

Giovanni Sardella

MANUALE DELL'ISOLAMENTO A CAPPOTTO

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2019

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di ottobre 2019 da
Stabilimento Tipolitografico Ugo Quintily S.p.A.
Viale Enrico Ortolani 149/151 – Zona industriale di Acilia – 00125 Roma

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, e hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimangono, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e i dimensionamenti delle strutture e dei componenti. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

AVVERTENZA	13
CAPITOLO 1 - IL REGIME INVERNALE	15
1.1 Premessa	15
1.2 Le dispersioni degli edifici	15
1.3 La conducibilità termica λ	16
1.4 La trasmittanza termica U	20
1.5 La resistenza termica unitaria R_u	21
1.6 Le resistenze liminari	22
1.7 Esempio di calcolo: parete verticale	23
1.8 Le detrazioni fiscali	33
1.9 Conclusioni	33
CAPITOLO 2 - IL REGIME ESTIVO	35
2.1 Premessa	35
2.2 La trasmittanza termica periodica Y_{ie}	36
2.3 La massa superficiale M_s	37
2.4 Le verifiche	38
2.5 Esempio di calcolo: parete verticale	38
2.6 La scelta del materiale isolante	46
2.7 Conclusioni	50
CAPITOLO 3 - L'IGROTHERMIA	51
3.1 Premessa	51
3.2 Gli stati della materia	51
3.3 Gas o vapore?	52
3.4 Ghiaccio, acqua e vapore acqueo	53
3.5 L'aria che respiriamo	55
3.6 Aria umida o aria secca?	55
3.7 Umidità assoluta	58
3.8 Umidità relativa	59
3.9 Il diagramma psicrometrico	62
3.10 Il vapore acqueo nelle costruzioni	67

3.11	Variazioni di umidità	69
3.12	La verifica della condensa superficiale	70
3.12.1	Trasmittanza massima della struttura	73
3.12.2	Temperatura superficiale interna minima	73
3.13	La verifica della condensa interstiziale	76
3.13.1	Il diagramma di Glaser	76
3.13.2	Significato	82
3.13.3	Concavità	83
3.13.4	Traspirazione e cappotto termico	88
3.13.5	Variazioni ambientali	89
3.14	Le verifiche secondo la legislazione vigente	92
3.14.1	Leggi e norme di riferimento	92
3.14.2	Parametri di ingresso	95
3.14.3	Verifica della condensa interstiziale	96
3.14.4	Verifica della condensa superficiale	96
3.14.5	Verifica della formazione di muffe	97
3.15	Conclusioni	100
CAPITOLO 4 - I PONTI TERMICI		103
4.1	Definizioni	103
4.2	Gli effetti dei ponti termici	105
4.3	La determinazione dei ponti termici	106
4.3.1	Calcolo numerico	109
4.3.2	Atlante dei ponti termici	110
4.3.3	Calcoli manuali	112
4.3.4	Valori di progetto	112
4.4	Il calcolo numerico dei ponti termici	113
4.4.1	I piani di taglio	114
4.4.2	Le condizioni al contorno	115
4.4.3	Aree degli elementi	115
4.5	L'influenza del cappotto termico sui ponti termici	118
4.6	La verifica con i ponti termici	125
4.7	Conclusioni	131
4.8	Appendice: abaco dei ponti termici CENED	131
4.8.1	Procedura operativa	131
CAPITOLO 5 - L'ACUSTICA		147
5.1	Premessa	147
5.2	Il suono	147

5.3	La sensazione sonora	150
5.4	Il comfort acustico	152
5.5	Le grandezze in gioco	153
5.6	I materiali fonoassorbenti ed i materiali fonoisolanti	156
5.7	La normativa italiana	157
5.8	La normativa europea	160
5.9	I metodi di calcolo	160
5.10	Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_w di una porzione interna	161
5.10.1	Calcolo semplice	161
5.10.2	Calcolo in frequenza	163
5.11	Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$	165
5.11.1	Calcolo semplice	165
5.11.2	Calcolo in frequenza	168
5.12	Calcolo dell'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L'_{nw}	168
5.12.1	Calcolo semplice	168
5.12.2	Calcolo in frequenza	169
5.13	La simbologia della normativa tecnica	171
5.14	Esempio di calcolo: parete verticale	172
5.14.1	Partizione tra unità adiacenti	173
5.14.2	Elemento di facciata	173
CAPITOLO 6 - LA VERIFICA AL FUOCO		177
6.1	Incendio e combustione	177
6.1.1	Curve di sviluppo di incendio	180
6.2	La normativa italiana ed europea	181
6.3	Resistenza al fuoco delle murature: metodo tabellare (D.M. 16 febbraio 2007)	183
6.4	Resistenza al fuoco di pareti a più strati	187
6.5	Reazione al fuoco dei materiali isolanti	190
CAPITOLO 7 - IL COMFORT AMBIENTALE		195
7.1	Premessa	195
7.2	L'uomo standard	195
7.3	Una macchina termodinamica	197
7.4	La produzione del calore del corpo umano	200
7.5	L'emissione del calore del corpo umano	202

7.5.1	Irraggiamento (o irradiazione)	202
7.5.2	Conduzione e convezione	203
7.5.3	Evaporazione	204
7.6	Il controllo della temperatura	204
7.7	Il bilancio del corpo umano	205
7.8	Il bilancio del corpo umano in condizione di comfort	209
7.9	Equazione del comfort di Fanger	210
7.10	Individualità del comfort	213
7.11	Gli ambienti reali, il disagio localizzato	215
7.12	Zona del comfort	218
7.13	I nuovi modelli adattivi	220
7.14	Confronto fra i modelli	222
7.15	Conclusioni	224
CAPITOLO 8 - ETICS: I MATERIALI		225
8.1	Generalità	225
8.1.1	L'energia inglobata nei materiali	227
8.1.2	La valutazione ambientale	227
8.1.3	La Dichiarazione ambientale di prodotto	229
8.2	I materiali isolanti per l'ETICS	234
8.2.1	Fibra di legno	234
8.2.1.1	<i>Il materiale</i>	234
8.2.1.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	235
8.2.1.3	<i>Conducibilità termica e potere coibente</i>	237
8.2.1.4	<i>Protezione termica estiva</i>	238
8.2.1.5	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	238
8.2.1.6	<i>Resistenza al calore e alla fiamma</i>	238
8.2.1.7	<i>Resistenza all'acqua</i>	239
8.2.1.8	<i>Permeabilità ai gas e al vapore acqueo</i>	239
8.2.1.9	<i>Isolamento acustico ed assorbimento fonico</i>	239
8.2.1.10	<i>Pericolosità</i>	239
8.2.1.11	<i>Durabilità ed inattaccabilità</i>	240
8.2.1.12	<i>Pannelli in legno mineralizzato</i>	240
8.2.2	Sughero	241
8.2.2.1	<i>Il materiale</i>	241
8.2.2.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	242

