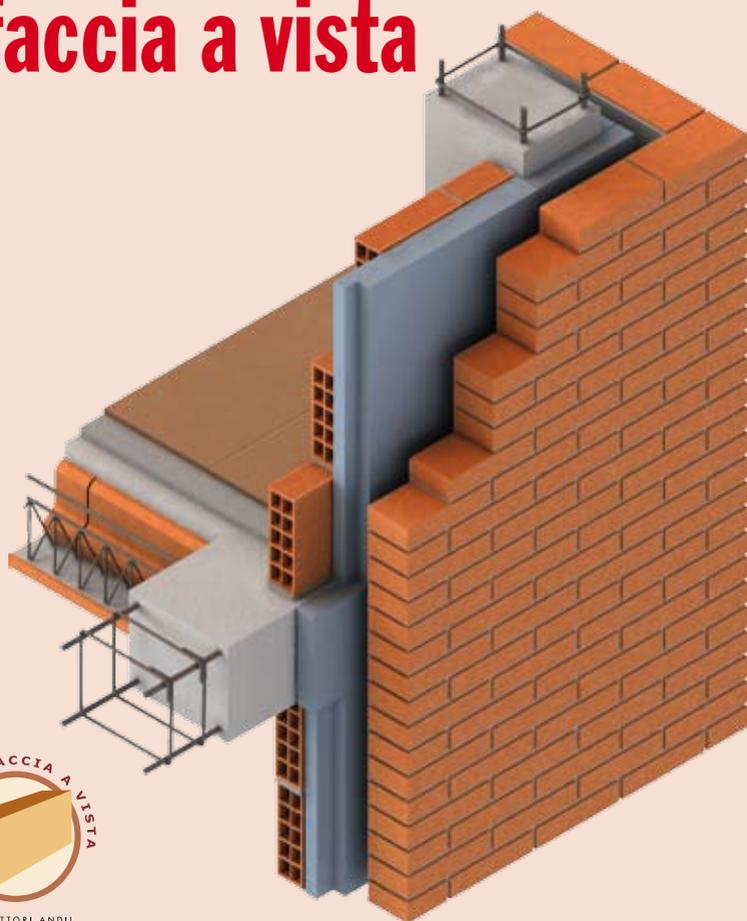


Prestazioni termiche e acustiche di soluzioni di involucro in laterizio faccia a vista

2



PRODUTTORI ANDIL

Indice

Premessa	pag. 3
Le soluzioni tecniche d'involucro con mattoni faccia a vista	pag. 5
La valutazione delle prestazioni termiche	pag. 6
La determinazione del potere fonoisolante delle pareti	pag. 7
La determinazione dell'isolamento acustico di facciata	pag. 7
Avvertenze per la lettura delle schede	pag. 8
Le schede tecniche	pag. 10
Considerazioni sui valori termici	pag. 27
Accorgimenti per la costruzione di involucri termicamente efficaci	pag. 28
Accorgimenti per la costruzione di involucri acusticamente protetti	pag. 31
Bibliografia	pag. 34

A cura di:

Carol Monticelli, con il coordinamento di Andrea Campioli (Dipartimento BEST, Politecnico di Milano), per la ricerca tecnologica ed energetica delle soluzioni di involucro e la cura redazionale; Simone Secchi (Dipartimento TAED, Università degli Studi di Firenze), per la ricerca relativa alle prestazioni acustiche delle soluzioni di involucro.

Premessa

Il mattone faccia a vista riveste un ruolo di rilievo nel progetto di architettura contemporanea. Si tratta di un'antica tradizione investita da una intensa evoluzione tipologica e prestazionale: alle soluzioni tecniche tipiche, messe in opera a umido, si affiancano oggi quelle evolute con tavelle in "cotto" assemblate a secco su montanti metallici a formare una facciata ventilata. L'ampia gamma di soluzioni possibili è chiamata a soddisfare numerosi requisiti normativi, tra i quali oggi assumono un ruolo assai significativo l'isolamento termico e la protezione acustica.

Isolamento termico

Con l'entrata in vigore del D.Lgs. 192/05 e s.m.i.(D.Lgs. 311/06 e D.P.R. 59/09), concernenti il recepimento della Direttiva europea sul tema del risparmio energetico e del contenimento delle dispersioni termiche, si affacciano sul mercato sistemi di involucro caratterizzati da alti valori di resistenza termica, grazie all'impiego di elevati spessori di materiali isolanti; al contempo, le soluzioni di involucro massive, per essere termicamente conformi alla normativa, devono proporsi con spessori maggiori rispetto al passato, con ricadute sulla progettazione esecutiva e sulla fase di messa in opera. A tale riguardo, sono state introdotte disposizioni a livello comunale, regionale e, di recente, anche nazionale, inerenti a parametri e indici edilizi, volte allo scomputo degli extraspessori di chiusure verticali e orizzontali, come forma di incentivo per migliori *performance* energetiche degli edifici: soluzioni di involucro con buone prestazioni in inverno e in estate implicano maggiori spessori, a scapito di minor superficie utile. Proprio per questo, allo scopo di promuovere soluzioni più efficienti ed affidabili, è consentito considerare, nel calcolo dei volumi e delle superfici, solo parte dello spessore dell'involucro.

Il ricorso a soluzioni di frontiera con una massa consistente permette di raggiungere idonei valori di trasmittanza, riducendo i consumi energetici per la climatizzazione degli ambienti interni, ma con un valore aggiunto: il comfort termico abitativo, grazie alla massa volumica dei materiali, in grado di svolgere una vera e propria funzione di regolatore delle oscillazioni di temperatura tra esterno e interno nell'arco della giornata. La capacità dei materiali di un involucro di trattenere il calore e di rilasciarlo gradualmente nel tempo, l'inerzia termica, presenta vantaggi non solo legati al comfort interno, ma anche alla riduzione dei consumi energetici¹. Uno dei modi più efficaci per il controllo della climatizzazione degli spazi interni negli edifici, sia in estate che in inverno, è proprio lo sfruttamento di questa proprietà dei componenti edilizi. Gli effetti positivi dell'inerzia termica sono quantificabili attraverso lo sfasamento dell'onda termica (che esprime il periodo di tempo necessario affinché il calore attraversi la parete e passi nell'ambiente interno dell'edificio) e il fattore di decremento o attenuazione (un valore adimensionale dato dal rapporto fra il flusso termico massimo della parete capacitiva e il flusso massimo di una ipotetica parete a massa termica nulla).

¹ E' stata condotta dal dipartimento BEST del Politecnico di Milano una ricerca sul comportamento energetico nel contesto italiano di soluzioni tecniche di involucro massive, con l'obiettivo di quantificare il ruolo della massa: per diverse tipologie di edificio e in diverse zone climatiche, a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso, è emerso come soluzioni con poca massa comportino consumi invernali ed estivi fino al 30% in più rispetto a soluzioni massive.

A frutto di tali considerazioni, si propone nel seguito una guida per una progettazione di qualità, attraverso un repertorio esemplificativo di soluzioni costruttive d'involucro costituite da materiali correntemente impiegati nel nostro Paese. In particolare, si analizzano alcune possibili stratificazioni per la costruzione di murature in laterizio con il rivestimento esterno realizzato in mattoni faccia a vista, conformi ai valori limite imposti dal D.Lgs. 192/05 e s.m.i. già per la soglia temporale del 2010.

