduzione</b> .....	»	17
1.1. Qualche riflessione significativa.....	»	17
1.2. Nota per il lettore .....	»	21
<b>2. Indicazioni di fisica tecnica applicata alle costruzioni</b> .....	»	23
2.1. Di cosa parliamo. Perché ne parliamo .....	»	23
2.2. Il calore .....	»	26
2.2.0. Generalità.....	»	26
2.2.1. Conduzione .....	»	27
2.2.2. Convezione.....	»	27
2.2.3. Irraggiamento .....	»	27
2.2.4. Casi pratici .....	»	28
2.3. La trasmissione del calore. Quali proprietà dei materiali non perdere di vista?.....	»	28
2.4. Passiamo alle stratigrafie. La trasmittanza termica.....	»	31
2.5. Il calcolo della trasmittanza termica.....	»	34
2.5.1. Trasmittanza di una stratigrafia omogenea, non ventilata.....	»	34
2.5.2. Strati d'aria e calcolo della trasmittanza.....	»	34
2.5.2.1. Intercapedine fortemente ventilata .....	»	35
2.5.2.2. Intercapedine non ventilata .....	»	35
2.5.2.3. Intercapedine debolmente ventilata .....	»	36
2.5.3. Trasmittanza di una stratigrafia omogenea, con intercapedine interna .....	»	36
2.5.4. Stratigrafie disomogenee e calcolo della trasmittanza .....	»	37
2.5.4.1. Stratigrafie disomogenee. Calcolo di $U$ con "metodo semplificato" .....	»	37
2.5.4.2. Stratigrafie disomogenee. Calcolo di $U$ con "metodo dell'area composta" .....	»	38
2.5.4.3. Stratigrafie disomogenee. Calcolo di $U$ con metodo da norma UNI EN ISO 6946 .....	»	38
2.5.5. Breve considerazione sul calcolo.....	»	39
2.5.6. Finestre e calcolo della trasmittanza .....	»	39
2.5.7. Trasmittanza termica e termini di riferimento.....	»	40
2.6. Parametri estivi per le stratigrafie dell'involucro .....	»	43
2.6.0. Generalità.....	»	43
2.6.1. Sfasamento .....	»	43
2.6.2. Attenuazione.....	»	44
2.6.3. Trasmittanza termica periodica .....	»	44
2.7. Principi di comfort.....	»	44
2.7.1. Introduzione .....	»	44
2.7.2. Temperatura media radiante .....	»	45
2.7.3. Temperatura operativa .....	»	45
2.7.4. Temperatura superficiale interna .....	»	46
2.7.5. Criterio di comfort (teorizzato dal PassivHaus Institut) .....	»	46

2.7.5.1.	Criterio di comfort.....	Pag.	46
2.7.5.2.	Trasmittanza termica limite conseguente al criterio di comfort, versione "originale tedesca".....	»	47
2.7.5.3.	Trasmittanza limite conseguente al criterio di comfort, versione "adattata italiana".....	»	47
2.7.5.4.	Una constatazione importante.....	»	47
2.7.6.	Il metabolismo.....	»	48
2.7.7.	Abbigliamento.....	»	48
2.7.8.	Metodo PMV.....	»	49
2.8.	Comfort e igiene: aspetti termo-igrometrici.....	»	49
2.8.1.	L'umidità.....	»	49
2.8.2.	La condensa.....	»	49
2.8.3.	La condensa superficiale.....	»	51
2.8.4.	La condensa interstiziale.....	»	52
2.8.5.	Note di approfondimento sulla condensa.....	»	52
2.9.	Controllare gli aspetti termo-igrometrici: evitare la condensa, superficiale e interstiziale.....	»	53
2.9.0.	Generalità.....	»	53
2.9.1.	Diffusione del vapore.....	»	53
2.9.2.	Tenuta al vapore.....	»	54
2.9.2.1.	Caso pratico: diffusione, tenuta al vapore, igrovariabilità, tenuta all'aria.....	»	54
2.9.2.2.	La verifica termo-igrometrica in regime stazionario.....	»	56
2.9.3.	Ventilazione.....	»	57
2.9.3.1.	Ventilazione naturale.....	»	57
2.9.3.2.	Ventilazione meccanica controllata (VMC).....	»	57
2.9.3.3.	Ventilazione involontaria (altrimenti detta: gli spifferi).....	»	58
2.9.3.4.	Una riflessione brevissima.....	»	58
2.9.4.	Ponti termici.....	»	59
2.9.4.1.	Definizione e tipologie.....	»	59
2.9.4.2.	I ponti termici sono realmente un problema?.....	»	59
2.9.4.3.	Criterio di correzione del ponte termico.....	»	60
2.9.5.	Determinazione del punto di rugiada. Il diagramma psicrometrico.....	»	60
2.10.	Carico termico, bilancio energetico dell'involucro edilizio.....	»	62
2.10.1.	Potenza ed energia.....	»	62
2.10.1.1.	Definizioni.....	»	62
2.10.1.2.	Q potenza istantanea.....	»	63
2.10.1.3.	Q fabbisogno energetico, Gradi Giorno e Gradi Ora.....	»	63
2.10.2.	Bilancio energetico dell'involucro edilizio.....	»	64
2.10.2.1.	Contributi ed espressione del bilancio energetico.....	»	64
2.10.2.2.	Q <sub>t</sub> carichi per trasmissione.....	»	65
2.10.2.3.	Q <sub>v</sub> carichi per ventilazione.....	»	66
2.10.2.4.	Blower Door Test.....	»	68
2.10.2.5.	Serve davvero la tenuta all'aria? Un semplice esempio di calcolo.....	»	68
2.10.2.6.	Q <sub>s</sub> guadagni solari.....	»	71
2.10.2.7.	Q <sub>s</sub> guadagni interni.....	»	71
2.10.2.8.	Qualche accorgimento pratico.....	»	72
2.10.2.9.	Energia termica ed energia primaria.....	»	73
<b>3.</b>	<b>Indicazioni su materiali e sistemi costruttivi.....</b>	»	<b>75</b>
3.1.	Alcune caratteristiche significative dei materiali da costruzione.....	»	75
3.1.0.	Generalità.....	»	75
3.1.1.	Marchiatura e certificazione.....	»	75

3.1.2.	Materie prime.....	Pag.	76
3.1.3.	Sostenibilità ambientale: PEI, GWP, AP.....	»	76
3.1.4.	Sostenibilità ambientale: assenza di emissioni nocive.....	»	78
3.1.5.	Reazione al fuoco.....	»	79
3.1.6.	Controllo di fenomeni acustici.....	»	80
3.1.6.0.	Generalità.....	»	80
3.1.6.1.	Fono-assorbimento.....	»	81
3.1.6.2.	Fono-isolamento.....	»	82
3.1.6.3.	Accorgimenti pratici per il fono-isolamento.....	»	84
3.2.	Prontuario: proprietà di alcuni materiali significativi.....	»	89
3.2.0.	Generalità.....	»	89
3.2.1.	Materiali coibenti.....	»	89
3.2.1.1.	Coibenti naturali.....	»	89
3.2.1.2.	Coibenti minerali.....	»	91
3.2.1.3.	Coibenti sintetici (inclusi riciclati).....	»	93
3.2.2.	Altri materiali da costruzione.....	»	95
3.2.3.	Comparazione.....	»	97
3.3.	Alcuni sistemi costruttivi significativi.....	»	98
3.3.1.	Sistemi a secco in legno e sistema massivo in muratura: un confronto.....	»	98
3.3.2.	Sistemi ad umido: brevi cenni su alcuni sistemi significativi.....	»	107
3.3.2.0.	Generalità.....	»	107
3.3.2.1.	Sistemi a setti in calcestruzzo armato con casseforme in EPS a rimanere.....	»	107
3.3.2.2.	Sistemi a blocchi in legno-cemento con calcestruzzo armato.....	»	109
3.3.2.3.	Sistemi a blocchi di cemento cellulare aerato autoclavato (CCAA).....	»	110
3.3.2.4.	Sistemi a blocchi in laterizio porizzato.....	»	111
3.3.2.5.	Sistemi a blocchi in laterizio "intra-isolati".....	»	113
3.3.2.6.	Un confronto minimale tra laterizio "normale" e "intra-isolato".....	»	115
<b>4.</b>	<b>Tecnologie per l'involucro edilizio.....</b>	»	177
4.1.	Gli "strati funzionali" fondamentali.....	»	177
4.1.1.	Criteri base.....	»	177
4.1.2.	Tenuta all'aria.....	»	117
4.1.2.1.	Tenuta all'aria: tecnologie a secco.....	»	117
4.1.2.2.	Tenuta all'aria: attraversamento di condotti impiantistici.....	»	120
4.1.2.3.	Tenuta all'aria: dove si può evitare l'attraversamento di terminali impiantistici.....	»	121
4.1.2.4.	Tenuta all'aria: tecnologie a umido e miste.....	»	124
4.1.2.5.	Che cos'è un telo igrovariabile?.....	»	127
4.1.3.	Isolamento a cappotto.....	»	129
4.1.3.1.	Posa del cappotto e accorgimenti correlati.....	»	129
4.1.3.2.	Errori nella posa del cappotto.....	»	138
4.2.	Involucro edilizio: stratigrafie e nodi costruttivi.....	»	140
4.2.0.	Generalità.....	»	140
4.2.1.	Stratigrafie ("pacchetti").....	»	140
4.2.2.	Nodi costruttivi. Criteri generali.....	»	142
4.2.3.	Nodi costruttivi. Indicazioni operative da strumenti tecnici CasaClima.....	»	143
4.2.3.1.	Premessa importante e disclaimer.....	»	143
4.2.3.2.	Dal Catalogo CasaClima.....	»	143
	• Ponti termici lineari.....	»	143
4.2.3.3.	Dall'Allegato A della direttiva 2011 e dalla Parte 4.2 della direttiva 2015.....	»	145
	• Ponti termici puntuali.....	»	146
	• Ponti termici lineari.....	»	146

4.3.	L'involucro opaco e i suoi nodi costruttivi: alcuni esempi.....	Pag.	153
4.3.1.	Premessa .....	»	153
4.3.2.	Attacco a terra (A) .....	»	154
4.3.3.	Alcuni accorgimenti rilevanti.....	»	165
4.3.3.0.	Generalità .....	»	166
4.3.3.1.	"Tenute interne", integrazioni impiantistiche.....	»	166
4.3.3.2.	"Tenute esterne", sistemi di facciata.....	»	169
4.3.4.	Nodi del piano interrato riscaldato (B e C).....	»	
4.3.5.	Nodi tra interrato freddo e fuori terra riscaldato (D) .....	»	170
4.3.6.	Nodi del balcone a sbalzo (E) .....	»	
4.3.7.	Nodi del tetto inclinato (F e G).....	»	186
4.3.8.	Nodi del tetto piano (H e I).....	»	200
4.4.	Cenni sui serramenti e sulla loro posa.....	»	212
4.4.1.	Dati termici fondamentali .....	»	212
4.4.2.	Vetrocamera selettiva e basso-emissiva .....	»	212
4.4.3.	Alcuni requisiti "di tenuta" rilevanti .....	»	214
4.4.4.	Cenni sulla posa in opera dei serramenti .....	»	215
4.4.5.	Dettagli di posa dei serramenti: alcuni esempi .....	»	217
4.4.5.1.	Premessa.....	»	217
4.4.5.2.	Posa su parete in legno, facciata ventilata (S1, S2, S3).....	»	217
4.4.5.3.	Posa su parete in muratura, facciata intonacata (S3, S4, S5).....	»	222
4.4.5.4.	Portafinestra con avvolgibile, parete in muratura, facciata intonacata (S7)	»	226
4.4.5.5.	Portafinestra alzante scorrevole con <i>raffstore</i> , parete in muratura, facciata ventilata (S8).....	»	232
4.4.5.6.	Lucernario (S9) .....	»	232
<b>5.</b>	<b>Indicazioni sul contributo della ventilazione meccanica controllata (VMC)</b> .....	»	237
5.1.	Perché la ventilazione meccanica controllata .....	»	237
5.2.	Il recupero del calore.....	»	239
5.3.	Brevi cenni sui sistemi decentralizzati.....	»	240
5.4.	Sistemi di VMC centralizzati, componenti fondamentali, funzionamento .....	»	241
5.4.1.	Caratteri generali.....	»	241
5.4.2.	La macchina .....	»	241
5.4.3.	La rete di distribuzione.....	»	243
5.4.3.1.	Sistema in serie .....	»	243
5.4.3.2.	Sistema in parallelo.....	»	244
5.4.3.3.	Tracciamento della rete e "lavaggio dell'aria" .....	»	248
5.4.4.	Preriscaldamento geotermico .....	»	248
5.4.5.	VMC e cappa di aspirazione di cucina.....	»	251
5.5.	Cenni semplificati e operativi per un pre-dimensionamento .....	»	252
5.5.1.	Metodi speditivi per residenziale e assimilabile .....	»	252
5.5.2.	Cenni al metodo UNI 10339 .....	»	253
<b>6.</b>	<b>Un supporto numerico alla progettazione</b> .....	»	255
6.1.	Premessa.....	»	255
6.2.	Utilizzo di ProCasaClima, fino al calcolo dei fabbisogni termici dell'involucro .....	»	256
6.2.0.	Generalità.....	»	256
6.2.1.	<i>Allg. Daten</i> – Dati generali .....	»	257
6.2.2.	<i>Objektdaten</i> – Dati dell'oggetto .....	»	257
6.2.3.	<i>Lüftung</i> – Ventilazione .....	»	258
6.2.4.	Schede: 1, 2, 3, ecc. ....	Pag.	260