	8.2.2.3	<i>Conducibilità termica e potere coibente</i>	244
	8.2.2.4	<i>Protezione termica estiva</i>	244
	8.2.2.5	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	245
	8.2.2.6	<i>Resistenza al calore e alla fiamma</i>	245
	8.2.2.7	<i>Resistenza all'acqua</i>	245
	8.2.2.8	<i>Permeabilità ai gas e al vapore acqueo</i>	245
	8.2.2.9	<i>Isolamento acustico ed assorbimento fonico</i> ..	245
	8.2.2.10	<i>Pericolosità</i>	246
	8.2.2.11	<i>Durabilità ed inattaccabilità</i>	246
8.2.3		Fibra di canapa	246
	8.2.3.1	<i>Il materiale</i>	246
	8.2.3.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	247
	8.2.3.3	<i>Conducibilità termica e potere coibente</i>	249
	8.2.3.4	<i>Protezione termica estiva</i>	249
	8.2.3.5	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	249
	8.2.3.6	<i>Resistenza al calore e alla fiamma</i>	249
	8.2.3.7	<i>Resistenza all'acqua</i>	250
	8.2.3.8	<i>Permeabilità ai gas e al vapore acqueo</i>	250
	8.2.3.9	<i>Isolamento acustico ed assorbimento fonico</i> ..	250
	8.2.3.10	<i>Pericolosità</i>	250
	8.2.3.11	<i>Durabilità ed inattaccabilità</i>	251
8.2.4		Lana di roccia	251
	8.2.4.1	<i>Il materiale</i>	251
	8.2.4.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	252
	8.2.4.3	<i>Conducibilità termica e potere coibente</i>	254
	8.2.4.4	<i>Protezione termica estiva</i>	254
	8.2.4.5	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	254
	8.2.4.6	<i>Resistenza al calore e alla fiamma</i>	254
	8.2.4.7	<i>Resistenza all'acqua</i>	255
	8.2.4.8	<i>Permeabilità ai gas e al vapore acqueo</i>	255
	8.2.4.9	<i>Isolamento acustico ed assorbimento fonico</i> ..	256
	8.2.4.10	<i>Pericolosità</i>	256
	8.2.4.11	<i>Durabilità ed inattaccabilità</i>	257
8.2.5		Lana di vetro	257
	8.2.5.1	<i>Il materiale</i>	257
	8.2.5.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	258

	8.2.5.3	Conducibilità termica e potere coibente	260
	8.2.5.4	Protezione termica estiva	261
	8.2.5.5	Caratteristiche meccaniche	261
	8.2.5.6	Resistenza al calore e alla fiamma	262
	8.2.5.7	Resistenza all'acqua	263
	8.2.5.8	Permeabilità ai gas e al vapore acqueo	263
	8.2.5.9	Isolamento acustico ed assorbimento fonico ..	263
	8.2.5.10	Pericolosità	264
	8.2.5.11	Durabilità ed inattaccabilità	266
8.2.6		Silicato di calcio	267
	8.2.6.1	Il materiale	267
	8.2.6.2	Il principio tecnologico (processo di produzione)	268
	8.2.6.3	Conducibilità termica e potere coibente	268
	8.2.6.4	Protezione termica estiva	268
	8.2.6.5	Caratteristiche meccaniche	268
	8.2.6.6	Resistenza al calore e alla fiamma	269
	8.2.6.7	Permeabilità ai gas e al vapore acqueo	269
	8.2.6.8	Isolamento acustico ed assorbimento fonico ..	270
	8.2.6.9	Pericolosità	271
	8.2.6.10	Durabilità ed inattaccabilità	271
	8.2.6.11	Silicato di calcio "idrato"	271
8.2.7		EPS, XPS, EPS con grafite	273
	8.2.7.1	Il materiale	273
	8.2.7.2	Il principio tecnologico (processo di produzione)	274
	8.2.7.3	Conducibilità termica e potere coibente	277
	8.2.7.4	Protezione termica estiva	278
	8.2.7.5	Caratteristiche meccaniche	278
	8.2.7.6	Resistenza al calore e alla fiamma	279
	8.2.7.7	Resistenza all'acqua	281
	8.2.7.8	Permeabilità ai gas e al vapore acqueo	281
	8.2.7.9	Isolamento acustico ed assorbimento fonico ..	282
	8.2.7.10	Pericolosità	283
	8.2.7.11	Durabilità ed inattaccabilità	283
	8.2.7.12	L'XPS	283
	8.2.7.13	L'EPS con grafite	285
8.2.8		Poliuretano espanso	286
	8.2.8.1	Il materiale	286

8.2.8.2	<i>Il principio tecnologico (processo di produzione)</i>	286
8.2.8.3	<i>Conducibilità termica e potere coibente</i>	287
8.2.8.4	<i>Protezione termica estiva</i>	288
8.2.8.5	<i>Caratteristiche meccaniche</i>	288
8.2.8.6	<i>Resistenza al calore e alla fiamma</i>	289
8.2.8.7	<i>Resistenza all'acqua</i>	289
8.2.8.8	<i>Permeabilità ai gas e al vapore acqueo</i>	290
8.2.8.9	<i>Isolamento acustico ed assorbimento fonico</i> ..	290
8.2.8.10	<i>Pericolosità</i>	290
8.2.8.11	<i>Durabilità ed inattaccabilità</i>	292
8.2.8.12	<i>Nuovi sviluppi</i>	292
8.2.9	Conclusioni	293
8.3	La qualità dell'aria interna ed i "VOC"	293
8.3.1	Premessa	293
8.3.2	La ventilazione	294
8.3.3	Gli inquinanti indoor	295
8.3.4	La sindrome da edificio malato	300
8.3.5	La certificazione dei materiali	301
CAPITOLO 9 - LA POSA IN OPERA		303
9.1	Premessa	303
9.2	Principali riferimenti normativi	306
9.3	Formazione	306
9.4	L'allestimento del cantiere	307
9.5	Le verifiche preliminari	308
9.6	Le operazioni preliminari	308
9.6.1	Temperatura di posa	309
9.6.2	Pulizia della superficie	309
9.6.3	Verifica meccanica del supporto	309
9.6.4	Presenza di patologie (umidità, muffe, alghe, ecc.)	313
9.6.5	Presenza di rivestimenti ceramici o di altra natura	313
9.6.6	Verifica della planarità del supporto	314
9.6.7	Sintesi	316
9.7	La struttura del sistema	320
9.7.1	Fissaggio	321
9.7.2	Materiale isolante	322
9.7.3	Sistema di intonaco	323