Come noto, per ciascuna zona climatica², il Decreto introduce valori limite di trasmittanza termica (delle strutture opache verticali, orizzontali e delle chiusure trasparenti) con tre soglie temporali di entrata in vigore (2006, 2008, 2010 – vedi tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C del D.Lgs. 192/05).

Protezione acustica

Per le prestazioni acustiche degli edifici e dei loro componenti, il DPCM 5 dicembre 1997 [1] stabilisce dei valori limite. In particolare, con riferimento alle pareti di facciata, la normativa in materia impone la verifica dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico ($D_{2m,nT,w}$), rispetto al quale vengono fissati i valori limite riportati in tabella 1 (è necessario sottolineare come nel Decreto non sia riportata alcuna differenziazione del valore limite in funzione del livello di rumorosità dell'ambiente esterno, così come avviene in altri contesti europei). L'aspetto più rilevante introdotto dal Decreto è che le grandezze di cui si richiede la verifica fanno tutte riferimento alla reale situazione in opera dei componenti edilizi, ovvero devono essere misurate ad edificio eseguito. Ciò semplifica le modalità di misurazione delle grandezze, ma complica considerevolmente la loro valutazione previsionale³.

L'isolamento acustico offerto dalla facciata di un edificio dipende dalla prestazione dei diversi elementi costituenti la facciata stessa: il suo valore numerico è condizionato significativamente dalla prestazione acustica degli elementi in grado di dare luogo ad una maggiore trasmissione, ovvero dagli elementi acusticamente più deboli. Per questo, l'isolamento acustico offerto da una facciata è determinato principalmente dalla prestazione degli elementi meno performanti (tipicamente gli infissi, i cassonetti degli avvolgibili, le prese d'aria).

Categoria di edificio	$D_{2m,nT,w}$
ospedali, cliniche, case di cura e simili	45 dB
residenze, alberghi, pensioni e simili	40 dB
scuole e simili	48 dB
uffici, edifici per il culto, il commercio e simili	42 dB

Tabella 1 – Valori limite definiti dal DPCM 5.12.97 [1] per i requisiti acustici passivi delle pareti di facciata.

² La classificazione climatica dei comuni italiani è stata introdotta dal DPR n. 412 del 26 agosto 1993 in considerazione delle differenze climatiche dell'Italia. Quest'ultima è stata suddivisa in 6 zone climatiche (da A a F) definite in base ai gradi-giorno (GG): valori di GG bassi indicano un clima invernale mite; al contrario, valori di GG elevati testimoniano di un clima invernale freddo, per cui è necessario un riscaldamento prolungato.

³ Il calcolo dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione può essere effettuato mediante i metodi definiti dalla norma UNI EN 12354-3: 2001 [2] e dal rapporto tecnico UNI TR 11175: 2005 [3].

Le soluzioni tecniche d'involucro con mattoni faccia a vista

Le soluzioni tecniche illustrate nel seguito individuano quattro tipologie di stratificazione:

- doppio strato con isolante in intercapedine e rivestimento esterno di mattoni faccia a vista (stratificazioni da 1 a 7, 12 e 13); lo spessore del paramento murario interno in blocchi può variare da 8 a 38 cm;
- doppio strato con isolante, camera d'aria in intercapedine e rivestimento esterno faccia a vista (stratificazioni da 8 a 11, 16 e 17); lo spessore del paramento murario interno in blocchi varia da 12 a 25 cm;
- monostrato con rivestimento a cappotto e listelli in laterizio (stratificazione 14); la muratura in blocchi di laterizio si presenta con uno spessore di 30 cm;
- monostrato con rivestimento in listelli faccia a vista, senza materiale isolante (stratificazione 15); lo strato murario interno è di 45 cm.

Per quanto concerne i diversi mattoni scelti per il rivestimento esterno:

- nelle stratificazioni 2, 3, 4, 6, 7, 10, 16 e 17, il rivestimento esterno è il mattone pieno tradizionale, in pasta molle o estruso, formato 12x25x5,5 cm;
- le stratificazioni 1, 5, 8 e 11 prevedono il mattone semipieno formato 12x25x5,5 cm, estruso con il 35% di foratura;
- la stratificazione 9 prevede il mattone semipieno formato 12x25x5,5 cm, estruso con il 45% di foratura;
- la stratificazione 12 ha come rivestimento un listello formato 6x25x5,5 cm;
- le stratificazioni 13 e 15 presentano un listello formato 3,3x25x5,5 cm, ottenuto da un mattone estruso spaccato a metà;
- nella stratificazione 14 il rivestimento è di recente concezione: un listello "a colla", formato 1x25x5,5 o 2x25x5,5 cm, riconducibile alla famiglia dei faccia a vista, ma propriamente una piastrella di laterizio incollata con malta cementizia sullo strato di isolante del rivestimento a cappotto.

Per la costruzione delle stratificazioni si è fatto riferimento a prodotti presenti sul mercato dotati di marcatura CE, per i quali fossero disponibili le informazioni relative alle specifiche caratteristiche termiche. Nel caso dell'elemento forato da 8 cm, si è fatto riferimento a dati tabellari tratti dalla norma UNI 10355 (1994). I dati di permeabilità al vapore per ogni strato delle murature prese in considerazione, riportati in tabella, fanno riferimento a valori tabulati indicati nella norma UNI 10351 (1994). Il calore specifico dei materiali, grandezza correlata alla loro capacità termica, dato necessario per il calcolo dei valori di sfasamento e attenuazione dell'onda termica nella parete, è stato desunto dalla letteratura scientifica⁴.

Le caratteristiche termiche e acustiche delle diverse soluzioni costruttive sono state calcolate ognuna con quattro tipi di materiale isolante:

- uno di natura sintetica, a celle chiuse, con conducibilità termica λ di 0,03 W/mK e

⁴ Riferimenti bibliografici per i valori di calore specifico: norma UNI EN ISO 10456 (2008), "Materiali e prodotti per edilizia. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto"; Steven Vajk Szokolay, *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Milano, Hoepli, 2006.

densità 45 kg/m³;

- uno di natura minerale, fibroso, con conducibilità termica λ di 0,035 W/mK e densità 25 kg/m³;
- uno di sughero, con conducibilità termica λ di 0,036 W/mK e densità 100 kg/m³;
- uno di fibra di legno, con conducibilità termica λ di 0,038 W/mK e densità 45 kg/m³.

Relativamente alle stratificazioni 8, 9, 10, 11, 16 e 17, con intercapedine d'aria tra l'isolamento e il paramento murario esterno, si è considerata l'intercapedine come non ventilata; per questa si è assunto il valore di resistenza termica con riferimento alla tabella del prospetto 2 della norma UNI EN ISO 6946 (2008). Si precisa comunque che il valore di resistenza termica dell'aria da assumere per l'intercapedine, se fosse debolmente ventilata, non incide in modo sostanziale sui valori termici calcolati⁵.

La valutazione delle prestazioni termiche

È stato calcolato innanzitutto il valore di trasmittanza termica delle chiusure verticali selezionate, al fine di individuarne la rispondenza ai valori limite imposti dal D.Lgs. 192/05 e s.m.i., per la soglia temporale del 2010, secondo la procedura indicata nella norma UNI EN ISO 6946 (2008) "Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo". Per la verifica ai limiti di legge, si considerano i valori contenuti nelle tabelle dell'Allegato C del Decreto.

In regime stazionario, è stata verificata, per ogni stratificazione considerata, anche la temperatura superficiale interna, per controllare l'eventuale formazione di umidità e la condensazione interstiziale mediante la verifica di Glaser⁶.