6.2.5.	<i>Aussen</i> – Ext.....	»	265
6.2.6.	T-diff.....	»	267
6.2.7.	<i>Innen</i> – Int.....	»	267
6.2.8.	<i>Fenster</i> – Finestre.....	»	267
6.2.9.	<i>Turen</i> – Porte.....	»	269
6.2.10.	<i>Verschattung</i> – Ombreggiatura.....	»	269
6.2.11.	HWB-Qh.....	»	271
6.2.12.	KB+Entf-Qc+deum.....	»	271
6.2.13.	Quale epilogo?.....	»	271
6.3.	Un breve esempio di ottimizzazione energetica dell'involucro con ProCasaClima.....	»	272
6.3.0.	Crediti.....	»	272
6.3.1.	Immagini del progetto.....	»	272
6.3.2.	Generalità del progetto e obiettivi dell'analisi.....	»	278
6.3.3.	Situazione iniziale.....	»	279
6.3.4.	Primo step migliorativo.....	»	280
6.3.5.	Secondo step migliorativo.....	»	280
6.3.6.	Terzo step migliorativo.....	»	281
6.3.7.	Quarto step migliorativo.....	»	281
6.3.8.	Quinto step migliorativo.....	»	281
6.3.9.	Sesto step migliorativo.....	»	283
6.4.	Conclusioni.....	»	283
<b>7.</b>	<b>"Quel poco che sfugge all'involucro": brevi indicazioni di impiantistica attiva.....</b>	<b>»</b>	<b>285</b>
7.1.	Introduzione.....	»	285
7.2.	Rendimenti di impianto.....	»	286
7.2.1.	Concetto di rendimento e rendimento globale.....	»	286
7.2.2.	Rendimento di generazione.....	»	287
7.2.3.	Rendimento di regolazione.....	»	287
7.2.4.	Rendimento di distribuzione.....	»	289
7.2.5.	Rendimento di erogazione.....	»	291
7.2.6.	Un ulteriore rendimento: quello del termo-accumulo.....	»	292
7.2.7.	Un esempio pratico: impostare un <i>retrofit</i> ragionando sui rendimenti.....	»	293
7.3.	Aspetti correlati alle fonti energetiche.....	»	294
7.3.0.	Generalità.....	»	294
7.3.1.	Potere calorifico.....	»	294
7.3.2.	Rendimento della caldaia a condensazione.....	»	294
7.3.3.	Energia primaria.....	»	295
7.3.4.	Un promemoria sulla stima della spesa per la fornitura di energia.....	»	298
7.4.	Fonti energetiche rinnovabili, sistemi di generazione e sfruttamento.....	»	298
7.4.1.	Premessa.....	»	298
7.4.2.	Biomasse.....	»	298
7.4.3.	Aero-idro-geotermia: le pompe di calore.....	»	299
7.4.4.	Teleriscaldamento.....	»	302
7.4.5.	Irraggiamento solare: solare termico e fotovoltaico.....	»	302
7.4.5.1.	Premessa.....	»	302
7.4.5.2.	Solare termico.....	»	303
7.4.5.3.	Solare fotovoltaico.....	»	304
7.4.5.4.	Stima della produzione elettrica annua di un campo fotovoltaico con PVGIS.....	»	305
7.4.6.	Micro-idroelettrico.....	»	307
7.5.	Cenni sui sistemi di emissione del calore.....	»	308
7.5.1.	Emissione del calore e comfort.....	Pag.	308

7.5.2. Radiatori.....	»	308
7.5.3. Radiante a pavimento.....	»	309
7.5.4. Radiante a parete.....	»	309
7.5.5. Radiante a soffitto.....	»	309
7.5.6. Attivazione termica della massa.....	»	309
7.5.7. Aria, sistema idronico: fancoil.....	»	310
7.5.8. Aria, sistema ad aria primaria: bocchette di emissione.....	»	310
7.6. Sistema ad aria primaria.....	»	310
7.6.1. Criteri di funzionamento.....	»	310
7.6.2. Una semplice applicazione numerica.....	»	312
7.6.3. Aggregato compatto: brevi indicazioni.....	»	313
7.7. Acqua calda sanitaria.....	»	314
7.8. Corollario.....	»	315
7.8.1. Altri sistemi.....	»	315
7.8.2. Domotica.....	»	315
7.9. Bilancio energetico finale ad energia zero.....	»	316

## **APPENDICE**

<b>Un caso studio esemplare.....</b>	»	321
<i>Bibliografia.....</i>	»	369

# Prefazione

## Presentazione della collana

Il titolo "*Progettare per costruire sostenibile*" nasce dalla precisa volontà di richiamare l'attenzione su tre aspetti strategici del progetto di architettura:

- ✓ è indispensabile innanzitutto contribuire, con strumenti e supporti adeguati, a una formazione universitaria e professionale che si basi sull'obiettivo di educare a una progettualità in grado di assicurare, nell'atto esecutivo e soprattutto nell'intero ciclo di vita dell'opera edilizia, un'estrema coerenza fra idea concepita e idea costruita. Senza cioè che la prima venga impoverita dalla seconda (se mal condotta) e senza che, sempre la prima, perda l'opportunità di recepire spunti e indirizzi innovativi dalla piattaforma esperienziale su cui si basa la seconda. Fin dal primo schizzo sul foglio bianco la prefigurazione dell'intero processo edilizio deve cioè collaborare a rendere maggiormente giustificato, espressivo, essenziale, affidabile, duraturo ed ecocompatibile l'organismo architettonico e le soluzioni tecnologiche introdotte. Questa forma mentale collabora, infatti, a destrutturare una prassi, assolutamente non condivisibile, secondo la quale ci può essere qualcuno che pensa l'opera a livello ideogrammatico e morfologico e poi, diacronicamente, qualcun altro a cui l'opera viene affidata per essere progettata nel dettaglio e realizzata;
- ✓ il termine "sostenibilità" (la definizione di "sviluppo sostenibile" venne codificata a livello internazionale nel lontano 1987) non deve essere considerato, inoltre, come accade talvolta all'interno della comunità scientifica, un'espressione desueta. Per una volta occorre avere il coraggio di affermare che i neologismi a tutti i costi spesso non contribuiscono all'avanzamento reale delle conoscenze. Anzi, essi sottendono piuttosto un'incapacità di formulare pensieri innovativi ed evolutivi all'interno di cornici di riferimento condivise, già strutturate, ma sempre implementabili. Essendo stata la disciplina della Sostenibilità declinata e approfondita, nel corso di questi trent'anni, in tutte le ramificazioni del sapere, tale termine deve rimanere quindi baricentrico, fondante e insostituibile, comprensivo di tutte le attenzioni verso uno sviluppo antropico compatibile con il benessere delle generazioni future. Gli sforzi è bene vengano concentrati, piuttosto, sulla ricerca di *policies* e di *tools* per una sua piena attuazione, come pure per innescare intersezioni inedite fra concetti di sostenibilità sociale, ambientale ed economica, in modo che si applichino metodiche davvero ibridamente interdisciplinari e non solo multidisciplinari. In questa direzione c'è ancora molto da operare;
- ✓ infine, il costruire secondo principi di sviluppo sostenibile deve essere considerato un bisogno trasversale e ineludibile, non solo per questioni etiche, ma anche, oggi sempre più chiaramente, per ragioni di convenienza economica e di mercato, secondo i principi della *green economy*. Un complesso edilizio viene considerato di livello decisamente inferiore se non è permeato da virtuosi concetti di bioclimatica e di resilienza alle sollecitazioni ambientali (calamità comprese), di efficienza e di riduzione dei consumi, di limitazione dei livelli di inquinamento interno, di impiego di energie rinnovabili per l'autoproduzione e l'autosufficienza, di impianti con elevatissimi rendimenti e fortemente integrati con le caratteristiche di involucri estremamente performanti. Tutti fattori questi che avvicinano l'architettura a un Sistema Costruttivo a impatto zero e a consumo zero di energia. Anche l'utente non addetto ai lavori inizia finalmente a comprendere che, per avere un ambiente di vita salubre, confortevole e poco energivoro, deve porre la massima attenzione ai *label* dei circuiti certificatori e dei sistemi di *rating*, così come fa da anni per i propri elettrodomestici dotati, per esempio, di etichetta energetica ed ambientale.

L'obiettivo di questi tre aspetti è dunque quello di ribadire l'esemplare ruolo sociale e la centralità del progetto di architettura in grado di indirizzare correttamente, di generazione in generazione, l'intervento sull'ambiente costruito, lasciando quest'ultimo, molto semplicemente, migliore di come ci è stato consegnato (anzi possibilmente decisamente migliore per evitare di arrivare alle *deadline* di non ritorno imposte dai cambiamenti climatici).

Per fare ciò, *progettare per costruire sostenibile* deve essere inteso non solo come la capacità di elaborare azioni efficaci per la nuova edificazione, che incide, in realtà, in maniera certamente minoritaria sulla modificazione del territorio urbano e della sua risposta ambientale, ma anche e soprattutto come la capacità di attivare operazioni incisive sui più vasti e impattanti numeri del patrimonio edilizio esistente (finanche storico e tutelato). Un campo questo sul quale si gioca la partita più risolutiva e per il quale devono essere fortemente potenziate le dinamiche collegate all'*economia circolare*.

Inoltre, le politiche di *consumo zero di suolo vergine* spingono correttamente verso azioni di rigenerazione dei tessuti edilizi esistenti e questo dovrà avvenire sempre più spesso, oltre che con processi di *deep renovation* individuando le barriere che si oppongono alla loro sistemica diffusione e attuazione, anche con procedure compatibili di densificazione, saturazione e completamento delle matrici urbane consolidate ("costruire nel/sul costruito").

La collana fornisce percorsi, visioni, metodologie e strumenti in cui l'operatività e la facilità di comprensione costituiscono i tratti distintivi, dal momento che una sostenibilità complessa, difficile da metabolizzare e poco inclusiva, non cambia di certo il pianeta.

### **I tratti distintivi del volume**

La prima esperienza davvero significativa ed efficace relativa a protocolli di certificazione energetica degli edifici in Italia venne promossa dalla Provincia Autonoma di Bolzano, ancor prima dell'uscita del D.Lgs. 192/2005. Un disposto normativo, quest'ultimo, che ha cambiato profondamente, come pochi altri provvedimenti hanno saputo fare, il modo di concepire e costruire gli organismi edilizi. Il modello precursore di area altoatesina ha fondato il proprio successo su alcuni essenziali assunti base: il sistema doveva risultare semplice e lineare nella comprensione, per non scoraggiarne l'applicazione, e i risultati dei calcoli dovevano dimostrarsi facilmente confrontabili, tra edificio ed edificio; la fruibilità degli strumenti e la chiarezza di una procedura codificata doveva arrivare a sensibilizzare innanzitutto l'utente finale, il cittadino, ancor prima che il tecnico professionista, affinché fosse il primo, una volta compresa la virtuosità di una casa efficiente, confortevole e sana, a richiedere con consapevolezza al proprio progettista il conseguimento di specifici obiettivi progettuali e livelli prestazionali.

Gli stessi principi, brevemente sopra citati, sono facilmente rintracciabili nella struttura e nella proposizione degli argomenti del presente volume: presentare una filosofia di sostenibilità il più accessibile e chiara possibile, delineare gli strumenti e le metodologie da applicare, guidare il lettore passo per passo attraverso i diversi *step* del percorso (e le possibili alternative), fornire un ventaglio di soluzioni costruttive, non omnicomprensive, ma volte ad esemplificare i criteri di "assemblaggio" di un buon involucro.

In breve si può affermare che l'autore, nei diversi "nodi" e "bivi" dell'azione progettuale, esprime ogni volta riflessioni (di tipo fisico, costruttivo, funzionale e morfologico) capaci di indirizzare le scelte progettuali, l'individuazione di possibili varianti e le relazioni con altri "anelli" della catena processuale.

Il linguaggio utilizzato nel testo risulta perciò particolarmente inclusivo. Una sintesi efficace tra criteri di fisica tecnica, di calcolo energetico operativo, di corretta esecuzione, coadiuvati da casistiche concrete, esempi operativi, nozioni pratiche e aggiornate.

L'obiettivo limite cui tendere è quello di edifici a energia zero, cioè organismi edilizi in cui i fabbisogni energetici siano ridotti ai minimi termini e soddisfatti interamente da energia autoprodotta attraverso fonti rinnovabili.

A chi è rivolto, dunque, il volume e perché?

Il libro propone un percorso organico, nel quale ogni azione progettuale è letta in relazione al proprio contributo rispetto al bilancio energetico globale dell'edificio e quindi alle potenzialità che essa manifesta in termini di "azzeramento" (o comunque di minimizzazione) della domanda energetica e di massimizzazione del comfort. L'esposizione si sofferma su diversi approfondimenti di natura costruttiva, senza tuttavia mai dare per scontati i fondamenti.

Tali scelte metodologiche rendono certamente utile il volume, in primo luogo, ai professionisti già esperti in materia, che, occupandosi di progettazione edilizia, abbiano la necessità di implementare, strutturare e codificare in maniera più solida conoscenze già acquisite e attinenti il controllo del bilancio energetico di una costruzione.

Nondimeno, prevedendo l'autore, in tutti i passaggi del percorso proposto, specifici e concisi momenti di trattazione basilare nelle discipline della fisica tecnica ed impianti, la pubblicazione si rivolge anche ad un ampio parco di studenti in formazione di secondo livello e di tecnici meno esperti che troveranno accessibile l'esposizione dei problemi e delle soluzioni proposte.

Nonostante il libro si concentri sulle dinamiche del processo di nuova costruzione, molte delle considerazioni e delle soluzioni tecnologiche documentate sono altrettanto valide per il campo del recupero.