9.8	La partenza	323
9.8.1	La partenza con i profili	323
9.8.2	La partenza con i pannelli di zoccolatura	325
9.8.3	Sintesi	327
9.9	La stesura del collante	327
9.9.1	Scelta e preparazione	327
9.9.2	Stesura del collante a mano	329
9.9.3	Stesura del collante a macchina	330
9.10	La posa dei pannelli	331
9.10.1	Generalità	331
9.10.2	Il taglio dei pannelli	331
9.10.3	La posa dei pannelli	332
9.10.4	La posa in prossimità di porte, finestre e aperture	334
9.10.5	Gli imbotti e gli architravi delle aperture	336
9.10.6	Soffitti	337
9.10.7	La posa in prossimità di spigoli ed angoli	337
9.10.8	Giunti di dilatazione	337
9.10.9	Raccordo con elementi sporgenti	338
9.10.10	Barriere al fuoco	339
9.10.11	Installazione di davanzali	339
9.10.12	Eliminazione delle irregolarità	341
9.11	La tassellatura	342
9.11.1	Tipologia di tasselli	344
9.11.2	Esecuzione dei fori	346
9.11.3	Profondità dei fori	347
9.11.4	Schemi per la tassellatura: a T e a W	348
9.11.5	Quantità dei tasselli	349
9.12	Dettagli costruttivi	358
9.12.1	Spigoli	359
9.12.2	Bordi delle aperture	360
9.12.3	Zoccolature	360
9.12.4	I cassonetti	361
9.12.5	Le svasature (o scanature)	361
9.12.6	Il raccordo con il tetto	362
9.13	Gli elementi di montaggio	363
9.13.1	Rondelle in polipropilene	364
9.13.2	Rondelle cilindriche	364
9.13.3	Blocco di montaggio	365

9.13.4	Supporti in schiuma poliuretana	366
9.13.5	Piastre di montaggio universali	366
9.13.6	Staffe di montaggio	367
9.13.7	Staffe di montaggio cardini	367
9.14	La rasatura	368
9.14.1	Intonaco di fondo	368
9.14.2	Procedura	369
9.15	Intonaco di finitura	369
9.15.1	Fondo fissativo	369
9.15.2	Intonaco di finitura	370
9.15.3	Organizzazione del cantiere	370
9.15.4	Indicazioni di posa	371
9.15.5	Protezione aggiuntiva	372
9.16	I rivestimenti modulari	372
9.16.1	Tracciatura	372
9.16.2	Applicazione	372
9.16.3	Il rivestimento con elementi in pietra naturale	373
9.16.4	Il rivestimento con elementi in pietra ricostruita	373
9.16.5	Il rivestimento con elementi ceramici o simili	375
9.16.6	Il rivestimento a spessore variabile: il cappotto in 3D	376
9.17	Strutture della facciata	377
9.17.1	Elementi prefabbricati	377
9.17.2	Elementi realizzati in cantiere	378
9.18	Riepilogo delle fasi di lavorazione	378
9.19	Sistemi ad elevato spessore	379
9.19.1	Casa passiva	379
9.19.2	Applicazione dei sistemi ad elevato spessore	381
9.20	Raddoppio e sovrapposizione	382
9.20.1	Indagini preliminari	385
9.20.2	La tecnica del cappotto su cappotto	386
9.21	Errori frequenti	388
9.22	Conclusioni	391



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Esplicitando meglio, ne consegue che il valore della trasmittanza termica di una parete verticale è:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum r_i + \frac{1}{h_e}}$$

dove:

$\frac{1}{h_i} = 0,130$ resistenza liminare interna, in $[(m^2 \cdot K)/W]$;

$\frac{1}{h_e} = 0,040$ resistenza liminare esterna, in $[(m^2 \cdot K)/W]$;

$\sum r_i$ sommatoria delle resistenze dei vari strati, in $[(m^2 \cdot K)/W]$.

I valori di h_i ed h_e sono desunti dalla normativa tecnica UNI EN ISO 6946:2018, punto 5.2, prospetto 1, “Resistenze termiche superficiali (in $m^2 \cdot K/W$)”.

Tabella 1.2 - Resistenze termiche superficiali, in $[(m^2 \cdot K)/W]$

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

1.7 ESEMPIO DI CALCOLO: PARETE VERTICALE

La trasmittanza termica, per le ragioni sopra esposte, presenta una grande variabilità in funzione della stratigrafia dell'elemento considerato. La procedura di calcolo per la sua determinazione, infatti, prevede innanzitutto la conoscenza precisa della composizione della parete, focalizzando l'attenzione sia sui tipi di materiali con cui è realizzata, e sia sui relativi spessori degli stessi.

L'esempio esplicitato nella Tabella 1.3 considera una tipologia di parete tipica degli edifici costruiti negli anni Settanta-Novanta del secolo scorso. La stratigrafia della parete presenta i materiali elencati; per questi ultimi si fornisce lo spessore ed il valore della conducibilità termica che li caratterizza.

Si sceglie di isolare la parete considerata mediante l'applicazione, sul lato esterno, di un cappotto termico, composto da pannelli con le caratteristiche presentate nella Tabella 1.4.

Tabella 1.3 - Caratteristiche degli strati costituenti la parete considerata

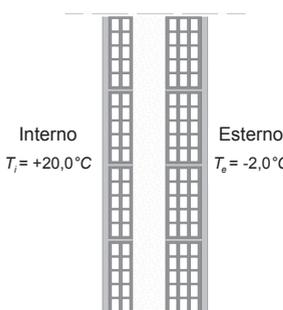
		Spessore	Conducibilità
		s [m]	λ [W/(m·K)]
 <p>Interno $T_i = +20,0^\circ\text{C}$</p> <p>Esterno $T_e = -2,0^\circ\text{C}$</p>	Resistenza liminare int.	/	7,70
	Intonaco interno	0,02	0,70
	Laterizio interno	0,08	0,40
	Intercapedine d'aria	0,11	0,026
	Laterizio esterno	0,12	0,387
	Intonaco esterno	0,02	0,90
	Resistenza liminare est.	/	25,00
		$S_{tot} = 0,35$	

Tabella 1.4 - Scheda tecnica dei pannelli isolanti componenti il cappotto termico considerato

Caratteristiche tecniche	
<p>Materiale: lastra in polistirene espanso sinterizzato (EPS), classificata e marcata secondo la norma europea EN 13163</p>	
<p>Conducibilità termica dichiarata λ_p: 0,036 W/(m·K)</p>	
<p>Reazione al fuoco: Euroclasse E1 (EN 13501)</p>	
<p>Resistenza a flessione: ≥ 150 BS (UNI EN 3163)</p>	
<p>Permeabilità al vapore d'acqua: $2,5 \cdot 10^{-12}$ kg/(m·s·Pa)</p>	
<p>Capacità termica specifica: 1.450 J/(kg·K)</p>	
<p>Certificazioni: EN 13163</p>	

Si noti come, ai fini del nostro esempio, si considera il contributo del solo pannello, mentre vengono trascurati i contributi degli altri strati componenti il “Sistema a cappotto termico” (collanti, rasanti, rivestimenti, ecc.).