In secondo luogo, si è proceduto a verificare il comportamento termico delle diverse soluzioni per quanto riguarda sfasamento e attenuazione adottando la procedura di calcolo riportata nella norma UNI EN ISO 13786 (2008) "Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo", relativa alla trasmissione del calore attraverso i componenti edilizi in regime dinamico periodico e sinusoidale, considerando le escursioni termiche durante un periodo di tempo stabilito. I valori termici dinamici così determinati hanno confermato il ruolo positivo della massa nelle prestazioni energetiche delle murature.

⁵ La norma UNI EN 6946 (2008), "Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo", specifica che un'intercapedine è non ventilata se non vi sono passaggi d'aria tra esterno e interno o, nel caso in cui ci siano piccole aperture verso l'ambiente esterno, queste aperture non siano disposte in modo da permettere un flusso d'aria attraverso l'intercapedine e presentino un'area < 500 mm² per ogni metro lineare di parete. Vi sono tecnologie costruttive di murature intercapedine e presentino un'area < 500 mm² per ogni metro lineare di parete. Vi sono tecnologie costruttive di murature intercapedine e presentino un'area < 500 mm² per ogni metro lineare di parete. Vi sono tecnologie costruttive di murature intercapedine e presentino un'area < 500 mm² per ogni metro lineare di parete. Vi sono tecnologie costruttive di murature intercapedine e presentino un'area < 500 mm² per ogni metro lineare di parete.

⁶ Le grandezze fisiche considerate nel calcolo in regime stazionario, infatti, vengono influenzate dal contenuto igrometrico dei materiali che costituiscono la chiusura esterna. Questa caratteristica viene valutata quantitativamente mediante un "coefficiente di resistenza al passaggio del vapore" μ , adimensionale, che indica di quanto la resistenza al passaggio del vapore, di un certo materiale, sia superiore a quella dell'aria, a parità di spessore e di temperatura (norma UNI EN ISO 13788 : 2003).

La determinazione del potere fonoisolante delle pareti

Il potere fonoisolante delle pareti viene generalmente misurato con prove di laboratorio eseguite secondo le indicazioni della norma UNI EN ISO 140-3. Tali dati sono però disponibili solo per alcune delle pareti presentate nelle schede tecniche; per le altre non è possibile determinare il potere fonoisolante per analogia poiché le diverse modalità di realizzazione possono renderne indeterminato il comportamento acustico. Pertanto, il potere fonoisolante è stato valutato, per tutte le pareti esaminate, sulla base delle relazioni di calcolo empiriche di seguito riportate [4]:

- per le pareti costituite da due paramenti massicci in elementi di laterizio pieni o forati con intercapedine riempita con materiale termoisolante fibroso: $R_w = 20 \log M+5$
- per le pareti costituite da due paramenti massicci in elementi di laterizio pieni o forati con intercapedine riempita con materiale termoisolante a celle chiuse: $R_w = 20 \log M+2$
- per le pareti costituite da un paramento massiccio in elementi di laterizio forati con cappotto termico rivestito in listelli di laterizio spessi 1 o 2 cm: $R_w = 20 \log M+2$
- per le pareti monolitiche: $R_w = 20 \log M$

dove M rappresenta la massa areica dell'intera parete espressa in kg/m^2 .

La determinazione dell'isolamento acustico di facciata

L'isolamento acustico di facciata viene determinato, per le diverse tipologie di pareti, considerando quattro differenti tipi di facciate di un locale residenziale di $4 \times 4 \text{ m}^2$ di superficie utile, alto 2,70 m, comprendenti un serramento e, per la facciata tipo D, un cassonetto (figura 1). La superficie complessiva della facciata è, per tutti i casi esaminati, pari a $10,80 \text{ m}^2$; i serramenti (finestra o portafinestra) sono a due ante apribili, dotati di doppia guarnizione su tutte le battute (classe di tenuta all'aria non inferiore a 3) e sono perfettamente sigillati nel raccordo con la muratura. La vetrata è del tipo con camera d'aria e doppia lastra di vetro stratificato di spessore 8/9 – 12 – 6/7 (vetro stratificato 4+4 mm, camera da 12 mm, vetro stratificato 3+3 mm), caratterizzata da un indice di valutazione del potere fonoisolante pari a 41 dB. L'indice di valutazione del potere fonoisolante del serramento si calcola sulla base

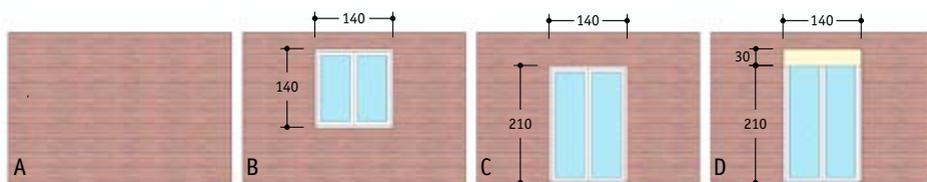


Figura 1 – Caratteristiche geometriche delle quattro tipologie di facciata ipotizzate (misure in cm).

del prospetto B.10 del rapporto tecnico UNI TR 11175 [3], assumendo K_p pari a -2 dB per la finestra e -5 dB per la portafinestra ed i termini K_{RA} e K_{DS} pari a 0 in tutti i casi. Si ipotizza, inoltre, che il cassonetto, presente nella soluzione D, sia caratterizzato da un indice di valutazione del potere fonoisolante pari a 36 dB. Le caratteristiche delle diverse facciate sono riassunte in tabella 2.

S_{facciata} (m ²) = 10,8	A	B	C	D
Tipo serramento	finestra assente	finestra a due ante	portafinestra a due ante	portafin. a due ante + cassonetto
$R_{\text{w serramento}}$ (dB)	-	39	36	36
$S_{\text{serramento}}$ (m ²)	-	2	2,9	2,9
$R_{\text{w cassonetto}}$ (dB)	-	-	-	36
$S_{\text{cassonetto}}$ (m ²)	-	-	-	0,4

Tabella 2 – Caratteristiche delle quattro tipologie di facciata ipotizzate.

Avvertenze per la lettura delle schede

I valori di resistenza termica indicati nelle tabelle di ogni stratificazione sono stati calcolati a partire dai dati riportati nei cartigli CE dei prodotti (quindi dal valore di λ_{eq} o di R del singolo elemento) e sono stati corretti considerando il contributo dei giunti di malta sulle prestazioni termiche dello strato. Avendo come dato di base la conducibilità termica dell'elemento che la costituisce, per ottenere la prestazione termica di una muratura è stato messo a punto un metodo di calcolo per determinare l'incidenza dei giunti di malta su un metro quadrato di parete⁷. Per esempio, nel caso della muratura in mattoni (25 x12 x 5,5 cm) con giunti in malta, la percentuale areica dei giunti incide per il 22,8% in un m². La percentuale, specifica per ogni dimensione di laterizi, è il risultato della procedura di seguito illustrata.

Si calcola il numero di giunti orizzontali e verticali, ricostruendo la geometria della parete. Nell'esempio citato, considerati 15 giunti orizzontali e 4 giunti verticali, si individua la percentuale areica complessiva dei giunti stessi rispetto a quella di laterizio, moltiplicando lo spessore dei giunti per il loro numero:

0,012 m x 1 m x 15 giunti = 0,18 m² per i giunti orizzontali;

0,012 m x 1 m x 4 giunti = 0,048 m² per i giunti verticali.