Le basi metodologiche cui attinge l'autore derivano da esperienze professionali e da una formazione post laurea di tipo avanzato in materia, evoluta poi nel ruolo di formatore egli stesso. In questa sede si citano le seguenti esperienze specifiche condotte dall'autore:

- ✓ una proposta progettuale davvero organica di rivalorizzazione culturale, sociale ed energetica del Teatro Comunale di Bologna, dove lo studio di nuovi volumi per lo più funzionali al potenziamento della macchina teatrale e a una più ampia fruibilità del teatro da parte della collettività, seppure all'interno di un delicato contesto storico tutelato, ha rappresentato l'ideale campo di sperimentazione e validazione di molteplici strategie e scenari di intervento;
- ✓ docenze in ambito professionale e universitario. Per quest'ultimo, in particolare, proponendo l'autore un corso collegato al Laboratorio di Costruzione dell'Architettura 1 (Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara), ma aperto a studenti dei diversi anni, che ricalca in gran parte gli argomenti riportati e approfonditi nel volume e che ha rappresentato l'occasione per testare sul fronte dell'apprendimento le modalità più corrette di erogazione dei contenuti informativi e formativi di sostenibilità ambientale rivolti a discenti con conoscenze talvolta anche solo embrionali (corso che è stato anche accreditato dall'Agenzia CasaClima come livello formativo "base").

*Pietromaria Davoli*



# 1. Introduzione

## 1.1 Qualche riflessione significativa

---

Gentile Lettore, hai tra le mani questo volume (cosa della quale Ti ringrazio) perché interessato alla costruzione di edifici che minimizzano il dispendio energetico, massimizzano il benessere bioclimatico, ed appagano in modo autonomo (o quanto più autonomamente possibile) la propria richiesta globale di energia.

Un fatto non è scontato, ed è bene chiarirlo dal principio: questo modo di costruire, a monte di qualunque concetto impiantistico, riconosce una responsabilità fondamentale alla progettazione architettonica, la quale, dunque, dovrà saper compenetrare una visione olistica sulle scelte di progetto, e una profonda minuzia negli aspetti tecnici di dettaglio. Per questo, chi voglia guardare al domani più prossimo con intenti propositivi vede oggi la scelta di una costruzione ad altissima efficienza energetica (sempre meno circoscritta alla sola sfera dell'etica, e sempre più cogente nel prossimo futuro) come un intreccio di stimoli interessanti. Tra essi, non solo istanze tecniche (pur numerose e articolate), ma anche il suggerimento di alcuni archetipi formali. In un edificio che voglia ottimizzare al massimo la prestazione energetica, il progettista si troverà necessariamente ad "intaccare" la morfologia del costruito con accorgimenti "funzionali": controllo del fattore di forma, estensione ed orientamento delle superfici vetrate, protezione di queste dalla radiazione solare, spessori murari talora rilevanti, ecc. A lui sta sfruttare al meglio l'opportunità e la sfida che gli si propone, riportando a sistema la "forma" e la "funzione" nel volto della propria architettura.

Grazie anche alla virtuosa complicità di evoluzioni normative, è ormai da più di una decina d'anni che il tema dell'efficienza energetica in edilizia ed architettura si è imposto in modo concreto e rilevante. Ciò fa sperare che taluni stereotipi, inerenti agli edifici "low energy", abbiano oggi trovato definitiva quiescenza. Si pensi, ad esempio, alla forzata assimilazione con la baita o "casetta" di montagna (immancabilmente fatta di legno), o allo "stile casa passiva" (quasi esistesse un archetipo architettonico o una tipologia edilizia obbligati per i progettisti di edifici passivi), o a slogan quali "vendiamo abitazioni ad alta efficienza energetica", che (ammessa la reale veridicità del messaggio, caso per caso) provano con triste efficacia che la normalità è un'altra.

Per chiunque svolga attività di progettazione architettonica, sarebbe estremamente riduttivo dover assumere che le scelte progettuali operate, volendo progettare secondo i criteri di cui si sta trattando, siano una promanazione diretta ed esclusiva di istanze di efficienza energetica. È però un fatto che, in generale, un'estetica meno "capricciosa", libera da voluttà formali contingenti, sia più propensa a compenetrarsi con esigenze pratiche, da quelle legate all'esercizio di funzioni particolari, a quelle necessarie a minimizzare, se non azzerare, il fabbisogno di energia.

La virtù insita nella razionalizzazione delle scelte formali è stata professata con ineguagliabile fortuna da un autorevolissimo Maestro del Movimento Moderno. Mies van der Rohe, nel celebre "*less is more*", sintetizza con fulminea eloquenza il senso di un approccio che tutt'oggi potremmo (o dovremmo) definire fondamentale: la capacità del progettista di rinunciare a quel *quid* di elaborazione formale in favore di una bellezza meno effimera e più sostanziale. È sorprendente quanto l'attitudine di questo progettista, nato quattordici anni prima del 1900, abbia valore oggi. Con un minimo di ironia, ed aggiornando un po' l'accezione dei termini, si pensi ad esempio a quanto abbia da insegnare ai progettisti odierni l'adagio "*God is in the details*" ("Dio è nei dettagli").

Probabilmente non è un caso che la nostra riflessione sull'approccio razionale alla risorsa energetica, e alle istanze pratiche della progettazione in genere, sia incappata in una menzione al Movimento Moderno. È in-

fatti oggettivo che la codificazione di un linguaggio formale, nell'ultima grande corrente architettonica che l'età moderna abbia conosciuto, nasce anzitutto dal riconoscimento di esigenze pratiche, e dalla volontà di sintesi tra queste e la morfologia dell'edificio. I noti "cinque punti" teorizzati nel 1923 nell'opera più celebre di Le Corbusier (e poi applicati alla celebre *Ville Savoy* di Poissy), ossia i pilotis, il tetto-giardino, la *plan libre*, la facciata libera, la finestra a nastro, sono frutto di riflessioni sulla funzionalità dell'edificio, sulle esigenze umane, antropologiche, sociali dell'individuo che dovrà viverci, e che diventano al contempo la sintassi di un linguaggio formale innovativo. Esulando dai progetti *d'élite*, se si pensa agli studi sull'*Existenzminimum* condotti da Gropius tra gli anni Venti e Trenta, o alle *Unité d'habitation* dello stesso Le Corbusier, si ha una chiara idea di quanto i cosiddetti "Grandi Maestri del Movimento Moderno" siano stati "figli del proprio tempo", abbiano saputo guardare alle esigenze reali del momento storico ed abbiano pensato un modo di fare architettura teso a dar risposta a tali esigenze. Al tempo, con la ripresa economica tra le due Guerre, esse si sostanziano nella necessità di fornire un alloggio a tutti, minimo ed essenziale, ma dotato di tutte le prerogative giudicate indispensabili, liberando la progettazione da vincoli formali "fine a sé stessi". "Voi, signori del 'No', avete mai pensato che in questi piani c'era la passione totale, disinteressata di un uomo che nella sua vita si è occupato 'del suo fratello uomo', in modo fraterno" (Le Corbusier). Novant'anni fa, la codificazione di un "nuovo" linguaggio formale nasceva anzitutto dal riconoscimento di esigenze sociali, funzionali, pratiche, e dalla volontà di sintesi tra queste e la morfologia del costruito.

Ben lungi da voler ripercorrere cent'anni di storia dell'architettura e della società in poche righe, non è forse peregrino assimilare l'evoluzione della nostra storia sociale degli anni Sessanta e Settanta al netto cambio di rotta subito dal modo di fare architettura. Le problematiche sociali più stringenti e concrete (pre- e post-belliche), connesse alla sussistenza, al diritto di abitare, hanno trovato almeno in parte soluzione. Gli entusiasmi dell'Italia post-bellica, attiva nella ricostruzione e nel rilancio dell'economia, entusiasta della Cinquecento nuova o della prima lavatrice portata a casa, cedono il passo ad una nuova forma di tensione, quella della lotta sociale. Parallelamente, l'architettura prende una nuova strada: essa non è più la risposta a un bisogno tangibile dell'uomo, cerca di rispondere ad esigenze meno nettamente codificabili, involvendosi, incanalandosi in una maggiore complicazione intellettuale, spesso intersecando la politica e l'ideologia, talora scollandosi del tutto dalla matrice sociale. Nella sostanza, (a modesto sentire di chi scrive) sembra sempre meno nitida l'idea più umile ma tangibile del progettista delineata da Le Corbusier, "un uomo che nella sua vita si è occupato 'del suo fratello uomo', in modo fraterno", in favore di un'interpretazione più ideologizzata.

Lo scollamento tra l'essere umano e l'architettura rimane e si acuisce nei decenni successivi, fino ai giorni nostri. Nell'odierna "società dell'immagine", in particolar modo nel nostro Paese, l'architettura è probabilmente concepita come quel gesto un po' strano, suggestivo, impattante, accessibile solo alle committenze più agiate, spesso slegato dalle esigenze funzionali dell'edificio, dal contesto ambientale e culturale nel quale incide, tendenzialmente sempre più autoreferenziale. Da qui la sostanziale dequalificazione di tanta parte del concetto di architettura, sia nell'intendimento di chi lo coltiva che di chi lo irride.

Il momento storico corrente offre effettivamente un'opportunità preziosa. Molti illustri pensatori, da Polibio a Machiavelli, da Vico a Nietzsche, hanno parlato di una sostanziale ciclicità delle esperienze storiche e sociali. D'altra parte, tutti i grandi moti di rinascita nella nostra storia hanno visto il recupero e la reinterpretazione di modi di pensare del passato, basti pensare ai riferimenti alla Classicità dei maestri rinascimentali, nella ricerca del canone e dell'equilibrio, della riaffermazione di una logica antropocentrica.

Viviamo anche oggi un momento di "emergenza": se nell'intorno della Seconda Guerra vigeva la necessità di fornire un alloggio a tutti, oggi la necessità è quella di far fronte all'emergenza ambientale. Molti sono i segnali della gravità con la quale il nostro pianeta sta accusando decenni di mancata tutela ambientale. Le "emergenze" sono spesso un'opportunità di svolta, che ciascuno può contribuire ad attuare partecipando della nuova mentalità che esse ci suggeriscono.

Costruire in armonia con l'ambiente naturale e con la fisiologia dell'uomo è un'esigenza umana viva fin nei tempi più remoti, e, fin da principio, da essa scaturiscono precise istanze tecniche che investono anche l'estetica del costruito. Il ritorno ad un ascolto più concreto di tali istanze, e ad un connubio più tangibile tra

“forma e funzione” è la sfida che (ad umile giudizio di chi scrive) ci propone l’architettura ad energia zero (o “quasi zero”, secondo il concetto introdotto in sede Comunitaria). Questo non significa assolutamente rinunciare al contenuto estetico delle nostre costruzioni, tutt’altro. Significa pensare l’architettura in una logica un po’ più vicina al miesiano *less is more* in favore di un’estetica più sostanziale e meno effimera, espressione coerente, quanto armoniosa, di valori tecnici e antropologici essenziali.

“Le mie idee sono state spesso interpretate come l’apice della realizzazione e della meccanizzazione. Ciò dà un quadro assolutamente errato di tutti i miei sforzi. Ho sempre insistito sul fatto che l’altro aspetto, la soddisfazione dell’anima umana, è importante quanto il benessere materiale, e che il raggiungimento di una nuova visione spaziale è più significativo dell’economia strutturale e della perfezione funzionale”. Al noto aforisma di Walter Gropius potremo forse solo aggiungere che l’obiettivo cui puntare come progettisti, a tutt’oggi, è una felice ed efficace sintesi tra i due “aspetti” enucleati dal Maestro.

Queste riflessioni possono probabilmente suggerire che il “costruire secondo natura”, oggi associato preferenzialmente agli edifici residenziali di nuova costruzione, abbia un’importanza rilevante anche nel recupero del patrimonio storico (sia quello “di base” che quello “monumentale”) e nella realizzazione o riqualificazione di edifici pubblici, tanto di più quanto più elevata è la pregnanza sociale e culturale dell’opera in questione. In quest’ottica risulta prezioso il messaggio della direttiva 2010/31/UE, che impone la realizzazione in standard “*near to zero energy*” per tutti i nuovi edifici a partire dall’inizio del 2021, ma anticipa di due anni il termine per gli edifici pubblici. Ed è auspicabile sfruttare al meglio la potenzialità del d.lgs. 102/2014 che, in attuazione della direttiva 2012/27/UE, impone un miglioramento della prestazione energetica degli immobili della pubblica amministrazione centrale pari al 3% annuo della superficie climatizzata; il solo rammarico è costituito dalla espressa limitazione alla sola P.A. centrale.

Quanto al patrimonio storico-artistico, se è chiaramente opportuna l’esclusione dagli interventi di *energy retrofit* per gli immobili vincolati ai sensi del Testo Unico dei Beni Culturali (d.lgs. 42/2004) “nella misura in cui il rispetto di determinati requisiti minimi di prestazione energetica modificherebbe in maniera inaccettabile il loro carattere o aspetto”, è però anche auspicabile che di questa limitazione non si voglia fare un alibi da utilizzarsi indiscriminatamente, in nome di un iper-conservativismo “di comodo” che, nell’umile pensiero di chi scrive, spesso ha poco a che fare con l’illuminato principio brandiano (rif. Cesare Brandi, 1906-1988) di rivitalizzazione dell’edificio storico attraverso un rinnovamento funzionale coerente con la vocazione culturale dell’oggetto.

Attuare delle efficaci operazioni di efficientamento energetico sul patrimonio storico, chiaramente dove possibile e sempre e solo nel rispetto della *facies* storica, costituisce una sfida ed un messaggio fondamentale, poiché si traduce nell’applicazione di valori etici e tecnici propri del nostro tempo ad un bene collettivo che è testimone del nostro *background* culturale, sul quale, inevitabilmente, il nostro tempo e i nostri valori poggiano le proprie basi. In altre parole, provare nella pratica la compatibilità tra taluni beni monumentali e l’efficienza energetica è un modo per corroborare l’idea che questi monumenti non hanno valore soltanto come “cimeli” del passato, da conservarsi con affetto sotto teca e da usare il meno possibile per paura che si rompano, ma che, al contrario, essi sono talmente “vivi” da trovare una felice compatibilità con le più recenti istanze di sostenibilità ambientale.