Come visto precedentemente, la resistenza termica del singolo strato di pannelli isolanti applicati alla parete verticale è data dal suo spessore s_p , diviso la con-

ducibilità termica del materiale costituente λ_i . Nel caso lo spessore dei pannelli scelti sia $s_i = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$, risulta che la resistenza termica del singolo strato di pannelli isolanti è:

$$r_{\text{pannelli}} = \frac{0,10}{0,036} = 2,778 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Ne consegue che il valore della trasmittanza termica unitaria di una parete verticale così realizzata è:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum r_i + \frac{1}{h_e}}$$

dove:

$$\frac{1}{h_i} = 0,130 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W};$$

$$\frac{1}{h_e} = 0,040 \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W};$$

$$\sum r_i \text{ (m}^2\cdot\text{K) / W.}$$

Da cui:

$$U = \frac{1}{7,740} = 0,129 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Organizzando il procedimento in forma tabellare, per un facile confronto fra la situazione prima e dopo l'intervento ipotizzato, si ottiene la Tabella 1.5.

Il D.M. 26 giugno 2015 ⁽⁴⁾ (meglio noto come “*Decreto Requisiti Minimi*”) definisce i valori limite di trasmittanza termica per i componenti dell'involucro edilizio, in funzione della zona climatica, sia per gli edifici nuovi, e sia per quelli sottoposti a riqualificazione energetica.

Prendendo in esame la zona climatica E, il valore massimo limite di trasmittanza termica per pareti opache verticali risulta essere $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

L'intervento di riqualificazione proposto, che prevede l'applicazione di un Sistema a cappotto termico sulla superficie esterna, porta a un netto miglioramento della trasmittanza termica della parete, che passa da un valore di $1,08 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ a un valore di $0,129 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, rientrando ampiamente nei parametri di legge.

Per completezza si riportano le tabelle dell'Appendice A del D.M. 26 giugno 2015 che evidenziano i valori limiti di trasmittanza termica (U) da rispettare, in base al tipo di intervento (parete come nel caso trattato, solai, tetti, ecc.), in base alla zona

⁽⁴⁾ D.M. 26 giugno 2015, “*Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*”.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.6 LA VERIFICA CON I PONTI TERMICI

In considerazione dei grossi svantaggi che comporta la presenza di un ponte termico (aumento dei consumi energetici, aumento del rischio di formazione di muffa e condensa, riduzione del comfort abitativo), la normativa impone una riduzione dei suoi effetti.

L'espressione "ponte termico corretto" contenuta nei testi normativi ⁽⁷⁾, ma sempre più in disuso, si riferisce alle verifiche da eseguire per ottemperare ai limiti di trasmittanza termica per le zone dell'involucro con ponte termico.

La valutazione delle dispersioni attraverso i ponti termici è quindi necessaria in tutti i casi in cui occorre eseguire la verifica del rispetto delle prescrizioni di legge relative agli elementi che li contengono (muri, solai, infissi, ecc.). La verifica della trasmittanza termica degli elementi dell'involucro edilizio, secondo quanto previsto dalla normativa tecnica e dal legislatore italiano, fa riferimento al concetto di *trasmittanza termica media*, intesa come il valore medio della trasmittanza termica di singoli componenti d'involucro, compresi i ponti termici, pesato rispetto alle relative superfici:

$$U_{media} = \frac{\sum_i U_i \cdot A_i + \sum_k \psi_k \cdot l_k}{\sum_i A_i}$$

dove:

- U_i trasmittanza termica del singolo elemento di involucro, in $[W/(m^2 \cdot K)]$;
- A_i area del singolo elemento di involucro, in $[m^2]$;

⁽⁷⁾ D.L. 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia", coordinato con: D.P.R. 16 aprile 2013, n. 74, "Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192"; Legge 3 agosto 2013, n. 90, "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63: disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale"; Legge 21 febbraio 2014, n. 9, "Interventi urgenti di avvio del piano "Destinazione Italia", per il contenimento delle tariffe elettriche e del gas, per la riduzione dei premi RC-auto, per l'internazionalizzazione, lo sviluppo e la digitalizzazione delle imprese, nonché misure per la realizzazione di opere pubbliche ed EXPO 2015"; D.L. 4 luglio 2014, n. 102, "Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE"; Legge 11 agosto 2014, n. 116, "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 giugno 2014, n. 91, recante disposizioni urgenti per il settore agricolo, la tutela ambientale e l'efficientamento energetico dell'edilizia scolastica e universitaria, il rilancio e lo sviluppo delle imprese, il contenimento dei costi gravanti sulle tariffe elettriche, nonché per la definizione immediata di adempimenti derivanti dalla normativa europea"; D.M. 26 giugno 2015, "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

ψ_k trasmittanza termica lineica del singolo ponte termico lineare, in $[W/(m \cdot K)]$;

l_k lunghezza del singolo ponte termico lineare, in $[m]$.