⁷ Si fa riferimento a una procedura definita nella ricerca "Prestazioni termiche e comportamento ambientale di soluzioni tecniche di involucro in laterizio finalizzate all'efficienza energetica degli edifici", condotta nel 2006 dal Dipartimento BEST del Politecnico di Milano per ANDIL. Per un approfondimento relativo all'incidenza dei giunti di malta sulle prestazioni termiche delle murature e sulla modalità di calcolo della relativa incidenza si rimanda a "Ricette di chiusura", di A. Campioli, S. Ferrari, M. Lavagna, C. Monticelli, E. Morello, in Costruire, n. 281, ott. 2006, pp. 165-180.

In definitiva si ha $1 - (0,048 + 0,18) = 0,772 \text{ m}^2$: ossia l'incidenza del laterizio su 1 m^2 di parete è del 77,2% e quello della malta è del 22,8%.

Assumendo che da marcatura CE il mattone pieno abbia una conducibilità termica equivalente $\lambda_{\text{eq}} = 0,472 \text{ W/mK}$ ($R = s/\lambda = 0,12/0,472 = 0,254 \text{ m}^2\text{K/W}$) e che la malta abbia una conducibilità termica $\lambda = 0,93 \text{ W/mK}$ ($R = s/\lambda = 0,12/0,93 = 0,129 \text{ m}^2\text{K/W}$) con massa volumica $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$, per calcolare la resistenza termica della parete si procede per percentuale: 77,2% della resistenza del mattone + 22,8% della resistenza della malta = $0,196 + 0,029 = 0,225 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Con riferimento alle schede, nella sezione relativa alle informazioni tecniche concernenti i prodotti sono indicate le caratteristiche relative alla specifica prestazione termica. La lettera P contrassegna blocchi portanti con una percentuale di foratura compresa tra 45 e 55% e spessore minimo di 25 cm; le lettere GV stanno per giunto verticale, semplice o, in due casi, ad incastro, mentre GO chiama in causa i giunti orizzontali.

Si evidenzia che il valore di conducibilità termica degli strati eseguiti con elementi di laterizio è quello della muratura risultante ed è comprensivo del contributo dei giunti.

Il valore della massa superficiale, riportato tra i risultati delle valutazioni, comprende anche il peso dei giunti di malta⁸. Viene fornito anche il valore di massa superficiale con l'esclusione degli intonaci, come richiesto dal D. Lgs. n. 192/05 e s.m.i.

Le valutazioni sono state condotte con valori di conducibilità termica equivalente degli elementi in condizioni a secco; pertanto, i risultati non considerano una eventuale influenza dell'umidità⁹. Tutte le specifiche tecniche relative agli strati superficiali interni, ai coefficienti liminari (interno ed esterno) sono state mantenute costanti. In una specifica sezione (in alto a sinistra) delle schede, si riportano le fasce climatiche in cui tali soluzioni costruttive sono consentite dalla normativa vigente. In realtà, ciascuna soluzione presentata risulta conforme ai limiti previsti per il 2010, indipendentemente dalla zona climatica in cui potrà essere adottata, e ciò a vantaggio del maggior risparmio energetico conseguibile.

Legenda dei simboli riportati nelle tabelle:

- R_{mur} : resistenza termica della muratura;
- C_{mur} : conduttanza termica della muratura;
- R_{lat} : resistenza termica del singolo elemento in laterizio;
- $\lambda_{\text{eq lat}}$: conducibilità termica equivalente del singolo elemento in laterizio;
- ρ_{lat} : densità del laterizio;
- Φ_{lat} : percentuale di foratura del singolo elemento in laterizio.

⁸ È obbligatorio che il valore di massa superficiale senza intonaco (kg/m^2) delle pareti opache comprese nel quadrante S/O-S-S/E sia superiore a 230 kg/m^2 (art. 4 comma 18 del DPR 59/09), per località con irradianza superiore a 290 W/m^2 .

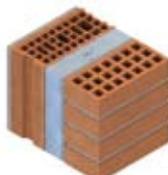
⁹ In relazione alla quantità di umidità, presente in condizioni di esercizio, variano le prestazioni termiche nella muratura. La nuova norma UNI EN ISO 10456 (2008) fornisce i parametri per quantificare le correzioni da applicare ai valori termici della muratura calcolati allo stato secco.

1

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni estrusi faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio estruso $\Phi = 35\%$ faccia a vista						0,120	0,285**	1100**	24,42	0,354
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco in laterizio						0,120	0,186*	900**	21,85	0,645
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento estruso 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali 50x12x25 cm	Geometria		
	R_{mur} m ² K/W		0,354	0,645			
C_{mur} W/m ² K		2,825	1,551				
R_{lat} m ² K/W		0,421	—				
$\lambda_{eq\ lat}$ W/mK		0,285	—				
ρ_{lat} kg/m ³		1100	900				
Φ_{lat} %		35	55				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,325	0,335	0,335	0,345
Trasmittanza termica U muratura			W/m ² K	0,312	0,312	0,312	0,312
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	302,35	301,40	306,85	303,25
Massa superficiale senza intonaco			kg/m ²	279,85	278,90	284,35	280,75
Capacità termica			kJ/ m ² K	237,9	237,1	247,9	242,5
Sfasamento onda termica			h	10,52	10,42	11,71	11,08
Fattore attenuazione			—	0,33	0,33	0,30	0,32
Potere fonoisolante (R_w)			dB	51,6	54,6	51,7	54,6
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	50,9	53,8	51,0	53,9
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	44,7	45,2	44,7	45,2
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,6	40,7	40,6	40,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,1	40,2	40,1	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

2

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,070	0,030	45	1,80	2,330
	Fibra minerale					0,080	0,035	25	3,00	2,330
	Sughero					0,080	0,036	100	5,00	2,330
	Fibra di legno					0,090	0,038	45	5,00	2,330
Laterizio forato***						0,120	0,387*	690**	19,28	0,310
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ***valori termici da norma UNI 10355

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori orizzontali 25x12x25 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	0,310			
C_{mur}	W/m ² K	4,445	3,226				
R_{lat}	m ² K/W	0,254	—				
$\lambda_{eq, lat}$	W/mK	0,472	0,460				
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	690				
Φ_{lat}	%	0	60-72				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,340	0,350	0,350	0,360
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,325	0,325	0,325	0,325
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	339,70	339,00	345,40	341,00
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	317,20	316,50	322,90	318,50
Capacità termica			kJ/ m ² K	269,0	268,0	280,6	274,3
Sfasamento onda termica			h	7,94	7,80	10,08	8,65
Fattore attenuazione			—	0,53	0,53	0,48	0,51
Potere fonoisolante (R_w)			dB	52,6	55,6	52,8	55,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	51,9	54,9	52,0	54,9
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	44,9	45,3	44,9	45,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,1	40,2	40,1	40,2

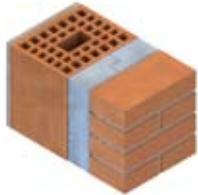
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