La direttiva 2010/31/UE costituisce l’input ufficiale ai massimi livelli attorno alla realizzazione di “edifici ad energia quasi zero”. All’art. 2 p. 2 essa li definisce espressamente come “edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa con energia tratta da fonti rinnovabili, inclusa quella prodotta *in loco* o nelle vicinanze”. La direttiva parla di fonti rinnovabili, quindi di energia fornita al sistema per far funzionare gli impianti, ossia i sistemi “attivi”. Ma attenzione. Una logica obsoleta rischia, talvolta ancora oggi, di assimilare il concetto di “efficienza energetica” alla sola compagine impiantistica di un edificio. Tristemente frequente, ad esempio, uno stereotipo: “Efficienza energetica?... Ah, sì: fotovoltaico!”.

Non ci si stupisce: è naturale che per il Legislatore e le Amministrazioni risulti più semplice assillare i Tecnici, con continue e disorganiche modifiche o involuzioni normative, piuttosto che investire i denari pubblici in efficaci campagne d'informazione e sensibilizzazione. Campagne che, al contrario, si trovano obbligati a condurre i tecnici stessi, nella piccola individualità della propria attività professionale, e nel tempo sottratto agli indispensabili corsi d'aggiornamento, figli della frenetica evoluzione normativa... Va aggiunto che, non di rado, la limitatezza dell'approccio all'efficienza energetica è favorita da un concorso fra gli interessi commerciali di fornitori e installatori, l'imperizia di alcune piccole imprese costruttrici che seguitano a non approfondire tecniche di buona realizzazione per involucri performanti, e gli slogan elettorali di taluni politici, di qualsivoglia orientamento (cui, comprensibilmente, giocherebbe a sfavore il mancato plauso della categoria menzionata sopra).

Quello che abbiamo poc'anzi definito uno "stereotipo" è chiaro sia in realtà pertinente al tema: lo sfruttamento delle energie rinnovabili, tratte dal sole – ma anche dall'acqua, dal vento, dal sottosuolo –, costituisce un contributo potenzialmente preziosissimo in termini di efficienza energetica. Ma esso non è senz'altro il punto di partenza né l'ago della bilancia del ragionamento che rende efficiente un sistema. Infatti, volendosi attenere all'esempio, l'energia tratta da una fonte rinnovabile può risultare poca o tanta, gravemente insufficiente o ampiamente bastevole a coprire il fabbisogno energetico di un edificio. Tutto dipende da quanta energia esso dissipa. Ecco perché la riflessione deve spostarsi sulla "scatola edificio". Un'attenta progettazione e una scrupolosa esecuzione dell'involucro edilizio sono la base del buon funzionamento termico, igrometrico e aeraulico di ogni edificio, quindi del benessere abitativo dei suoi occupanti, oltre che naturalmente dell'abbattimento delle emissioni clima-alteranti e del fabbisogno di energia. Da ciò la tanta importanza acquisita dallo studio del dettaglio costruttivo.

Le argomentazioni del rinnovamento hanno risolto duplice.

Uno è evidentemente di natura tecnica, e ci porta a discutere perché un nodo costruttivo non risolto può dar vita ad un "ponte termico non corretto", e questo può rappresentare un problema significativo (davvero la differenza si limita a "10 euro all'anno di gas in più", come talora ci si sente rimproverare?!). Ancora: perché la "tenuta all'aria" è forse più importante ancora di quella termica, perché un ottimo serramento posato in maniera mediocre può costituire un danno gravoso, ecc.

L'altro attiene ad un approccio metodologico, tutt'altro che filosofico (o meglio ancora, non soltanto!). La progettazione esecutiva di un edificio, infatti, non sarebbe che un esercizio grafico se essa non fosse la sintesi degli svariati contributi che caratterizzano il progetto. Una concezione superata (ma tutt'oggi persistente nella sostanza) voleva che un suggestivo disegno elaborato dall'architetto passasse nelle mani dell'ingegnere strutturista, il quale posizionava pilastri e travi cercando di limitare – comunque mai abbastanza! – l'impatto sul *layout* architettonico; dopodiché ciò che non era stato stravolto dietro esigenze statiche veniva "sacrificato alla termotecnica" con l'intervento del progettista degli impianti. Questa ovviamente una sintesi "romanzata", (senz'altro, e per fortuna, non priva di eccezioni!), ma il paradosso è utile a ribadire, per antitesi, l'importanza di un concetto che oggi, nella progettazione di edifici, non può più permettersi di conoscere alternative, ossia la "progettazione integrata".

In conclusione, "*Zero energy building*" non è sinonimo di un'inutile complessità, che abbia aggredito o depauperato il nostro mestiere. Il progresso scientifico e l'articolazione tecnica sono fortunatamente parte di ogni disciplina. Del pari, l'architettura richiede un rinnovamento di tecnica e di mentalità che non sembra oggi prescindibile, e che "fa virtù" del progressivo articolarsi della nostra disciplina.

La "casa ad energia zero" non è un fabbricato che consuma 10 kilowattore anziché 20, pena decadere dalla categoria. Non è "il futuro" (come spesso si sente dire), bensì auspicabilmente il presente del nostro modo di abitare, sinonimo di un organismo confortevole e salubre, esteticamente efficace, che interagisce rispettosamente con l'ambiente naturale e antropico nel quale si colloca, massimamente sostenibile anche in quanto a costi di gestione.

## 1.2 Nota per il lettore

---

Questo volume tenta di proporre un percorso compiuto, da intraprendere probabilmente come una lettura organica, "dall'inizio alla fine", che renda ragione di come e perché la cura progettuale ed esecutiva dell'involucro edilizio rappresenti un passaggio indispensabile ai fini di un edificio ad energia zero, e di come questo bilancio possa essere portato a termine allorché si tratti di fornire attivamente il piccolo quantitativo di energia che l'involucro non può non disperdere.

Le informazioni sono intenzionalmente presentate in forma lineare ed accessibile, con una vocazione marcatamente pratica. L'introduzione nel volume delle istruzioni per l'impiego di un efficace strumento progettuale di calcolo concorre a consentire all'interessato di tradurre la propria lettura in un'operazione concreta di efficientamento energetico.

La trattazione si concentra assai di più sulle strategie e tecnologie per la realizzazione dell'involucro edilizio, sugli essenziali criteri fisico-tecnici ad esso sottesi, su una sua valutazione quantitativa. Tematiche impiantistiche sono affrontate in modo più circoscritto, con l'intenzione di fornire al lettore gli elementi per poter "chiudere il cerchio" dei propri sforzi progettuali con l'azzeramento del bilancio energetico, ovvero con la nozione del grado di copertura dei fabbisogni energetici di un proprio progetto a carico delle fonti rinnovabili. Fermo restando che i criteri quantitativi che il volume intende fornire a proposito di bilancio energetico non sostituiscono in alcun modo una progettazione termotecnica dettagliata (con la relativa calcolistica).

I dettagli costruttivi, forniti anche in formato editabile, e commentati nelle pagine del libro, rappresentano un ulteriore supporto pratico a favore del lettore. È importante non dimenticare che (normalmente) ogni progettazione costituisce un caso a sé, non è pertanto pensabile fornire delle soluzioni conformi, direttamente applicabili a qualsiasi progetto, in assenza di una rielaborazione critica. Nell'auspicio che il materiale grafico fornito possa rappresentare un'utile base di partenza operativa, ci si augura che esso contribuisca, assieme a tutte le informazioni raccolte nel volume, a focalizzare le indicazioni "generali", e, di conseguenza, a declinarle con facilità su ogni casistica progettuale specifica.

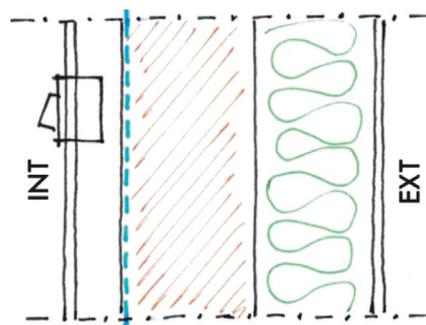
### 2.5.2.3 Intercapedine debolmente ventilata

Anche questa è una casistica frequente (lo vedremo meglio parlando di applicazioni pratiche). È abbastanza facile che ci capiti di considerare – ad esempio – una parete con intercapedine interna (controparete impiantistica), e che quest'ultima venga lasciata vuota (cioè non sia costipata con materiale coibente, o altro materiale di riempimento). È il caso della figura 2.14.

In tal caso, a seconda del grado di ermeticità dell'intercapedine, potremo considerarla "debolmente" o "non" ventilata. Va ricordato che all'interno di cavità spesse oltre 20 mm iniziano ad innescarsi moti convettivi (quindi non abbiamo a che fare con aria completamente "ferma").

Dunque, in termini pratici, come possiamo calcolare la trasmittanza di pareti con intercapedini vuote, operando "a favore di sicurezza"? Caso per caso, a seconda della situazione specifica, possiamo scegliere tra (almeno) due approcci diversi:

- per piena cautela (e probabilmente anche maggiore praticità), possiamo escludere sempre dal calcolo di  $U$  tutte le intercapedini vuote. Nel caso del pacchetto in figura 2.14, cominciamo a considerare gli strati dal tratteggio azzurro procedendo verso l'esterno;
- un approccio più analitico, invece, considera nel calcolo anche le intercapedini vuote. Fanno naturalmente caso a sé quelle "fortemente ventilate" (facciate, tetti, solai "ventilati"), che si considerano mediante l'opportuno valore di  $r_{si}$ . Per le intercapedini "non ventilate" si adoperano le resistenze  $R$  riportate nella tabella 2.4. Per quelle "debolmente ventilate" si dimezzano i valori tabellati.



**Figura 2.14** – Una parete esterna, a stratigrafia omogenea, dotata di controparete impiantistica interna

**Tabella 2.4** – Le resistenze termiche da impiegare nel calcolo della trasmittanza per gli strati d'aria "ferma" (intercapedini "non ventilate") inclusi all'interno di pacchetti costruttivi

Spessore [mm] ≤	Flusso ascendente	Flusso orizzontale	Flusso discendente
5	0,11	0,12	0,12
7	0,13	0,13	0,13
10	0,14	0,15	0,16
15	0,145	0,16	0,175
20	0,15	0,17	0,19
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

### 2.5.3 Trasmittanza di una stratigrafia omogenea, con intercapedine interna

Un esempio pratico chiarirà l'utilizzo delle resistenze tabellate per gli strati d'aria nel calcolo di  $U$ .

Calcoliamo la trasmittanza  $U$  del pacchetto in figura 2.14:

- ✓ Interno ( $R_{si} = 0,13 \text{ mqK/W}$ )
- ✓ Lastra gessofibra 0,125 m 0,320 W/mK
- ✓ Intercapedine vuota 0,050 m ( $R = 0,120 \text{ mqK/W}$ )
- ✓ Laterizio porizzato 0,250 m 0,220 W/mK
- ✓ Isolamento (da definire) 0,140 m 0,036 W/mK
- ✓ Intonaco esterno 0,007 m 0,900 W/mK
- ✓ Esterno ( $R_{se} = 0,04 \text{ mqK/W}$ )

Quali unità di misura definiscono questa apertura alla diffusione? Naturalmente il valore  $\mu$  costituisce una proprietà dei materiali "nudi e crudi". Ma all'interno di una stratigrafia, i materiali figurano con uno spessore definito. Va pertanto introdotta un'ulteriore grandezza, riferita allo specifico spessore dei materiali posti in stratigrafia: il valore  $sd$ , prodotto del  $\mu$  di un materiale moltiplicato per il suo spessore, ed espresso quindi in metri.

### 2.9.2 Tenuta al vapore

Un pacchetto "diffondente" al vapore, in generale, dove possibile, è meglio di uno "chiuso alla diffusione".

Ma una tenuta al vapore ("blanda", "media", o "totale" ch'essa sia) è comunque opportuna. Volendosi attenere, per comodità di trattazione, ad uno schema consueto, si possono indicare tre famiglie di tenute al vapore:

- ✓ teli traspiranti → elevata permeabilità al vapore (elevata apertura alla diffusione);
- ✓ freni al vapore → parziale permeabilità al vapore;
- ✓ barriere al vapore → nessuna permeabilità al vapore (chiusura alla diffusione).

Queste tre tipologie si caratterizzano per range diversi di valore  $sd$ :

- ✓ teli traspiranti →  $sd < 0,1$  m;
- ✓ freni al vapore →  $1 < sd < 20$  m;
- ✓ barriere al vapore →  $sd > 20$  m.

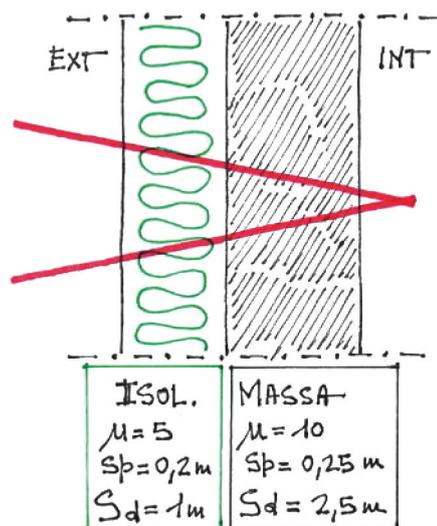
Lo strato di tenuta al vapore, per risultare efficace, dev'essere continuo e privo d'interruzioni. Generalmente, esso coincide con lo strato di tenuta all'aria interna. Si può realizzare, tecnologicamente, con elementi/materiali di vario. Aspetti costruttivi come questi saranno oggetto di più diffusa trattazione.

#### 2.9.2.1 Caso pratico: diffusione, tenuta al vapore, igrovariabilità, tenuta all'aria

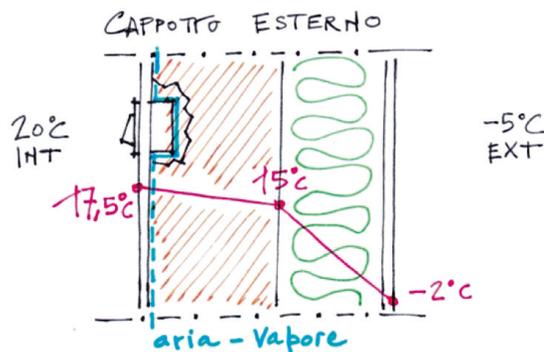
Senza troppo indulgere a temi che tratteremo meglio a breve, vogliamo comunque chiederci come funzioni, dal punto di vista igro-termico, la parete in figura 2.21.