Per il calcolo della prima sommatoria ($\sum_i U_i \cdot A_i$) la norma propone di considerare l'estensione totale dell'elemento corrente comprendendo anche l'estensione superficiale degli elementi che creano i ponti termici, quali ad esempio travi e pilastri. Supponiamo, ad esempio, di voler determinare la trasmittanza termica media di una parete perimetrale di un edificio con interposto un pilastro in c.a.:

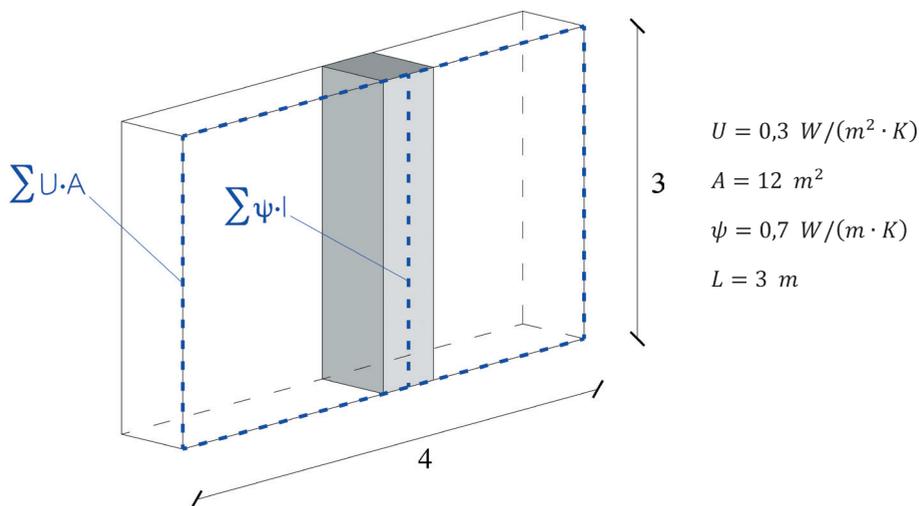


Figura 4.22 - Esempio di calcolo della trasmittanza termica media

$$U_{media} = \frac{0,3 \cdot 12 + 0,7 \cdot 3}{12} = 0,475 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Tale valore dovrà essere confrontato con la trasmittanza termica limite fornita dal quadro legislativo di riferimento per la località in riferimento e per il tipo di intervento edilizio in atto.

Il D.M. 26 giugno 2015 prevede, oltre ai requisiti minimi di efficienza energetica dell'involucro e al coefficiente medio di scambio termico, U_{media} (che include anche le dispersioni dai ponti termici), anche le verifiche termoigrometriche obbligatorie sui ponti termici nel caso degli edifici di nuova costruzione. Diventa quindi fondamentale conoscere i valori di trasmittanza termica lineica dei ponti termici, ψ , con le metodologie viste nel paragrafo 4.3, per poter effettuare il calcolo dell'efficienza energetica e verificare gli obblighi normativi vigenti.

Si presenta ora un esempio numerico utile a focalizzare i concetti introdotti nel presente capitolo, e a fornire un'impostazione utile a organizzare i lavori futuri in forma tabellare. Nella Figura 4.23 viene riportata la planimetria di un'unità

immobiliare sulla quale si è intervenuto con l'applicazione di un cappotto termico sulle superfici opache esterne.

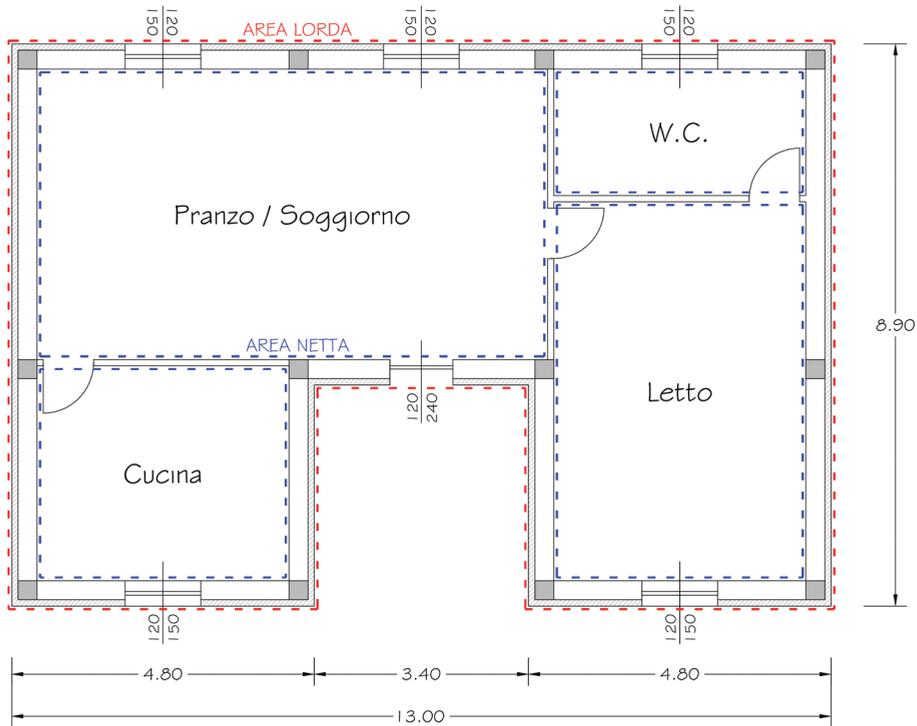


Figura 4.23 - Planimetria di un'unità immobiliare indipendente che si sviluppa su un unico livello fuori terra e le cui superfici di involucro confinano integralmente verso l'ambiente esterno

I principali dati geometrici sono rappresentati nella Tabella 4.5.

Tabella 4.5 - Principali dati geometrici ricavati dalla planimetria

	Area netta [m ²]		
Pranzo / Sogg.	37,26	Area lorda [m²]	108,29
Cucina	13,60	Altezza netta [m]	2,70
w.c.	8,00	Altezza lorda [m]	3,40
Letto	24,00		
Totale	82,86		



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.10 CALCOLO DELL'INDICE DI VALUTAZIONE DEL POTERE FONOISOLANTE APPARENTE R'_w DI UNA PORZIONE INTERNA

5.10.1 Calcolo semplice

L'indice R'_w definisce la capacità delle partizioni, verticali ed orizzontali, di abbattere il rumore. Esso, pertanto, tiene conto non solo delle proprietà fonoisolanti intrinseche degli elementi, ma anche di tutti i possibili percorsi di trasmissione sonora laterale.