3

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco in laterizio						0,200	0,240*	820**	20,87	0,836
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali 25x20x19 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	0,836			
C_{mur}	W/m ² K	4,445	1,196				
Giunti di malta termica							
R_{lat}	m ² K/W	0,254	0,840				
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,472	0,238				
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	820				
Φ_{lat}	%	0	45				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,405	0,415	0,415	0,425
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,306	0,306	0,306	0,306
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	400,84	399,89	405,34	401,74
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	378,34	377,39	382,84	379,24
Capacità termica			kJ/ m ² K	329,3	328,5	339,3	334,2
Sfasamento onda termica			h	12,5	12,4	13,64	13,13
Fattore attenuazione			—	0,2	0,21	0,19	0,19
Potere fonoisolante (R_w)			dB	54,1	57,0	54,2	57,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	53,3	56,3	53,4	56,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,1	45,4	45,1	45,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,2	40,2	40,2	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

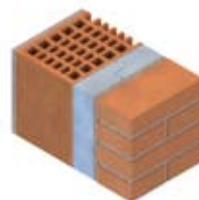
4

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco in laterizio						0,200	0,210*	690**	21,00	0,952
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali 40x20x25 cm	Geometria
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	0,952	
C_{mur}	W/m ² K	4,445	1,050		
R_{lat}	m ² K/W	0,254	1,020		
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,472	0,195		
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	690		
Φ_{lat}	%	0	60		



Tipologie di isolante		Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m	0,410	0,420	0,420	0,430
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,295	0,295	0,295	0,295
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²	398,10	397,15	402,60	399,00
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	375,60	374,65	380,10	376,50
Capacità termica	kJ/ m ² K	316,1	314,2	325,0	319,6
Sfasamento onda termica	h	12,42	12,20	13,25	12,84
Fattore attenuazione	—	0,21	0,21	0,19	0,20
Potere fonoisolante (R_w)	dB	54,0	57,0	54,1	57,0
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB	53,2	56,2	53,3	56,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB	45,1	45,4	45,1	45,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB	40,2	40,2	40,2	40,2

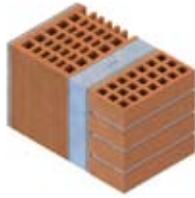
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

5

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni estrusi faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio estruso $\Phi = 35\%$ faccia a vista						0,120	0,285**	1100**	24,42	0,354
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco in laterizio						0,200	0,210*	690**	21,00	0,952
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento estruso 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali 40x20x25 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,354	0,952			
C_{mur}	W/m ² K	2,825	1,050				
R_{lat}	m ² K/W	0,421	1,020				
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,285	0,195				
ρ_{lat}	kg/m ³	1100	690				
Φ_{lat}	%	35	60				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,410	0,420	0,420	0,430
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,284	0,284	0,284	0,284
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	357,34	356,38	361,84	358,06
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	334,84	333,89	334,34	335,56
Capacità termica			kJ/ m ² K	271,8	269,9	280,6	275,2
Sfasamento onda termica			h	12,92	12,70	13,96	13,35
Fattore attenuazione			—	0,19	0,19	0,17	0,18
Potere fonoisolante (R_w)			dB	53,1	56,0	53,2	56,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	52,3	55,3	52,4	55,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,0	45,3	45,0	45,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,1	40,2	40,2	40,2

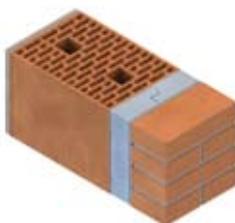
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

6

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,040	0,030	45	1,80	1,333
	Fibra minerale					0,050	0,035	25	3,00	1,333
	Sughero					0,050	0,036	100	5,00	1,333
	Fibra di legno					0,050	0,038	45	5,00	1,333
Blocco in laterizio						0,330	0,216*	790**	20,31	1,526
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 25x33x19 cm	Geometria		
	R_{mur} m ² K/W	C_{mur} W/m ² K		0,225	1,526		
R_{lat} m ² K/W	$\lambda_{eq\,lat}$ W/mK		4,445	0,655			
ρ_{lat} kg/m ³	Φ_{lat} %		0,254	1,765			
			0,472	0,187			
			1540	790			
			0	50			
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,515	0,525	0,525	0,525
Trasmittanza termica U muratura			W/m ² K	0,304	0,304	0,304	0,304
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	524,24	523,69	527,44	524,69
Massa superficiale senza intonaco			kg/m ²	501,74	501,19	504,94	502,19
Capacità termica			kJ/ m ² K	409,8	409,2	416,4	412,7
Sfasamento onda termica			h	17,74	17,69	18,33	18
Fattore attenuazione			—	0,07	0,07	0,06	0,06
Potere fonoisolante (R_w)			dB	56,4	59,4	56,4	59,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	55,6	58,6	55,7	58,6
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,3	45,5	45,3	45,5
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,8	40,8	40,8	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,2	40,3	40,2	40,3

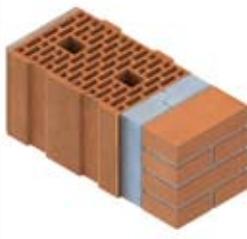
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

7

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,040	0,030	45	1,80	1,333
	Fibra minerale					0,050	0,035	25	3,00	1,333
	Sughero					0,050	0,036	100	5,00	1,333
	Fibra di legno					0,050	0,038	45	5,00	1,333
Blocco in laterizio						0,380	0,243*	850**	21,21	1,565
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 25x38x19 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	1,565			
	C_{mur}	W/m ² K	4,445	0,639			
				GV a incastro			
	R_{lat}	m ² K/W	0,254	1,638			
	$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,472	0,232			
	ρ_{lat}	kg/m ³	1540	850			
Φ_{lat}	%	0	50				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,565	0,575	0,575	0,575
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,300	0,300	0,300	0,300
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	578,86	578,31	582,06	579,31
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	565,37	555,81	559,56	556,81
Capacità termica			kJ/ m ² K	462,1	461,6	468,7	465,1
Sfasamento onda termica			h	19,56	19,56	20,14	19,81
Fattore attenuazione			—	0,04	0,04	0,04	0,04
Potere fonoisolante (R_w)			dB	57,3	60,2	57,3	60,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	56,5	59,5	56,5	59,5
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,4	45,5	45,4	45,5
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,8	40,9	40,8	40,9
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,2	40,3	40,2	40,3

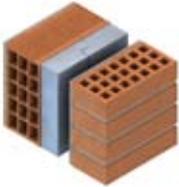
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

8

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni estrusi faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio estruso $\Phi = 35\%$ faccia a vista						0,120	0,285**	1100**	24,42	0,354
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Intercapedine d'aria****						0,040	—	—	193,00	0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Laterizio forato***						0,120	0,387*	690**	19,28	0,310
Intonaco di calce e gesso						0,010	0,540	1500	18,00	0,019
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ***valori termici da norma UNI 10355; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento estruso 25x12x5,5 cm	Elemento a fori orizzontali 25x12x25 cm	Geometria 
	R_{mur}	m ² K/W	0,354	0,310	
	C_{mur}	W/m ² K	2,825	3,226	
	R_{lat}	m ² K/W	0,421	—	
	$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,285	0,460	
	ρ_{lat}	kg/m ³	1100	690	
Φ_{lat}	%	35	60-72		

Tipologie di isolante		Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m	0,360	0,370	0,370	0,380
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,331	0,331	0,331	0,331
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²	282,44	290,34	286,94	293,16
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	267,44	275,34	271,94	268,16
Capacità termica	kJ/ m ² K	210,5	209,7	220,5	215,1
Sfasamento onda termica	h	7,92	7,82	10,40	8,53
Fattore attenuazione	—	0,52	0,52	0,47	0,50
Potere fonoisolante (R_w)	dB	51,0	54,3	51,2	54,3
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB	50,3	53,5	50,4	53,6
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB	44,6	45,1	44,6	45,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB	40,6	40,7	40,6	40,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB	40,0	40,2	40,0	40,2