Se, ad esempio, immaginiamo che i materiali rappresentati siano:

- ✓ laterizio forato,  $\mu = 5$ ,
- ✓ cappotto esterno in lana di roccia,  $\mu = 1$ ,
- ✓ possibilmente evitando l'intonaco plastico, poco traspirante, e prediligendo ad esempio la calce, il pacchetto funziona bene: i materiali traspirano, e sono collocati secondo la  $V$  favorevole.



**Figura 2.20** – Una stratigrafia semplificata, con i soli strati significativi, a titolo d'esempio. Materiali disposti, da dentro a fuori: da quello meno aperto a quello più aperto alla diffusione del vapore. Si tratta di una "V favorevole" alla fisiologica diffusione del vapore verso l'esterno attraverso il pacchetto (in regime invernale)



**Figura 2.21** – Una parete con cappotto esterno. Come funziona questa stratigrafia dal punto di vista igro-termico?

# 3. Indicazioni su materiali e sistemi costruttivi

## 3.1 Alcune caratteristiche significative dei materiali da costruzione

---

### 3.1.0 Generalità

Nella breve digressione in tema di fisica tecnica svolta fin qui, abbiamo fissato alcune proprietà fisiche importanti dei materiali da costruzione, considerati singolarmente, e aggregati ad altri nelle composizione di stratigrafie, nodi costruttivi, ecc. Vogliamo ora calare queste nozioni nella pratica, trattando di materiali da costruzione. In proposito, però, non hanno rilievo solo le proprietà discusse in precedenza (conducibilità, capacità termica, massa, resistenza al vapore), ma anche altre peculiarità dei materiali, non necessariamente collegate ad aspetti termo-igrometrici. Per non eludere tematiche che meriterebbero ben altra trattazione dedicata, ne prendiamo in considerazione alcune, con brevissimi cenni:

- ✓ marchiatura e certificazione;
- ✓ materie prime;
- ✓ sostenibilità ambientale;
- ✓ reazione al fuoco;
- ✓ comportamento acustico.

cui vanno naturalmente affiancate altre considerazioni inerenti al costo, alle possibili applicazioni, oltre alle attitudini particolari di ciascun progettista e committente.

### 3.1.1 Marchiatura e certificazione

La più nota forma di certificazione è probabilmente la *Conformité Européenne*, simboleggiata dal noto marchio "CE": il commerciante autocertifica la rispondenza del proprio prodotto ai requisiti fondamentali per la commercializzazione e l'utilizzo nei Paesi dell'Unione Europea.

L'ETA, *European Technical Approval*, è una valutazione tecnica favorevole dell'idoneità all'uso di un prodotto da costruzione per uno specifico impiego, basata sul soddisfacimento dei requisiti essenziali dell'opera di costruzione nella quale il prodotto deve essere incorporato. L'ETA viene elaborata dall'EOTA (*European Organization for Technical Approvals*) per conto della Comunità Europea.

Nel 2001 la Commissione Europea ha approvato l'ETAG 004, una guida tecnica per il rilascio dell'ETA agli ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*: sistemi composti per la coibentazione termica esterna, ossia sistemi da cappotto termico). ETAG 004 è entrata in uso da maggio 2003. ETAG 004, ai sensi della UE, è l'unica guida che contiene tutti i riferimenti per il rilascio di un ETA ai singoli prodotti afferenti a un sistema a cappotto (e solo a quello). Per ottenere l'ETA occorrono prove di laboratorio che dimostrino il rispetto di tutti i parametri tecnici richiesti da ETAG 004, e il controllo periodico sul sistema produttivo a cura di enti terzi.

Sulla base delle linee guida europee, Cortexa, *Consorzio per la Cultura del Sistema a Cappotto*, ha redatto (nel 2009, poi di nuovo nel 2011) il manuale per la corretta posa del sistema a cappotto, riconosciuto come valido regolamento applicativo in tutti i Paesi d'Europa. Il manuale è scaricabile gratuitamente da rete nella traduzione italiana, che integra peraltro i riferimenti alla realtà tecnica e applicativa del nostro Paese.

**Tabella 3.6** – Valori di massa e di isolamento acustico di alcune tipologie di parete

<b>Parete singola</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
parete in blocchi di laterizio con foratura 45% e spessore 12 cm + singolo intonaco spessore 1,5 cm	160	43
parete in blocchi di laterizio con foratura 60% e spessore 30 cm + doppio intonaco spessore 1,5 cm	285	46
parete in blocchi di laterizio con foratura 60% e spessore 35 cm + doppio intonaco spessore 1,5 cm	315	50
blocchi in calcestruzzo (densità 1400 kg/mc) con foratura 23% spessore 20 cm + doppio intonaco spessore 1,5 cm	280	54
blocchi in calcestruzzo (densità 1400 kg/mc) con foratura 25% spessore 30 cm + doppio intonaco spessore 1,5 cm	410	57
<b>Parete doppia "a cassetta"</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
parete doppia (laterizio con 45% di foratura) con: forato esterno da 17 cm + forato interno da 12 cm + intercapedine con lana di roccia da 8 cm + doppio intonaco da 1,5 cm + rinzafo interno da 1 cm	360	55
<b>Parete singola placcata</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
parete in blocchi di laterizio con foratura 45% e spessore 12 cm + intonaco esterno spessore 1,5 cm + (sul lato interno) intercapedine con pannello in lana di legno mineralizzato spessore 2,7 cm + lastra di cartongesso spessore 1,25 cm	169	55
parete in blocchi di laterizio con foratura 60% e spessore 30 cm + intonaco esterno spessore 1,5 cm + (sul lato interno) intercapedine con pannello in lana di roccia spessore 5 cm + lastra di cartongesso spessore 1,25 cm	290	58
<b>Parete leggera in cartongesso</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
struttura da 5 cm, con pannello in lana minerale da 4 cm + una lastra di cartongesso da 1,25 cm per lato	24	45
struttura da 5 cm, con pannello in lana minerale da 4 cm + due lastre di cartongesso da 1,25 cm per lato	44	50
struttura da 5 cm, con pannello in lana minerale da 4 cm + tre lastre di cartongesso da 1,25 cm per lato	64	55

**Tabella 3.7** – Valori di massa e di isolamento acustico di alcune tipologie di solaio

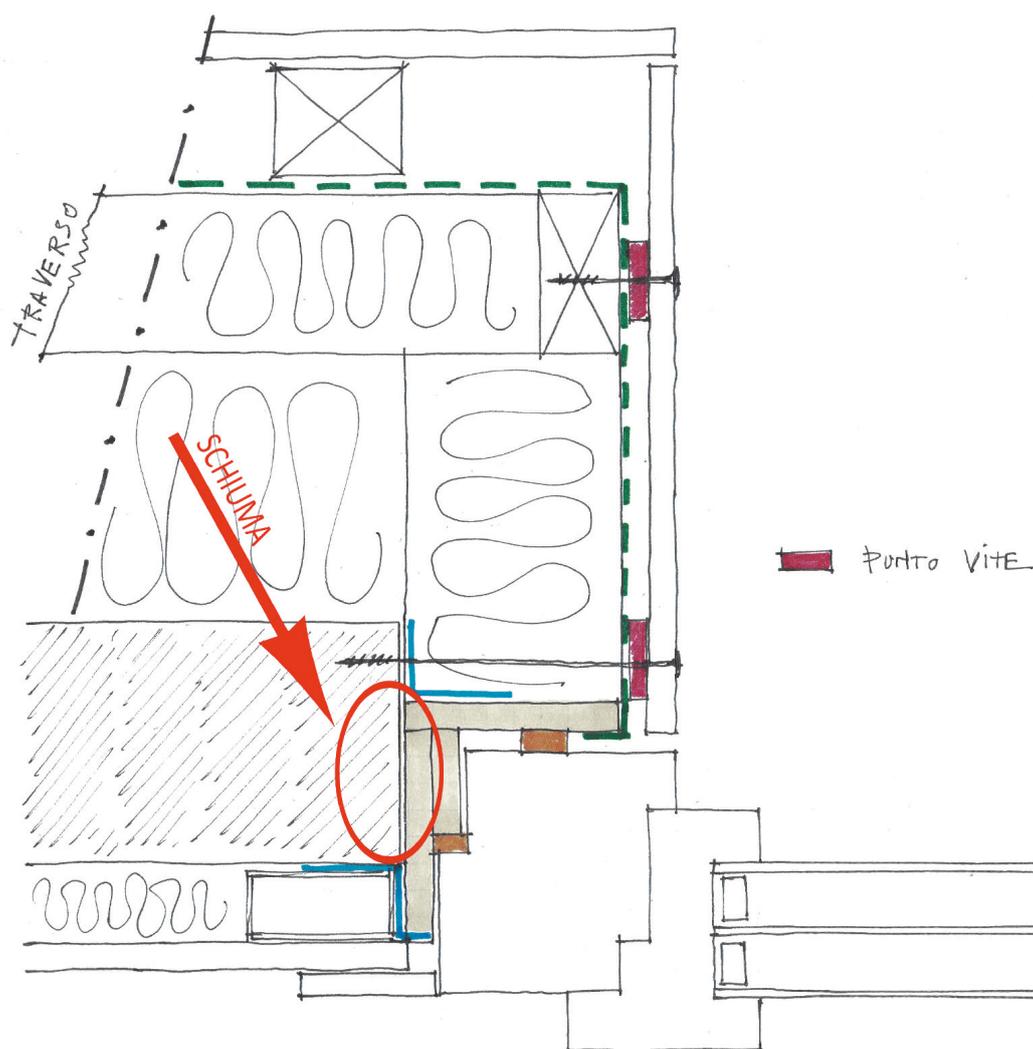
<b>Solaio in laterocemento</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
solaio con travetti e pignatte da 16 cm + soletta collaborante da 4 cm + intonaco all'intradosso da 15 cm	270	49
solaio con travetti e pignatte da 20 cm + soletta collaborante da 4 cm + intonaco all'intradosso da 15 cm	340	50
<b>Solaio in legno</b>	<b><math>\rho</math> [kg/mq]</b>	<b><math>R_w</math> [dB]</b>
singolo assito in legno d'abete da 2,5 cm	20	23
doppio assito in legno d'abete da 2,5 cm	32	29
solaio xlam da 12 cm	66	34
solaio xlam da 12 cm + (intradosso) lana minerale da 2,7 cm e lastra di cartongesso da 1,25 cm + (estradosso) fibra di legno (densità 150 kg/mc) da 20 cm	233	58

I solai in legno, data la ridotta massa, si caratterizzano per valori di fono-isolamento molto bassi. Solo in presenza della coibentazione, o di un massetto in calcestruzzo, raggiungono valori interessanti. Viceversa, i solai ad umido, anche semplicemente allo stato grezzo, si attestano su valori accettabili.

i 5-6 cm di spessore è bene verificare se l'isolamento, anteposto allo strato di tenuta all'aria e al vapore, non comporti un abbassamento della temperatura al di sotto del punto di rugiada. Nel caso, ad esempio, dei servizi igienici, ove debbano passare condotti di diametro rilevante, e vadano previste intercapedini di 10-12 cm o superiori, un simile strato di isolante a monte dello strato di tenuta al vapore potrebbe rivelarsi critico a livello igrometrico. In tal caso la resistenza alla propagazione del suono può essere in parte incrementata con l'aumento della massa superficiale, ossia, ad esempio, con l'utilizzo di un doppia lastra di finitura (gesso-fibra o fibrocemento).

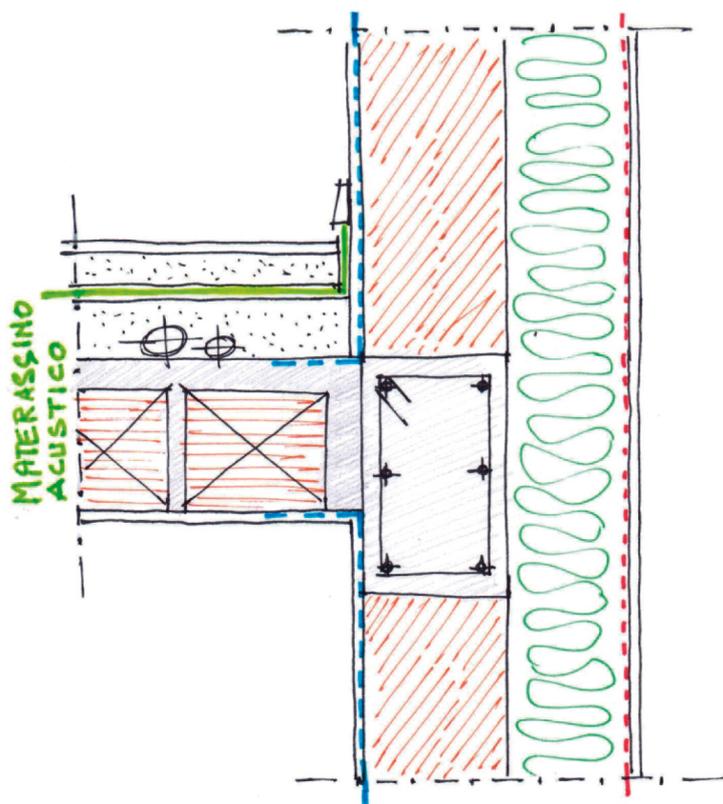
Ovunque vi siano azioni dinamiche (battuta di serramenti apribili, condotti per il passaggio di fluidi, componenti impiantistici che producano rumore, ecc.) è sempre essenziale disaccoppiare le parti rigide attraverso un mezzo più elastico.