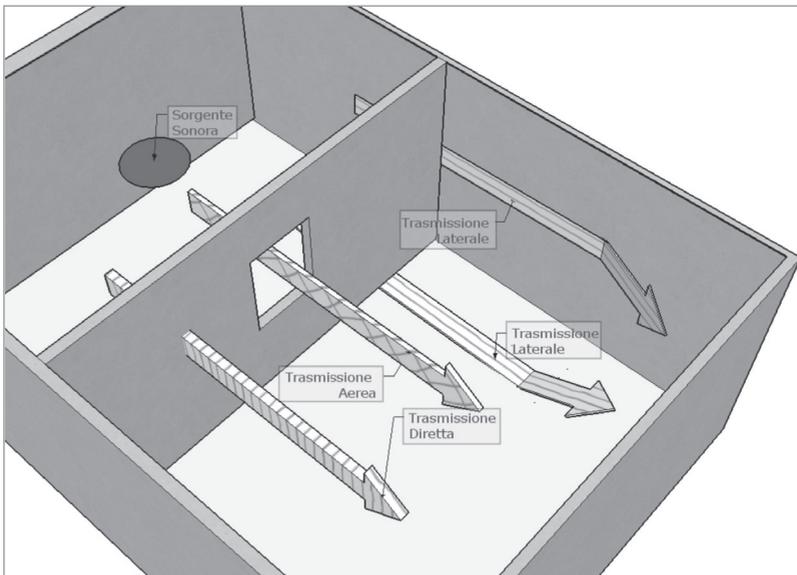


Figura 5.13 - Alcuni dei possibili percorsi di trasmissione sonora tra due ambienti confinanti

I percorsi di trasmissione sonora sono – normalmente – tredici, di cui uno diretto attraverso il divisorio in esame e dodici trasmissioni laterali.

R'_w è calcolato con la seguente formula ⁽⁴⁾:

$$R'_w = -\log \left(10^{\frac{-R_w D d}{10}} + \sum_{F=f=1}^1 10^{\frac{-R_w F f}{10}} + \sum_{f=1}^1 10^{\frac{-R_w D f}{10}} + \sum_{F=1}^1 10^{\frac{-R_w F d}{10}} \right)$$

dove:

$R_{w,ij}$ indice di valutazione del potere fonoisolante del percorso ij [dB];

N numero di lati dell'elemento divisorio.

⁽⁴⁾ UNI EN ISO 12354-1.

$$R_{w,ij} = \frac{R_{w,i} + R_{w,j}}{2} + \Delta R_{w,ij} + K_{ij} + 10 \cdot \log \frac{S}{l_0 l_{ij}}$$

dove:

$R_{w,i}$ indice di valutazione del potere fonoisolante della struttura i -esima priva di elementi di rivestimento (controsoffitti, contropareti, pavimenti galleggianti) [dB];

$R_{w,j}$ indice di valutazione del potere fonoisolante della struttura j -esima priva di elementi di rivestimento (controsoffitti, contropareti, pavimenti galleggianti) [dB];

$\Delta R_{w,ij}$ incremento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante dovuto all'opposizione di strati di rivestimento lungo il percorso $i-j$ (controsoffitti, contropareti, pavimenti galleggianti) [dB];

K_{ij} indice di riduzione delle vibrazioni del percorso $i-j$ [dB];

S superficie di partizione [m^2];

l_0 lunghezza di riferimento pari a 1 m [m];

l_{ij} lunghezza del giunto tra le strutture $i-j$ considerate [m].

La capacità di abbattere i rumori di una singola struttura è valutabile dal potere fonoisolante R_w che può essere determinato da:

- dati di laboratorio. È necessario disporre dei rapporti di prova conformi alle norme europee che devono essere attentamente valutati allo scopo di prevedere le eventuali difformità di cantiere, come, ad esempio, il periodo di stagionatura, la corretta messa in opera dei materiali e la presenza degli impianti (cfr. Figura 5.14);

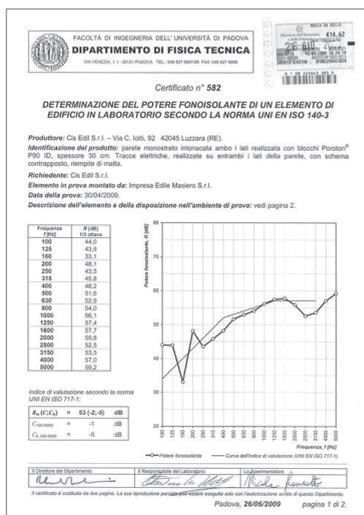


Figura 5.14 - Esempi di report di laboratorio sulle caratteristiche acustiche di elementi strutturali



**Pagine non disponibili
in anteprima**



8.2.6 Silicato di calcio

8.2.6.1 Il materiale

Il silicato di calcio o calcio silicato è un materiale di origine minerale, isolante, incombustibile, ecologico e biologicamente inerte che non contiene amianto o fibre pericolose per l'uomo; viene ottenuto dalla miscelazione di sabbia non quarzosa, calce e cellulosa, attraverso un processo produttivo realizzato in autoclave che consente di ottenere dei blocchi leggeri e resistenti, da cui si ricavano lastre di varie dimensioni e spessori.

Una lastra con dimensioni 50×50 cm e spessore 2,5 cm pesa solo 1,50 kg ed ha una resistenza alla compressione di $10,19 \text{ kg/cm}^2$.

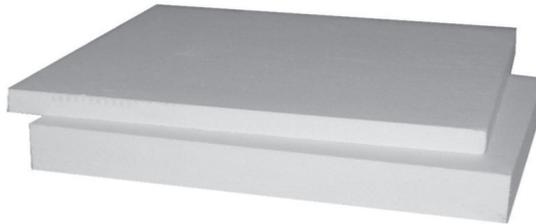


Figura 8.29 - Pannello isolante in silicato di calcio per Sistemi ETICS

I campi di applicazione più frequenti sono il risanamento di muri umidi a causa della condensa, l'isolamento dall'interno e l'eliminazione di muffe. Il silicato di calcio viene applicato soprattutto nelle facciate soggette a tutela o in quelle molto strutturate che non consentono l'isolamento esterno o per l'isolamento termico di singole unità abitative in condomini a più piani.

Il silicato di calcio è molto aperto alla diffusione ($\mu = 6$) e viene applicato senza barriera vapore. L'elevata porosità determina una grande capacità di accumulo dell'acqua e di trasporto capillare nonché delle proprietà termoisolanti accettabili (valore $\lambda = 0,05-0,07 \text{ W/mK}$).

I pannelli a base di silicato di calcio garantiscono un clima dell'ambiente confortevole grazie alla regolazione attiva dell'umidità dell'aria e al contempo delle pareti più calde. I pannelli a base di silicato di calcio sono anti invecchiamenti, resistenti alla putrefazione, agli insetti e ai roditori e presentano una certa stabilità di forma. Grazie al loro valore pH 10,5 fungono da barriera contro le muffe.

Possono essere tagliati senza alcun problema con segaccio, gattuccio o sega circolare manuale. Durante il taglio si consiglia di indossare una maschera antipolvere a causa della formazione di polveri. I pannelli a base di silicato di calcio vengono incollati con dei collanti speciali che garantiscono il collegamento capillare tra parete e pannello.