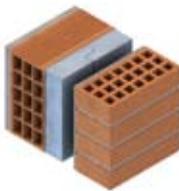
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

9

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni estrusi faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio estruso Φ = 45% faccia a vista						0,120	0,330**	1085**	24,42	0,310
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,00	0,011
Intercapedine d'aria****						0,040	—	—	193,00	0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Laterizio forato***						0,120	0,387*	690**	19,28	0,310
Intonaco di calce e gesso						0,020	0,540	1500	18,00	0,037
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ***valori termici da norma UNI 10355; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento estruso 25x12x5,5 cm	Elemento a fori orizzontali 25x12x25 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,310	0,310			
	C_{mur}	W/m ² K	3,220	3,226			
	R_{lat}	m ² K/W	0,364	—			
	$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,330	0,460			
	ρ_{lat}	kg/m ³	1085	690			
Φ_{lat}	%	45	60-72				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,370	0,380	0,380	0,390
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,334	0,334	0,334	0,334
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	289,14	287,11	293,67	289,90
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	259,14	257,11	263,67	259,90
Capacità termica			kJ/ m ² K	261,40	260,68	271,30	263,90
Sfasamento onda termica			h	9,05	10,34	12,87	11,06
Fattore attenuazione			—	0,44	0,44	0,39	0,47
Potere fonoisolante (R_w)			dB	51,2	54,2	51,4	54,2
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	50,5	53,4	50,6	53,5
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	44,6	45,1	44,7	45,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,6	40,7	40,6	40,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,0	40,2	40,0	40,2

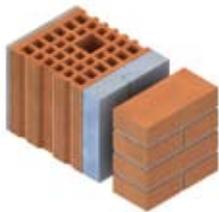
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

10

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,20	0,225
Intercapedine d'aria****						0,050	—	—	193,00	0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco di laterizio						0,250	0,308*	810**	21,00	0,810
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 45x25x24 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	0,810			
C_{mur}	W/m ² K	4,445	1,230				
R_{lat}	m ² K/W	0,254	0,836				
$\lambda_{eq, lat}$	W/mK	0,472	0,299				
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	810				
Φ_{lat}	%	0	50				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,495	0,505	0,505	0,515
Trasmittanza termica U muratura			W/m ² K	0,295	0,295	0,295	0,295
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	431,49	430,54	435,79	432,39
Massa superficiale senza intonaco			kg/m ²	408,99	408,04	413,29	409,89
Capacità termica			kJ/ m ² K	346,6	345,8	356,5	351,1
Sfasamento onda termica			h	13	12,89	14,26	13,59
Fattore attenuazione			—	0,18	0,18	0,16	0,17
Potere fonoisolante (R_w)			dB	54,7	57,7	54,8	57,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	53,9	56,9	54,0	57,0
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,2	45,4	45,2	45,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,2	40,3	40,2	40,3

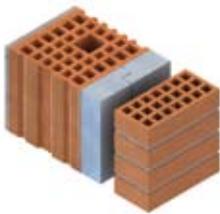
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

11

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni estrusi faccia a vista

	A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he											0,043
Laterizio estruso Φ = 35% faccia a vista							0,120	0,285**	1100**	24,42	0,354
Intercapedine d'aria****							0,050	—	—	193,00	0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse						0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale						0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero						0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno						0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco di laterizio							0,250	0,308*	810**	21,00	0,810
Intonaco di calce e gesso							0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi											0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento estruso 25x12x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 45x25x24 cm	Geometria		
	R_{mur}	m ² K/W	0,354	0,810			
C_{mur}	W/m ² K	2,825	1,230				
			GV a incastro				
R_{lat}	m ² K/W	0,421	0,836				
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,285	0,299				
ρ_{lat}	kg/m ³	1100	810				
Φ_{lat}	%	35	50				
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura			m	0,495	0,505	0,505	0,515
Trasmittanza termica U muratura			W/m²K	0,284	0,284	0,284	0,284
Formazione di condensa superficiale			Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale			kg/m ²	390,73	389,78	395,03	391,63
Massa superficiale senza intonaco			kg/m²	368,23	367,28	372,53	369,13
Capacità termica			kJ/ m ² K	303,3	301,4	312,2	306,8
Sfasamento onda termica			h	13,51	13,26	14,67	13,98
Fattore attenuazione			—	0,16	0,16	0,15	0,16
Potere fonoisolante (R_w)			dB	53,8	56,8	53,9	56,9
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)			dB	53,1	56,1	53,2	56,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)			dB	45,1	45,3	45,1	45,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)			dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)			dB	40,2	40,2	40,2	40,2

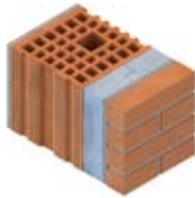
Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

12

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e listelli faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista (listello)						0,060	0,472**	1540**	30,20	0,112
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco di laterizio						0,250	0,308*	810**	21,00	0,810
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x6,0x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 45x25x24 cm	Geometria	
	R_{mur}	m ² K/W	0,112	0,810		
C_{mur}	W/m ² K	8,928	1,230			
R_{lat}	m ² K/W	0,127	0,836	GV a incastro		
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	1,97	0,299			
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	810			
Φ_{lat}	%	0	50			
Tipologie di isolante			Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m		0,400	0,410	0,410	0,420
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K		0,319	0,319	0,319	0,319
Formazione di condensa superficiale	Glaser		NO	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²		331,64	330,69	336,14	332,36
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²		309,14	308,19	313,64	309,86
Capacità termica	kJ/ m ² K		292,7	290,8	301,5	296,1
Sfasamento onda termica	h		10,96	10,74	11,98	11,37
Fattore attenuazione	—		0,240	0,240	0,220	0,230
Potere fonoisolante (R_w)	dB		52,4	55,4	52,5	55,4
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB		51,7	54,6	51,8	54,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB		44,8	45,2	44,9	45,2
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB		40,6	40,8	40,6	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB		40,1	40,2	40,1	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

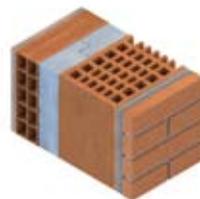
13

Muratura a doppio strato con isolante in intercapedine e listelli faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista (listello)						0,033	0,472**	1540**	30,20	0,062
Collante di malta cementizia						0,010	1,400	2000	8,00	0,007
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Blocco di laterizio						0,200	0,210*	690**	21,00	0,952
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Laterizio forato***						0,080	0,400*	680**	19,28	0,200
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ***valori termici da norma UNI 10355

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x3,3x5,5 cm	Elemento a fori verticali 45x25x25 cm	Geometria
	R_{mur}	m ² K/W	0,062	0,952	
C_{mur}	W/m ² K	16,130	1,050		
R_{lat}	m ² K/W	0,070	1,020		
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,156	0,195		
ρ_{lat}	Kg/m ³	1540	690		
Φ_{lat}	%	0	60		



Tipologie di isolante	Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m	0,413	0,423	0,433
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,291	0,291	0,291
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²	342,50	341,55	346,80
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	320,00	319,05	324,30
Capacità termica	kJ/ m ² K	266,1	264,2	274,9
Sfasamento onda termica	h	10,94	10,70	12,05
Fattore attenuazione	—	0,270	0,280	0,250
Potere fonoisolante (R_w)	dB	52,7	55,7	52,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB	51,9	54,9	52,1
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB	44,9	45,3	44,9
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB	40,7	40,8	40,7
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB	40,1	40,2	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