Nella posa dei serramenti (che tratteremo meglio oltre) è opportuno fare uso di schiume poliuretaniche a basso modulo di espansione negli eventuali interstizi tra il grezzo murario e il falso telaio (o tra il grezzo e il serramento, laddove il falso non venga impiegato, ipotesi meno raccomandabile). Esse non costituiscono infatti un presidio per la tenuta all'aria, bensì un accorgimento per la separazione meccanica tra componenti rigide, onde evitare la propagazione della percussione tra anta e telaio quando la finestra venga chiusa. Gli schizzi nelle figure 3.6, 3.7 e 3.8 indicano i giunti da trattare con schiuma (o altri eventuali presidi per il disaccoppiamento acustico).



**Figura 3.6** – Esempio di posa di un serramento, nodo laterale (caso di parete con facciata ventilata, o altra finitura architettonica posata su sottostruttura, e controparete interna)

Per il fattore  $L_{nw}$  si raccomanda poi di disaccoppiare acusticamente al calpestio il sottofondo (sia esso radiante o no) del pavimento dalla parete. In questo senso, è essenziale far risvoltare il feltro/materassino anticalpestio, fino a quota del pavimento, quindi tagliarlo, lasciando il battiscopa a coprire il giunto del pavimento. In alternativa, esistono prodotti commerciali "a L" apposti per la soluzione d'angolo tra parete e solaio. Il battiscopa non deve essere appoggiato a pavimento bensì incollato a parete pochi millimetri al di sopra. La realizzazione della "vasca acustica" consente di riprendere il rumore da calpestio, evitando che si trasmetta attraverso la parete. Il posizionamento ragionevolmente corretto del feltro anticalpestio e del suo risvolto è quello schematizzato nello schizzo in figura 3.9. Il suo posizionamento al di sotto del massetto sarebbe errato, poiché il passaggio di condotti impiantistici tra il massetto stesso e la parete comporterebbe la continua perforazione del materassino acustico, compromettendone l'efficacia e consentendo la trasmissione del rumore dal pavimento alla parete.



**Figura 3.9** – Disaccoppiamento acustico, mediante apposito materassino, tra massetto e sottofondo (radiante o non)

L'impianto idrico-sanitario rappresenta un sistema delicato ai fini del fattore  $L_{as max}$ . Occorre disaccoppiare i sanitari da terra con nastri gommati. Parimenti, va disaccoppiata dalla parete la cassetta del WC con giunti antivibranti. Pur utilizzando tubi silenziati per lo scarico del WC e delle acque grigie, è opportuno evitare curve a gomito e pendenze inferiori al 2%. L'ancoraggio dei tubi di scarico a parete andrà eseguito con collari antirumore, dotati di fasce gommate (vedi figure 3.10 e 3.11).

Per il fattore  $L_{aeq}$  tutti i macchinari impiantistici vanno corredati di giunti antivibranti in corrispondenza dei punti di appoggio o ancoraggio agli elementi costruttivi del fabbricato. Nella foto in figura 3.12 è stato commesso un errore: è stato ancorato ad un solaio in xlam un deumidificatore (che sarà successivamente nascosto da un carter in cartongesso), senza utilizzare raccordi antivibranti. È necessario smontarlo, e rimontarlo con elementi appositi, diversamente la vibrazione delle ventole si propagherà alle strutture in legno con effetti estremamente fastidiosi ai fini del comfort acustico.

E per la parete a telaio, dove, per maggiore sensatezza costruttiva, dispongo la lana di roccia anche tra i montanti dell'intercapedine strutturale:

<b>3B</b>	<b>Parete a telaio</b>	<b>d</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>c</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\mu</math></b>
		[cm]	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/mc]	
	Interno					
	Lastra in gessofibra	1,25	0,320	790	1150	10
	Intecap. impianti + lana roccia	5	0,036	830	38	1
	Pannello OSB	1,5	0,130	2000	650	240
	Intecap. montanti strutturali + lana roccia	12	0,036	830	38	1
	Pannello OSB	1,5	0,130	2000	650	240
	Isolamento in EPS	8	0,032	1450	20	30
	Intonaco di calce	0,7	0,800	1130	1800	25
	Esterno					

<b>3B</b>	<b>Parete a telaio</b>		
Trasmittanza termica	U	<b>0,14</b>	W/mqK
Sfasamento	$\varphi$	<b>10,50</b>	ore
Attenuazione	f	<b>0,15</b>	
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$	0,02	W/mqK

Si registra in entrambi i casi il miglioramento atteso. I valori di attenuazione sono più che validi. Quelli di sfasamento sono accettabili, ma non ancora del tutto soddisfacenti, se, per coerenza, si vogliono eguagliare i parametri conseguiti dalla parete in muratura.

Si può allora adottare un'ulteriore miglioria: facendo appello alle proprietà termiche dei materiali trattate in precedenza, ci è noto che la fibra di legno, a parità di massa, ha una capacità termica molto superiore a quella della lana di roccia, benché in media costi un po' di più. Proviamo quindi a sostituire la lana di roccia con la fibra di legno, e valutiamo la variazione. Per l'xlam:

<b>2C</b>	<b>Parete in xlam</b>	<b>d</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>c</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\mu</math></b>
		[cm]	[W/mK]	[J/kgK]	[kg/mc]	
	Interno					
	Lastra in gessofibra	1,25	0,320	790	1150	10
	Intecap. impianti + fibra legno	5	0,038	2100	50	2
	Tavolone strutturale xlam	9	0,130	2000	495	50
	Isolamento in EPS	8	0,032	1450	20	30
	Intonaco di calce	0,7	0,800	1130	1800	25
	Esterno					

<b>2C</b>	<b>Parete in xlam</b>		
Trasmittanza termica	U	<b>0,21</b>	W/mqK
Sfasamento	$\varphi$	<b>9,50</b>	ore
Attenuazione	f	<b>0,13</b>	
Trasmittanza termica periodica	$Y_{ie}$	0,03	W/mqK

### 3.3.2.2 Sistemi a blocchi in legno-cemento con calcestruzzo armato

Un altro sistema che nasce con l'intenzione di integrare la realizzazione di più componenti stratigrafiche: quella massiva-portante (i getti in calcestruzzo armato da eseguirsi in opera), e quella coibente (elementi in EPS, graffiato o meno, possono riempire parte della cavità del blocco in legno-cemento). Le finiture (ottimo in particolare per intonaco, che trova un valido aggrappo sul legno mineralizzato) vanno chiaramente eseguite *a posteriori*. Esistono anche elementi per la realizzazione di solai tralicciati.

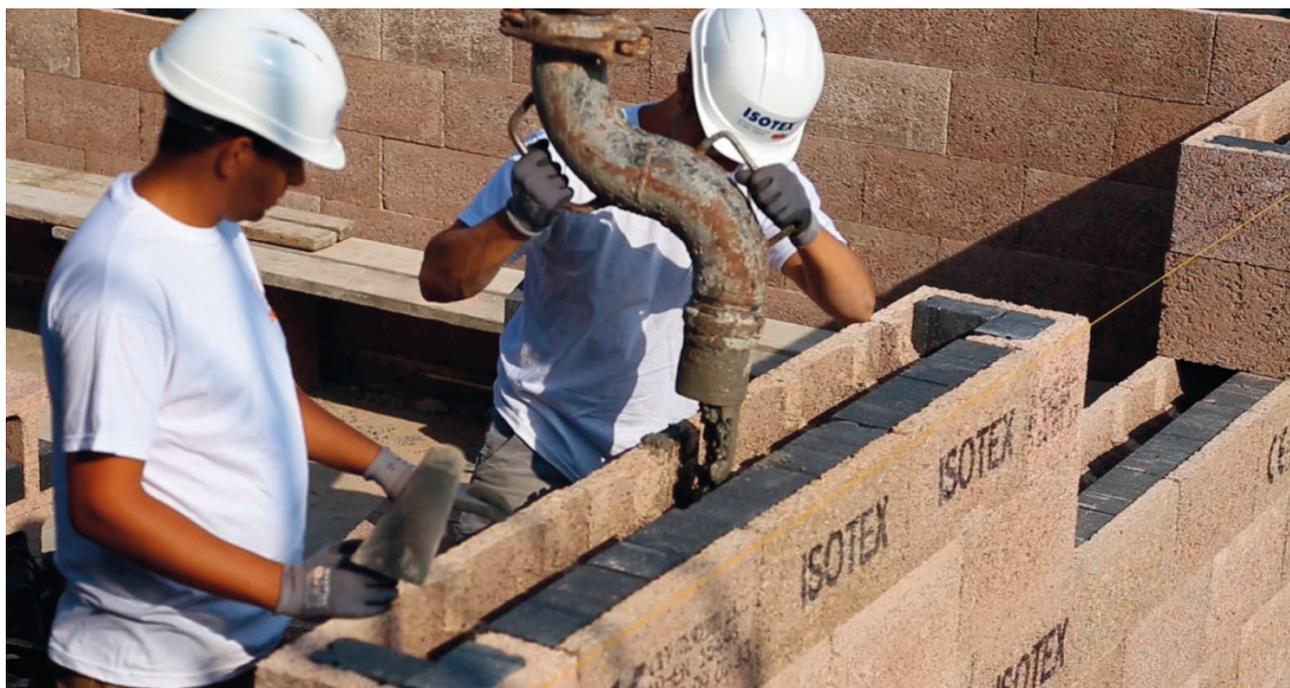
Il legno mineralizzato, con il quale sono realizzati i blocchi cassero, nasce dalla mineralizzazione di un triturato di legno addizionato ad acqua, cemento ed altri minerali. La mineralizzazione depriva il legno delle normali proprietà organiche, proteggendolo da attacchi biologici (parassiti, muffe, ecc.). Discrete rimangono le proprietà termiche, molto buone quelle acustiche.

La flessibilità compositiva è tendenzialmente un po' minore rispetto al sistema precedente. Non solo possibili le geometrie curve, talune geometrie complesse possono risultare difficili da eseguire.

I produttori sono in grado di fornire certificazioni di prodotto e prove strumentali in materia d'isolamento termico (e non soltanto). Occorre tuttavia prestare qualche attenzione in più, rispetto al caso precedente, alla continuità di materiale (in corrispondenza dei connettori) tra interno ed esterno, oltre che alla importante differenza di resistenza termica, tra queste porzioni e il resto del blocco, quando presente l'inserito in EPS, del quale non tutti i blocchi sono equipaggiati (quello rappresentato in figura 3.19 ne è provvisto). Un'analisi agli elementi finiti può consentire di verificare la temperatura superficiale in corrispondenza dei connettori.



**Figura 3.19** – Un blocco cassero in legno mineralizzato (o legno-cemento) con strato integrativo di EPS graffiato



**Figura 3.20** – Getto di calcestruzzo in una parete realizzata con blocchi cassero in legno mineralizzato



**Figura 3.22** – Una parete di tamponamento con blocchi in CCAA. In questo caso gli architravi delle bucature sono costituiti direttamente dalla struttura orizzontale, e il solaio è realizzato “classicamente” in laterocemento

Nonostante l'isolamento invernale sia la prerogativa principale del sistema (le trasmittanze della parete finita, a parità di spessore, sono molto prossime a quelle del sistema con casseri in EPS a rimanere) anche i valori di sfasamento della parete monolitica, già a partire da spessori abbastanza ridotti, sono interessanti (quasi mai inferiori a 9 ore, e spesso assai più elevati).

#### 3.3.2.4 Sistemi a blocchi in laterizio porizzato

L'aggettivo “porizzato” (o “alveolato”) sta ad indicare le micro-cavità d'aria presenti nel laterizio, che, rendendo chiaramente il materiale più rarefatto (quindi diminuendone la massa), migliorano l'isolamento invernale (conduttività più bassa). La massa è un indicatore utile per distinguere tra blocchi da tamponamento e blocchi capaci di funzione portante, in relazione alla loro struttura interna.

Mediamente, blocchi fino a 800 kg/mc circa sono impiegabili solo come tamponamento, per masse maggiori si hanno laterizi portanti. In base a quanto detto, i blocchi da tamponamento saranno leggermente più isolanti di quelli portanti.

I blocchi impiegati oggi sono “rettificati”, hanno cioè le facce superiore ed inferiore perfettamente planari e parallele, in modo da poter essere giuntati con letti di malta davvero sottili. La malta o il collante possono essere applicati con diverse modalità: con tramoggia a rullo (figura 3.23)



**Figura 3.23** – Una parete in fase di realizzazione, con sottilissimi giunti di malta termica stesi a tramoggia con rullo



**Figura 4.24a** – In vista il telo di tenuta interna e freno al vapore igrovariabile, posto sopra al tavolato strutturale: tra breve sarà nastrato alla parete verticale in xlam



**Figura 4.24b** – In vista il telo di tenuta interna e freno al vapore, posto sopra al tavolato strutturale, nastrato sul cordolo in cemento armato

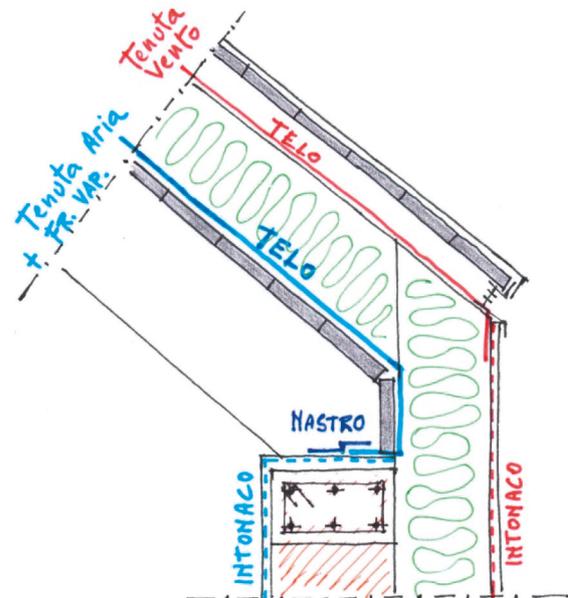
Analoga situazione è ripresa dall'esterno nella foto 4.24.b, e schematizzata (benché con una differenza nel punto di posizionamento della nastratura) in figura 4.25. Attraverso una nastratura, la tenuta interna viene "passata" da un telo (con proprietà di freno al vapore), che corre sopra al tavolato strutturale in legno, al cordolo perimetrale in cemento armato. Sul cordolo va a chiudersi lo strato d'intonaco interno che garantisce la tenuta all'aria sulla parete verticale. La continuità è così mantenuta. Sul filo esterno avviene un analogo "passaggio" tra l'intonaco della facciata e il telo traspirante di tenuta al vento, mediante una nastratura intonacabile che corre lungo la linea di gronda.