8.2.6.2 Il principio tecnologico (processo di produzione)

I pannelli a base di silicato di calcio vengono prodotti con sabbia quarzosa e calce e poi armati con cellulosa per renderli stabili. L'anidride silicica e l'ossido di calcio vengono fatti decantare in acqua e reagiscono formando uno stadio iniziale del silicato di calcio. Dopo la formazione i minuscoli cristalli di silicato di calcio vengono trattati in autoclave con vapore acqueo surriscaldato e pressione elevata fino ad ottenere la struttura aperta con pori fini (90% di pori fini). In questo modo si formano l'elevata assorbenza capillare e l'enorme capacità di assorbimento di acqua nonché le proprietà termoisolanti. La presenza di una minima parte di cellulosa conferisce al pannello non solo una stabilità degli spigoli ma anche una buona flessibilità. Il materiale è leggero, presenta una certa stabilità di forma e può essere montato in maniera auto portante. Il silicato di calcio è alcalino (pH 10,5 circa).

8.2.6.3 Conducibilità termica e potere coibente

L'elevata porosità determina una grande capacità di accumulo dell'acqua e di trasporto capillare, che lo rendono un materiale assolutamente da preferire in caso di applicazione interne. Si fa comunque apprezzare anche per le sue proprietà termoisolanti:

$$\lambda = 0,050 \div 0,070 \quad [W/(m \cdot K)]$$

8.2.6.4 Protezione termica estiva

Il silicato di calcio possiede un'elevata capacità di accumulo termico grazie agli alti valori di densità ($240 \div 300 \text{ kg/m}^3$) e di calore specifico ($1,05 \text{ KJ/kg}\cdot\text{K}$) che conferiscono un sostanziale smorzamento delle fluttuazioni termiche.

Pertanto, a parità di conducibilità termica e di spessore, rispetto ad altri materiali isolanti, il silicato di calcio si comporta decisamente meglio nel regime estivo garantendo la riduzione dei picchi di calore, un miglior comfort climatico e un minor consumo di energia per il raffrescamento.

8.2.6.5 Caratteristiche meccaniche

I pannelli in silicato di calcio per i Sistemi ETICS presentano una buona resistenza meccanica. Inoltre presentano caratteristiche isotropiche sia dal punto di vista meccanico che fisico. La resistenza alla compressione di deformazione raggiunge valori compresi fra $10,0 \div 10,9 \text{ kg/cm}^2$, mentre la resistenza a flessione raggiunge valori compresi fra $5,0 \div 5,5 \text{ kg/cm}^2$.



Figura 8.30 - Applicazione di un Sistema ETICS con pannello isolante in silicato di calcio

È da sottolineare anche la loro facile lavorabilità e applicazione per la posa in opera, conferita dalla relativa leggerezza e maneggevolezza dei prodotti.

8.2.6.6 Resistenza al calore e alla fiamma

Il silicato di calcio è un materiale incombustibile che resiste a temperature altissime oltre 1.000 °C. Il materiale è caratterizzato da una classe di reazione al fuoco A1 (UNI EN 13501-1).

8.2.6.7 Permeabilità ai gas e al vapore acqueo

Il silicato di calcio è molto aperto alla diffusione, tanto che se installato all'interno può tranquillamente essere posto in opera senza barriera al vapore superficiale.

$$\mu = 6$$

Il silicato di calcio è noto per essere un antimuffa naturale, è invece meno noto per essere anche un igroregolatore naturale, di fatto può essere considerato come un “*sistema passivo di regolazione dell'umidità*” che non necessita di manutenzione e non consuma nessuna forma di energia per funzionare.

Il particolare processo produttivo, infatti, rende il materiale capace di assorbire grandi quantità di acqua, che per capillarità viene ripartita sull'intera superficie e nello spessore del pannello.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



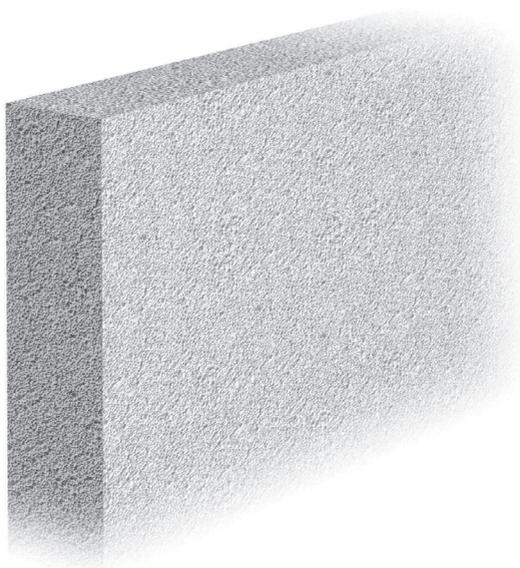


Figura 8.32 - Pannello in silicato di calcio idrato per Sistemi ETICS

Pro	Contro
<ul style="list-style-type: none"> - È un antimuffa naturale - Biodegradabile e facilmente smaltibile - Materiale ignifugo - Assenza di proliferazione di funghi - Non attaccabile dai roditori e dagli insetti - Materiale non putrescibile 	<ul style="list-style-type: none"> - Valori di isolamento acustico non elevatissimi

8.2.7 EPS, XPS, EPS con grafite

8.2.7.1 Il materiale

Il polistirene espanso è un materiale largamente diffuso in edilizia e nei Sistemi ETICS, meglio conosciuto come *polistirolo espanso*. I due termini si riferiscono allo stesso prodotto, un isolante di origine sintetica e a struttura cellulare, utilizzato in edilizia sia nella sua forma “*sinterizzata*” (in questo caso prende il nome di EPS), che nella sua forma “*estrusa*” (in questo caso prende il nome di XPS). Confrontato con i materiali prodotti con materie prime rinnovabili è relativamente stagno al vapore. Inoltre è un materiale resistente ai morsi degli animali e non è putrescibile. Viene classificato come materiale difficilmente infiammabile, tuttavia in caso di incendio si osserva una forte formazione di fumo denso.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



9.10 LA POSA DEI PANNELLI

9.10.1 Generalità

Come già detto precedentemente, prima dell'inizio delle operazioni di posa occorre prestare particolare attenzione allo stoccaggio in cantiere dei pannelli isolanti. È importante evitare l'esposizione agli agenti atmosferici, ed in particolare proteggere le lastre dall'azione diretta della luce del sole. Alcune tipologie di lastre, infatti, sono particolarmente sensibili all'azione della luce solare, quali, ad esempio, le lastre in EPS additivate con grafite. La posa di queste, quindi, deve avvenire evitando la luce diretta del sole; se questo non è possibile è opportuno prevedere la schermatura del ponteggio attraverso teli oscuranti.