14

Muratura monostrato con rivestimento a cappotto e listelli a colla in laterizio

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno a listello faccia a vista						0,010/0,020	0,472**	1540**	30,20	0,018
Collante						0,010	1,400	2000	8,00	0,007
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,80	2,000
	Fibra minerale					0,070	0,035	25	3,00	2,000
	Sughero					0,070	0,036	100	5,00	2,000
	Fibra di legno					0,080	0,038	45	5,00	2,000
Blocco di laterizio						0,300	0,233*	860**	21,21	1,288
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Listello pieno 25x1/2x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 33x30x19 cm	Geometria	
	R_{mur}	m ² K/W	0,018	1,288		
C_{mur}	W/m ² K	55,560	0,776			
R_{lat}	m ² K/W	0,002	—	GV a incastro		
$\lambda_{eq\ lat}$	W/mK	0,472	—			
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	860			
Φ_{lat}	%	0	45			
Tipologie di isolante		Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno	
Spessore totale muratura		m	0,395/0,405	0,405/0,415	0,405/0,415	0,415/0,425
Trasmittanza termica U muratura		W/m ² K	0,285	0,285	0,285	0,285
Formazione di condensa superficiale		Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale		kg/m ²	336,11	335,16	340,41	337,01
Massa superficiale senza intonaco		kg/m ²	313,61	312,66	317,91	314,51
Capacità termica		kJ/ m ² K	268,7	266,8	277,6	272,2
Sfasamento onda termica		h	12,65	12,45	13,63	13,05
Fattore attenuazione		—	0,12	0,12	0,11	0,12
Potere fonoisolante (R_w)		dB	52,5	55,5	52,6	55,6
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)		dB	51,8	54,8	51,9	54,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)		dB	44,9	45,2	44,9	45,2
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)		dB	40,6	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)		dB	40,1	40,2	40,1	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

15 Muratura monostrato con rivestimento in listelli faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno a listello faccia a vista						0,033	0,472**	1540**	30,20	0,062
Collante in malta cementizia						0,010	1,400	2000	8,00	0,007
Intonaco di calce e cemento						0,015	0,930	1800	18,00	0,016
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					—	—	—	—	—
	Fibra minerale					—	—	—	—	—
	Sughero					—	—	—	—	—
	Fibra di legno					—	—	—	—	—
Blocco di laterizio						0,450	0,154*	850**	21,21	2,923
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,00	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Listello pieno 25x3,3x5,5 cm	Elemento a fori verticali P 25x45x22,5 cm	Geometria
	R_{mur} m ² K/W		0,062	2,923	
C_{mur} W/m ² K		16,130	0,342		
			GV a incastro, G0 con malta termica 12 mm		
R_{lat} m ² K/W		0,070	—		
$\lambda_{eq\ lat}$ W/mK		0,156	—		
ρ_{lat} kg/m ³		1540	850		
Φ_{lat} %		0	45		



Tipologie di isolante	Assente				
Spessore totale muratura	m	0,523	—	—	—
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,312	—	—	—
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	—	—	—
Massa superficiale	kg/m ²	436,03	—	—	—
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	413,53	—	—	—
Capacità termica	kJ/ m ² K	422,4	—	—	—
Sfasamento onda termica	h	21,21	—	—	—
Fattore attenuazione	—	0,04	—	—	—
Potere fonoisolante (R_w)	dB	52,8	—	—	—
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB	52,0	—	—	—
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB	44,9	—	—	—
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB	40,7	—	—	—
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB	40,1	—	—	—

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

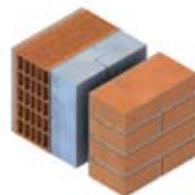
16

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W
1/he										0,043
Laterizio pieno faccia a vista						0,120	0,472**	1540**	30,2	0,225
Intonaco di calce e cemento						0,010	0,930	1800	18,0	0,011
Intercapedine d'aria****						0,040	—	—	193,0	0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse					0,060	0,030	45	1,8	2,000
	Fibra minerale					0,080	0,035	25	3,0	2,000
	Sughero					0,080	0,036	100	5,0	2,000
	Fibra di legno					0,090	0,038	45	5,0	2,000
Laterizio forato						0,120	0,237*	541**	19,0	0,505
Intonaco di calce e gesso						0,015	0,540	1500	18,0	0,028
1/hi										0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

Tipologie di laterizio	Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori orizzontali 25x12x25 cm	Geometria
	R_{mur}	m ² K/W	0,225	0,505	
C_{mur}	W/m ² K	4,445	1,980		
R_{lat}	m ² K/W	0,254	0,550		
$\lambda_{eq\,lat}$	W/mK	0,472	0,220		
ρ_{lat}	kg/m ³	1540	541		
Φ_{lat}	%	0	69		



Tipologie di isolante	Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m	0,365	0,385	0,395
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,323	0,323	0,323
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²	307,43	305,93	314,93
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	284,93	283,43	292,43
Capacità termica	kJ/ m ² K	231,00	229,70	247,60
Sfasamento onda termica	h	7,52	7,25	10,47
Fattore attenuazione	—	0,58	0,59	0,53
Potere fonoisolante (R_w)	dB	51,8	54,7	52,0
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (A)	dB	51,0	54,0	51,2
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (B)	dB	44,7	45,2	44,8
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (C)	dB	40,6	40,7	40,6
Isolam. acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$) (D)	dB	40,1	40,2	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

17

Muratura a doppio strato con isolante e camera d'aria in intercapedine e mattoni pieni faccia a vista

		A	B	C	D	E	F	s spessore m	λ conducibilità W/mK	ρ densità kg/m ³	μ permeabilità vapore	R resistenza m ² K/W	
1/he													0,043
Laterizio pieno faccia a vista								0,120	0,472**	1540**	30,2		0,225
Intonaco di calce e cemento								0,010	0,930	1800	18,0		0,011
Intercapedine d'aria****								0,040	—	—	193,0		0,160
Opzione isolante	Sintetico a celle chiuse							0,060	0,030	45	1,8		2,000
	Fibra minerale							0,080	0,035	25	3,0		2,000
	Sughero							0,080	0,036	100	5,0		2,000
	Fibra di legno							0,090	0,038	45	5,0		2,000
Laterizio forato								0,200	0,232*	541**	19,0		0,862
Intonaco di calce e gesso								0,015	0,540	1500	18,0		0,028
1/hi													0,123

*valore riferito alla muratura; **valore riferito al singolo elemento; ****rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946

		Caratteristiche termiche		Elemento pieno 25x12x5,5 cm	Elemento a fori orizzontali 25x20x25 cm	Geometria
Tipologie di laterizio	R _{mur}	m ² K/W		0,225	0,862	
	C _{mur}	W/m ² K		4,445	1,160	
	R _{lat}	m ² K/W		0,254	0,930	
	λ _{eq lat}	W/mK		0,472	0,220	
	ρ _{lat}	kg/m ³		1540	539	
	Φ _{lat}	%		0	69	