#### 4.1.2.5 Che cos'è un telo igrovariabile?

Trattando del funzionamento termo-igrometrico dell'involucro edilizio, abbiamo parlato di *barriere al vapore* completamente chiuse alla traspirazione, di *freni* atti ad un passaggio parziale del vapore, e di teli particolarmente *traspiranti*. Li abbiamo definiti in funzione dei *range* di valori *sd*, che richiamiamo:

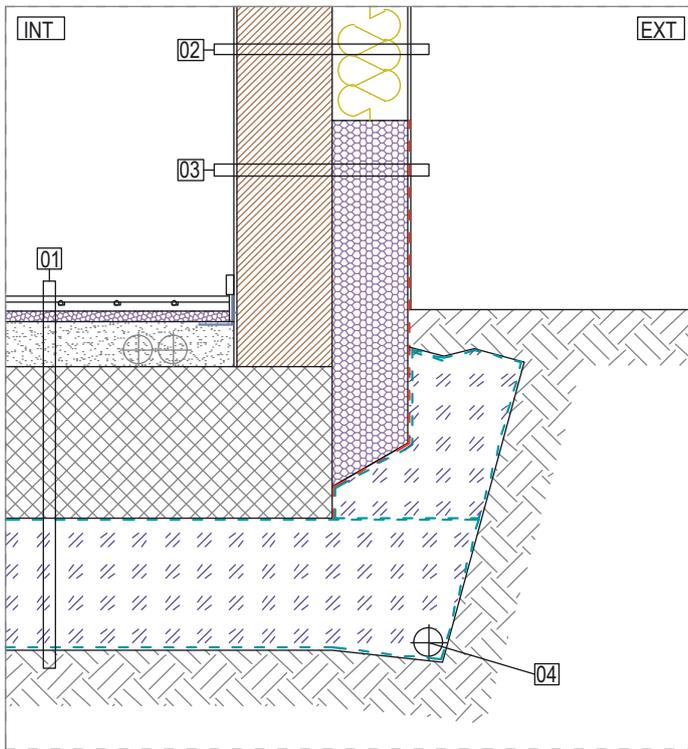
- ✓ teli ad alta traspirazione →  $sd < 0,1$  m
- ✓ freni al vapore →  $1 < sd < 20$  m
- ✓ barriere al vapore →  $sd > 20$  m

Si è però anche precisato che tale distinzione non corrisponde di necessità ad elementi tecnologici diversi, afferenti ad una sola delle tre categorie. Abbiamo infatti introdotto (nel capitolo 2) i sistemi *igrovariabili*. Un telo *igrovariabile* è una membrana evoluta in grado di adattare la propria struttura molecolare in base al quantitativo medio di umidità presente in ambiente in ogni momento e di modificare attivamente la propria resistenza alla diffusione del vapore in base alle esigenze contingenti. Tali membrane possono variare il pro-



**Figura 4.25** – "Passaggio" di tenute, tra parti a secco e parti ad umido, sia sul filo interno che su quello esterno, in un nodo tetto-parete

<b>A.1</b>	<b>ATTACCO A TERRA</b>	scala 1:20
	muratura, isolamento sotto platea (con coibente granulare)	



1. Stratigrafia, da interno/alto a esterno/basso. Pavimentazione e collante; caldana termica radiante a secco con lastra in gessofibra fresata superiormente per integrazione della serpentina; isolamento sottoradiante conforme UNI EN 1264; massetto alleggerito impianti; platea in CA; tessuto non tessuto; vetro cellulare granulare; tessuto non tessuto.
2. Stratigrafia, da interno a esterno. Intonaco; laterizio forato porizzato; lana di roccia da cappotto, 150kg/mc superficiali, 100kg/mc densità media; intonaco.
3. Stratigrafia, da interno a esterno. Intonaco; laterizio forato porizzato; XPS; guaina liquida, a discendere fino ad impermeabilizzare il nodo tra la lastra di XPS e la testa della platea; intonaco.
4. Tubo dreno.

**legenda generale: strati funzionali sottili (significativi e ricorrenti)**

<ul style="list-style-type: none"> <li>— fascia perimetrale per vasca acustica</li> <li>- - - feltro anticalpestio</li> <li>+++++ guaina bugnata (per pareti contro terra)</li> <li>- - - guaina (non richiesta traspirabilità al vapore)</li> <li>- - - guaina liquida</li> <li>— manti metallici e scossaline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - - tessuto non tessuto (strato di separazione drenante)</li> <li>— punto vite (da impiegare per ogni foro di vite su teli di tenuta)</li> <li>- - - tenuta al vento + tenuta all'acqua, traspirante al vapore</li> <li>— nastrature tra elementi atti alla tenuta al vento</li> <li>- - - tenuta all'aria + freno o barriera al vapore (v. specifiche)</li> <li>— nastrature tra elementi atti alla tenuta all'aria</li> </ul>
--	--

A livello operativo, l'isolamento sotto platea si può eseguire con materiale granulare sfuso, come proposto nei dettagli **A1** e **A3**, o con lastre di coibente, come nel nodo **A2**.

Nel primo caso può trattarsi di vetro cellulare granulare o (forse un po' più raramente) di argilla espansa.

Nel secondo, tipicamente, di lastre in XPS o in vetro cellulare compatto, entrambi perfettamente resistenti all'acqua e al carico statico diffuso. Nel vetro cellulare le due caratteristiche risultano amplificate, ad un costo un po' più elevato.

La soluzione con ghiaia di vetro cellulare (o altro idoneo materiale) garantisce anche una notevole praticità in fase di cantiere. Eseguito lo scavo di sbancamento e steso un tessuto-non-tessuto (come strato di separazione dal terreno fondale), può essere posato, steso e compattato il materiale granulare. Il granulato di vetro cellulare viene di norma fornito dentro grandi *big-bags*, o direttamente all'interno del cassone ribaltabile dell'autocarro. L'argilla espansa può essere fornita in autobotte e posta in opera per pompaggio.

Per ottenere lo spessore di progetto (normalmente fra 30 e 40 cm), l'altezza dello strato di vetro cellulare da posare sarà definita in base al fattore di compressione dichiarato dal produttore, che è espressione del compattamento cui il materiale va soggetto sotto il carico del fabbricato.

Prima di posare il granulato, è opportuno far correre lungo i lati dello scavo dei tubi microporosi di drenaggio, che colleteranno verso la rete di raccolta o smaltimento delle acque. Steso e compattato il vetro cellulare, il tessuto-non-tessuto può essere risvoltato sopra questo, per eseguire le armature, le cassature, quindi il getto della platea di fondazione.

Eseguita la platea (con o senza cordolo dipendentemente dal progetto statico), si potrà procedere con le pareti in elevazione. Giunti alla posa dei cappotti, sarà evidentemente fondamentale dare continuità di coibentazione ed impermeabilizzazione, tra la "zoccolatura" al piede del cappotto verticale e l'isolamento sotto platea; operazioni che, a discrezione del progettista, e come emerge anche dai dettagli proposti, si possono attuare in maniere lievemente differenti a seconda che, sotto platea, si isoli con materiale granulare o con lastre coibenti.

Una differenza abbastanza inderogabile tra l'uso di granulato e l'impiego di lastre sta nel fatto che, nel secondo dei due casi, si ha necessità di una maggiore planarità a fondo scavo (mentre il materiale sfuso è in grado di adattarsi a eventuali irregolarità, fatto salvo il mantenimento dello spessore d'isolamento previsto a progetto), dunque è consigliabile eseguire un magrone in CLS prima di posare l'isolamento. Inoltre, i materiali in lastra hanno normalmente delle conduttività alquanto inferiori rispetto ai granulati, oltre a non avere un fattore di compressione; pertanto, a parità di prestazione, si richiedono spessori inferiori.

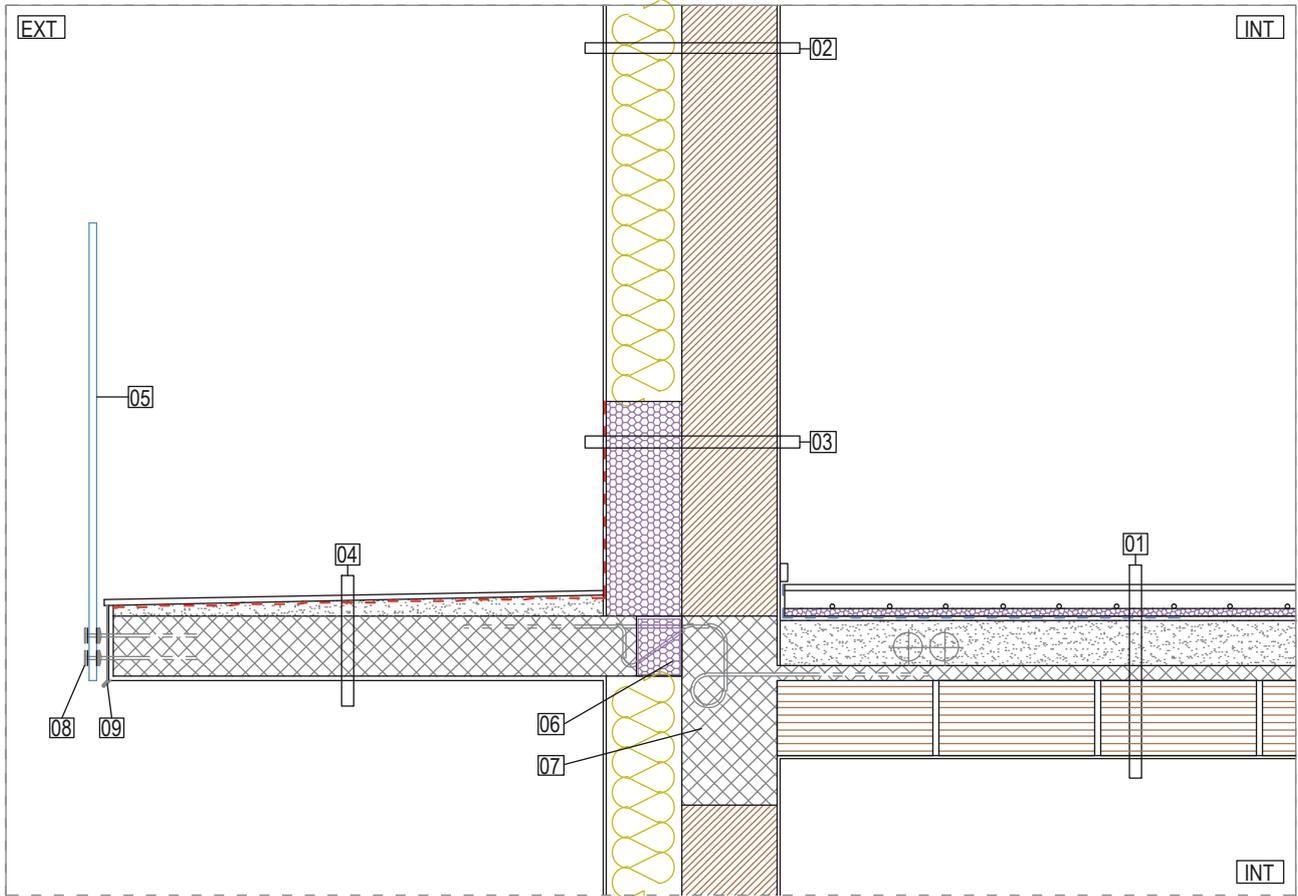


**Figura 4.76** – Il fondo dello scavo viene “foderato” con tessuto-non-tessuto, quindi si comincia lo spandimento del vetro granulare. Si noti la presenza del tubo dreno lungo in perimetro dello scavo, anch'esso avvolto da tessuto-non-tessuto filtrante



**Figura 4.77** – Il vetro cellulare è stato steso. Si noti la fuoriuscita dallo scavo di fondazione delle estremità del tubo di drenaggio. Scavando, esso sarà condotto alla rete di raccolta delle acque

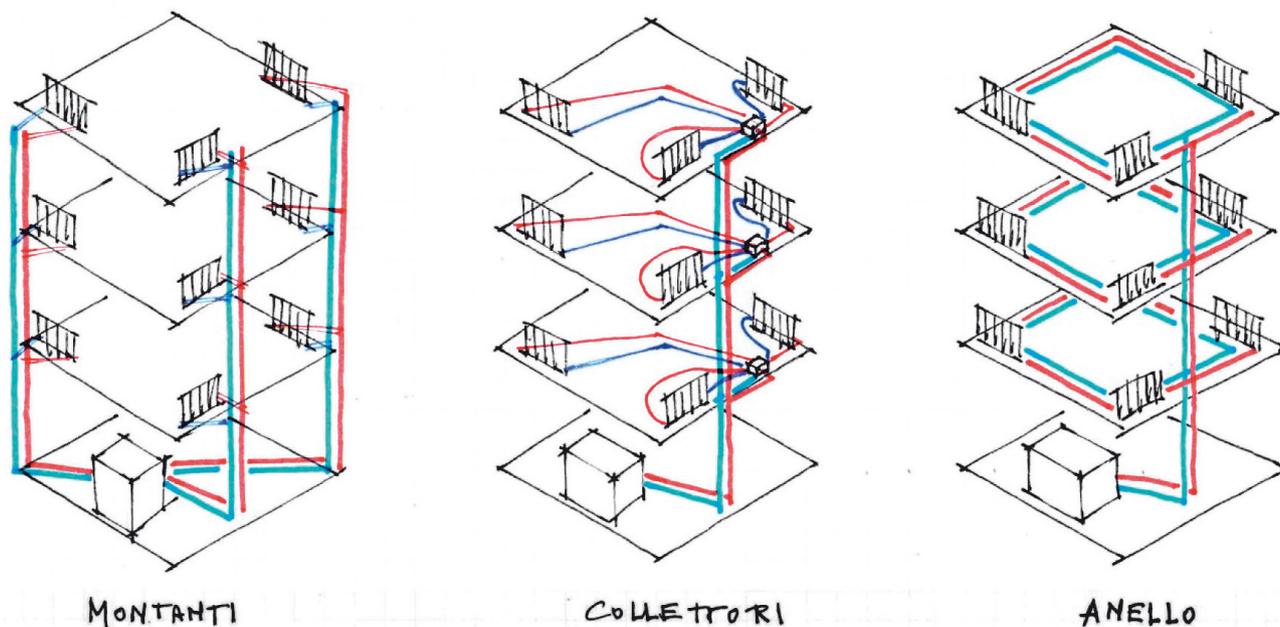
<b>E.1</b>	<b>BALCONE A SBALZO</b>	scala 1:20
	muratura, disgiuntore strutturale, pendenza con massetto	