In caso invece di pioggia durante la posa, sono da evitare infiltrazioni d'acqua al di sotto dello strato isolante.

9.10.2 Il taglio dei pannelli

Il taglio e la profilatura dei pannelli isolanti costituenti il Sistema dipendono dalla natura e tipologia di quest'ultimi. Solitamente si possono usare delle semplici



Figura 9.15 - Banco con taglierina a filo caldo per pannelli isolanti. Diverse tipologie di taglio: 1) taglio ad angolo (su tutti i lati); 2) taglio dritto; 3) taglio a gradino
(fonte: www.ghelfi.com)

taglierine o cutter manuali, oppure dei banchi dotati di taglieri a filo caldo. Questi sono dei banchi dotati di un filo metallico scaldato elettricamente che per i pannelli in EPS o XPS consente di effettuare un taglio dello stesso in maniera molto precisa e con piccolo sforzo. Questi banchi sono inoltre dotati di misuratori e della possibilità di eseguire tagli con varie angolazioni e misure in modo da far fronte alla maggior parte delle esigenze specifiche.

In presenza di pannelli meccanicamente più resistenti, quali ad esempio quelli in silicato di calcio, si utilizzerà una normale sega a denti larghi, o strumenti elettrici come ad esempio seghetti alternativi. È solitamente sconsigliato l'uso di smerigliatrici angolari (a dischi), in quanto questi utensili ruotando a velocità molto elevate possono produrre grandi quantità di polvere.

9.10.3 La posa dei pannelli

I pannelli devono essere applicati alla parete dal basso verso l'alto, a giunti sfalsati, evitando la presenza di fessure tra i pannelli ed esercitando una leggera pressione con le mani. Il disallineamento verticale dei giunti deve essere di almeno 25 cm. Laddove non si riesca a far rispettare tale prescrizione, si provvederà a risolvere mediante un taglio della lunghezza del pannello isolante.

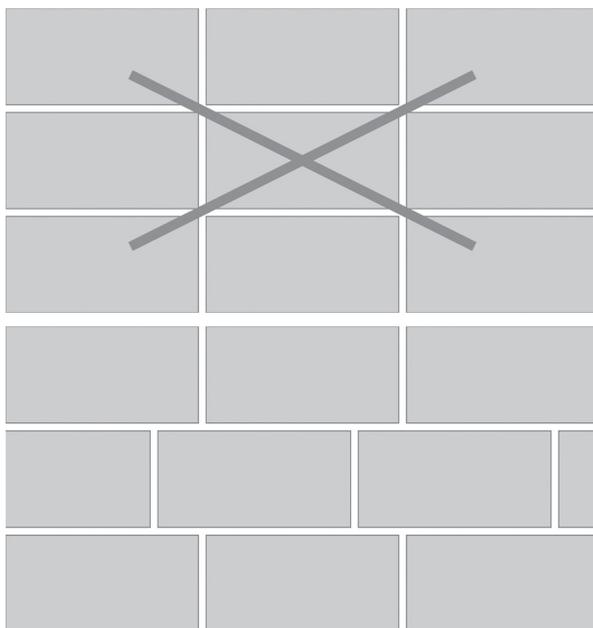


Figura 9.16 - In alto: posa errata dei pannelli isolanti, con giunti allineati lungo la verticale; in basso: posa corretta dei pannelli isolanti, con giunti sfalsati lungo la verticale di almeno 25 cm

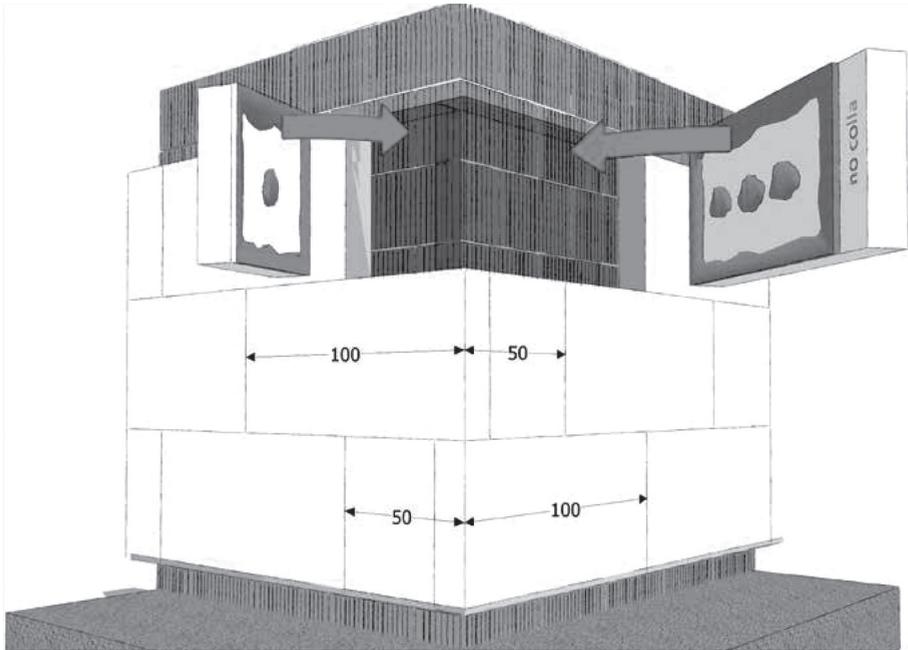


Figura 9.17 - Corretta posa dei pannelli isolanti e del collante in corrispondenza degli spigoli della facciata
(fonte: www.indexspa.it)

Va comunque preferito per la posa l'utilizzo di lastre integre. Sono ammessi elementi di compensazione con larghezza > 150 mm dello stesso materiale isolante, ma devono essere applicati solamente sulle superfici piane e non sugli spigoli dell'edificio. In questi punti è possibile utilizzare solamente lastre intere o dimezzate, sfalsate tra loro.

Durante l'installazione dei pannelli, questi vanno battuti con frattazzo di legno o plastica per farli aderire il più possibile al supporto. È importante controllare spesso e ripetutamente la planarità di tutta la superficie con una staggia. Piccole differenze di planarità tra i pannelli in EPS possono essere aggiustate tramite carteggiatura della superficie dei pannelli, avendo cura poi di pulire in maniera ottimale la superficie da rasare.

Eventuali fughe tra i pannelli vanno riempite con strisce di materiale isolante. Per fughe inferiori a 4 mm si può utilizzare una schiuma di riempimento poliuretanica. Il collante di sistema non deve mai essere utilizzato per riempire spazi vuoti tra i pannelli.