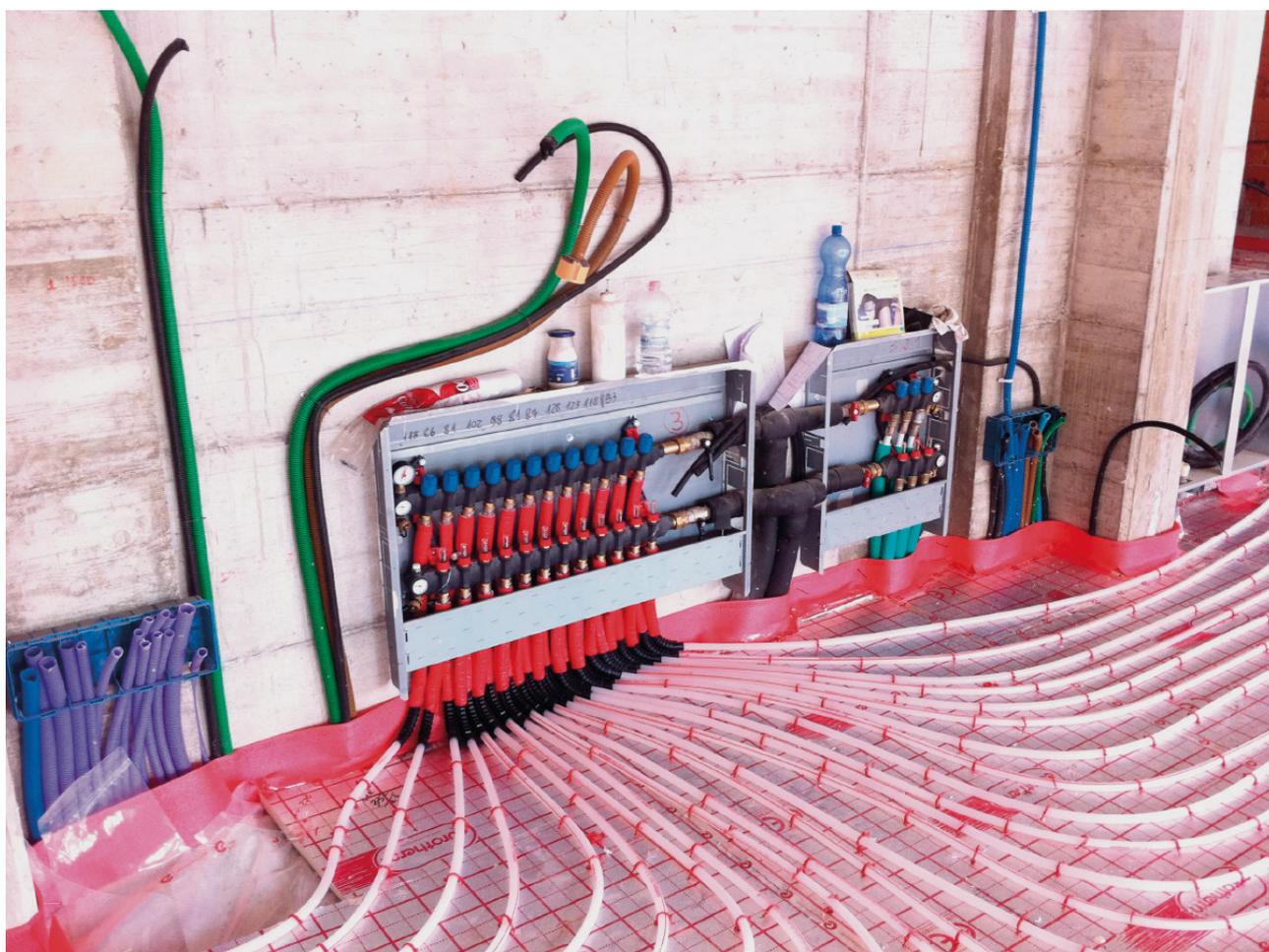
- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stratigrafia, da alto a basso. Pavimentazione e collante; caldaia termica radiante in CLS; isolamento sottoradiante conforme UNI EN 1264; feltro anticalpestio; massetto alleggerito impianti; solaio in laterocemento (caldana in CA + travetti e pignatte); intonaco.</li> <li>2. Stratigrafia, da interno a esterno. Intonaco; laterizio forato porizzato; lana di roccia da cappotto, 150kg/mc superficiali, 100kg/mc densità media; intonaco.</li> <li>3. Stratigrafia, da interno a esterno. Intonaco; laterizio forato porizzato; XPS; guaina liquida, a proseguire sul massetto pendenziato del balcone; intonaco.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Stratigrafia, da alto a basso. Pavimentazione in gres e collante; guaina liquida; massetto di pendenza; soletta CA; intonaco.</li> <li>5. Parapetto in lastra vetrata.</li> <li>6. Disgiuntore strutturale a taglio termico per sbalzo in CA.</li> <li>7. Trave in CA.</li> <li>8. Perni di fissaggio del parapetto alla soletta, con guarnizione plastiche tra metallo e vetro.</li> <li>9. Scossalina di finitura con rompigoocia in testa alla soletta.</li> </ol> |
|---|---|

**legenda generale: strati funzionali sottili (significativi e ricorrenti)**

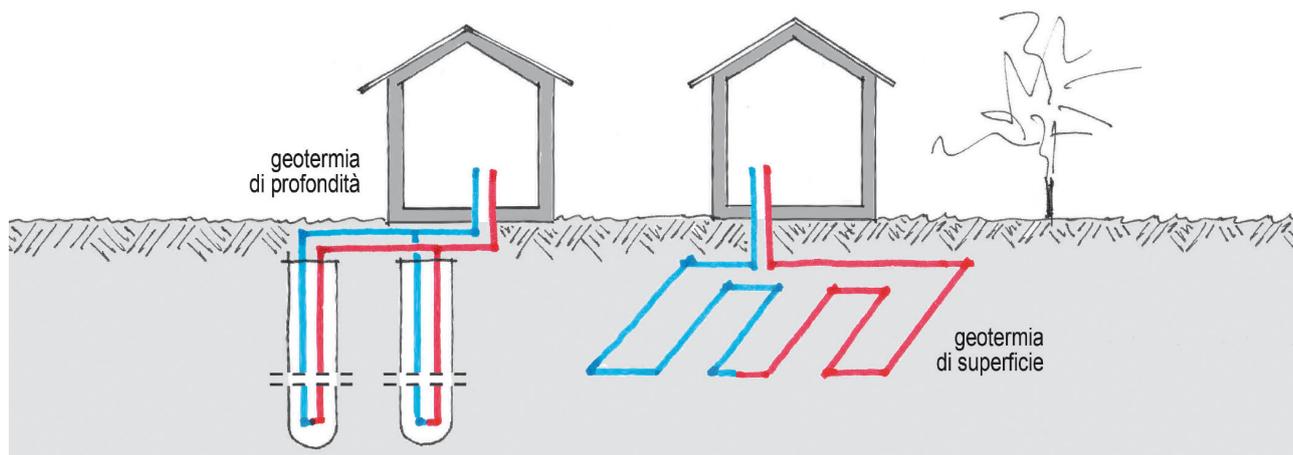
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">— — — —</span> fascia perimetrale per vasca acustica</li> <li><span style="color: blue;">- - - -</span> feltro anticalpestio</li> <li><span style="color: red;">+++++</span> guaina bugnata (per pareti contro terra)</li> <li><span style="color: red;">- - - -</span> guaina (non richiesta traspirabilità al vapore)</li> <li><span style="color: red;">- - - -</span> guaina liquida</li> <li><span style="color: grey;">— — — —</span> manti metallici e scossaline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">- - - -</span> tessuto non tessuto (strato di separazione drenante)</li> <li><span style="color: black;">— — — —</span> punto vite (da impiegare per ogni foro di vite su teli di tenuta)</li> <li><span style="color: green;">- - - -</span> tenuta al vento + tenuta all'acqua, traspirante al vapore</li> <li><span style="color: green;">— — — —</span> nastrature tra elementi atti alla tenuta al vento</li> <li><span style="color: grey;">- - - -</span> tenuta all'aria + freno o barriera al vapore (v. specifiche)</li> <li><span style="color: grey;">— — — —</span> nastrature tra elementi atti alla tenuta all'aria</li> </ul>
---	---



**Figura 7.6** – Tipologie frequenti di distribuzione in edifici pluripiano. La tipologia a colonne montanti ha oggi felicemente ceduto il passo alle altre due tipologie



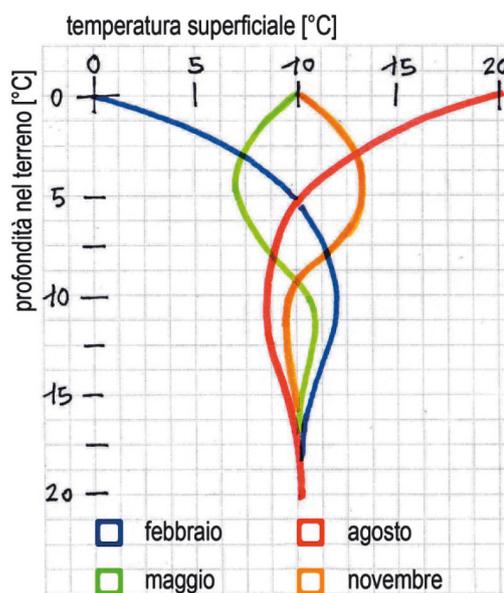
**Figura 7.7** – Un collettore di distribuzione di un sistema radiante a pavimento prima del getto della caldana termica. Si faccia caso alla presenza della striscia di bordo, in EPDM o altro materiale finalizzato al conseguimento di una “vasca acustica”



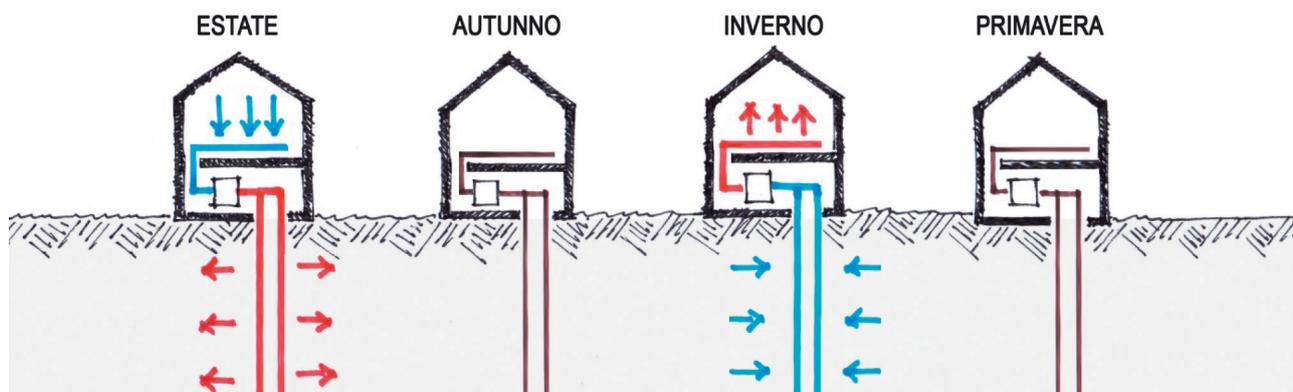
**Figura 7.18a** – Geotermia verticale e orizzontale

In alternativa, il pozzo freddo può essere individuato nel terreno o in una falda acquifera, e raggiunto con sonde ad acqua glicolata. Abbiamo così la **geotermia** e l'**idrotermia**. Nel caso del geotermico, si può trattare di sonde verticali, a profondità consistenti (anche 100 m o superiori) con potenze significative, o di sonde orizzontali, poste a circa due metri sotto il piano di campagna, con potenze inferiori ma anche evidentemente costi ridotti. Queste casistiche implicano un pozzo freddo a temperatura più mite rispetto all'aria esterna; conseguentemente, il COP e l'EER sono più elevati.

In un sistema geotermico, il terreno viene impiegato come fonte di calore invernale e come dissipatore estivo. È importante l'alternanza dei due cicli, nell'arco dell'anno: se, ad esempio, si sfruttasse lo scambio geotermico solo per il riscaldamento,



**Figura 7.18b** – La distribuzione delle temperature nel sottosuolo, progressivamente più omogenea man mano che si scenda in profondità, spiega perché la geotermia verticale abbia le efficienze nettamente più elevate nell'arco dell'anno



**Figura 7.19** – Pompa di calore geotermica: prelievo di calore invernale e dissipazione di calore estivo. In autunno il terreno funge da accumulo di carico termico "caldo", a 12-16°C; in primavera, da accumulo di carico "fresco", a 4-8°C