Tipologie di isolante		Sintetico a celle chiuse	Fibra minerale	Sughero	Fibra di legno
Spessore totale muratura	m	0,445	0,465	0,465	0,475
Trasmittanza termica U muratura	W/m²K	0,290	0,290	0,290	0,290
Formazione di condensa superficiale	Glaser	NO	NO	NO	NO
Massa superficiale	kg/m ²	346,85	344,01	353,37	344,01
Massa superficiale senza intonaco	kg/m²	324,36	321,51	330,87	321,51
Capacità termica	kJ/ m ² K	267,00	265,70	283,70	275,00
Sfasamento onda termica	h	10,55	10,29	13,41	12,07
Fattore attenuazione	—	0,32	0,32	0,25	0,28
Potere fonoisolante (R _w)	dB	52,8	55,7	53,0	55,7
Isolam. acustico di facciata (D_{2m,nT,w}) (A)	dB	52,1	55,0	52,2	55,0
Isolam. acustico di facciata (D _{2m,nT,w}) (B)	dB	44,9	45,3	44,9	45,3
Isolam. acustico di facciata (D _{2m,nT,w}) (C)	dB	40,7	40,8	40,7	40,8
Isolam. acustico di facciata (D _{2m,nT,w}) (D)	dB	40,1	40,2	40,1	40,2

Legenda: A parete cieca; B con finestra 1,4x1,4 m²; C con portafinestra 1,4x2,1 m²; D con portafinestra 1,4x2,1 m² e cassonetto (vedi tabella 2)

Considerazioni sui valori termici

Dalle valutazioni condotte sulle prestazioni termiche delle soluzioni considerate, possono essere tratte alcune considerazioni di larga massima, con una premessa sui risultati ottenuti: questi sono strettamente legati alle stratificazioni indicate e alla scelta di specifici elementi in laterizio. Gli stessi valori termici possono essere ottenuti anche con altri spessori, oppure si possono avere risultati differenti da quelli qui riportati, seppur con lo stesso spessore, qualora si utilizzino prodotti con prestazioni termiche, modalità e materiali per la posa in opera differenti. Ogni prodotto, infatti, può variare la propria prestazione termica in relazione a numerose variabili: densità e conducibilità termica dell'impasto di argilla, percentuale di foratura, geometria dei fori. Le murature, inoltre, possono differire per tipo di giunto (normale, a incastro, rettificato) e tipo di malta usato per i giunti (normale o isolante). I valori termici delle stratificazioni prese in considerazione si attengono ai limiti di trasmittanza della normativa e consentono di poter impiegare le stesse anche in località in zona climatica F, caratterizzata dal valore limite più restrittivo.

Complessivamente, tutte le soluzioni esaminate presentano valori di massa superficiale superiori ai 230 kg/m^2 , limite indicato nel D.P.R. 59/09 con lo scopo di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di garantire un maggior comfort termico. Si può osservare, in particolare, come a fronte dell'aumento della massa superficiale corrisponda un aumento dello sfasamento e una riduzione dell'attenuazione.

La verifica di Glaser è positiva per tutte le murature valutate: quindi, non vi è il rischio di formazione di condensa interstiziale. Va comunque evidenziato che, in quasi tutti i casi, tra lo strato di isolante e l'intonaco, le due curve di pressione di vapore si avvicinano molto, per cui si rende necessaria una particolare attenzione nella esecuzione della muratura, per evitare cadute prestazionali che potrebbero portare alla formazione di condensa rispetto alle previsioni progettuali. L'ordine degli strati nella sezione muraria, in regime stazionario, non altera il comportamento termico, avendo significato solo per quanto riguarda la possibilità di formazione di condensa. Gli effetti sul comportamento dinamico possono invece essere rilevanti. È importante comprendere la corretta distribuzione degli strati, in particolare la posizione degli strati massivi, e valutare l'effetto combinato di questi con gli isolanti termici. La posizione dello strato isolante influisce sul comportamento in regime dinamico, soprattutto sul fattore di attenuazione, mentre ha poca influenza sul ritardo temporale¹⁰.

Dalla considerazione della variabile tempo emergono altri spunti di riflessione: pareti con trasmittanza termica uguale hanno un comportamento identico dal punto di vista della riduzione della dispersione di calore verso l'esterno, ma presentano un comportamento differente dal punto di vista della conservazione del calore accumulato. Tutte le soluzioni esaminate sono caratterizzate da fattori di attenuazione e sfasamenti interessanti. L'importanza di questi due parametri viene riconosciuta dalle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, che li introduce come parametri sostitutivi dell'indice di prestazione termica per il raffrescamento ($EP_{e, \text{invol}}$) nel caso di edifici esistenti. Possibili valori di riferimento possono essere tratti anche dal Protocollo Itaca (al punto 1.3.2 – *Inerzia termica*, aprile 2007),

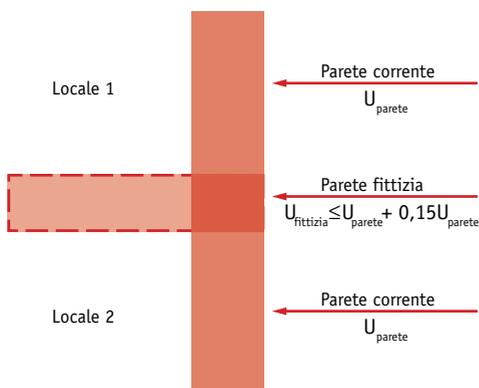
¹⁰ Asan H., "Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view", *Energy and Buildings*, n. 32, 2000, pp. 197–203.

in cui è consigliato un valore di sfasamento minimo di 8 ore e un fattore di attenuazione $\leq 0,35$, per ottenere un punteggio corrispondente alla sufficienza. Per la situazione estiva, in letteratura, si riscontra che valori prossimi alle 12 ore di sfasamento sono raccomandabili e performanti: in estate, gli ambienti interni vengono raggiunti dalla temperatura esterna più elevata solo durante la notte, con un ritardo di 12 ore, quando ormai la temperatura esterna si è abbassata verso valori minimi.

Accorgimenti per la costruzione di involucri termicamente efficaci

Vi sono alcuni aspetti nella realizzazione delle murature stratificate, spesso sottovalutati, determinanti per il corretto funzionamento dell'involucro come regolatore di flussi termici esterno-interno e causa di prestazioni di isolamento ben differenti dalle previsioni progettuali. Tali aspetti, spesso trascurati dalla normativa di riferimento, vanno invece attentamente considerati in una progettazione accurata e competente, soprattutto nella fase di messa in opera dei componenti edilizi in cantiere.

Alla scala del subsistema delle chiusure verticali, si fa spesso riferimento al solo valore di trasmittanza termica di una parte di involucro, senza considerare gli influssi dovuti agli effetti dei ponti termici. Il valore U rappresenta solo un dato relativo alla qualità termica e tecnica della soluzione costruttiva prospettata. Nella realtà, pesanti cadute di isolamento termico – ponti termici, appunto – possono verificarsi nei nodi di interfaccia fra la muratura e le parti dell'edificio aventi funzioni differenti e tra materiali diversi: la loro considerazione è indispensabile per svolgere correttamente il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio. Sono punti singolari in cui si verifica un andamento del flusso termico in più direzioni, con una conseguente deviazione delle isoterme che, nelle parti isolate "omogeneamente", si



Il ponte termico è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali, pareti verticali tra loro).

Il ponte termico risulta corretto quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente:

$$U_{fittizia} \leq U_{parete} + (U_{parete} \times 0,15)$$

Ad esempio, se $U_{parete} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ allora $U_{fittizia}$ deve essere minore del valore $0,345 \text{ W/m}^2\text{K}$

Figura 2 – Ponte termico (rielaborazione dalla tabella 3, Allegato A del D. Lgs. 192/2005).

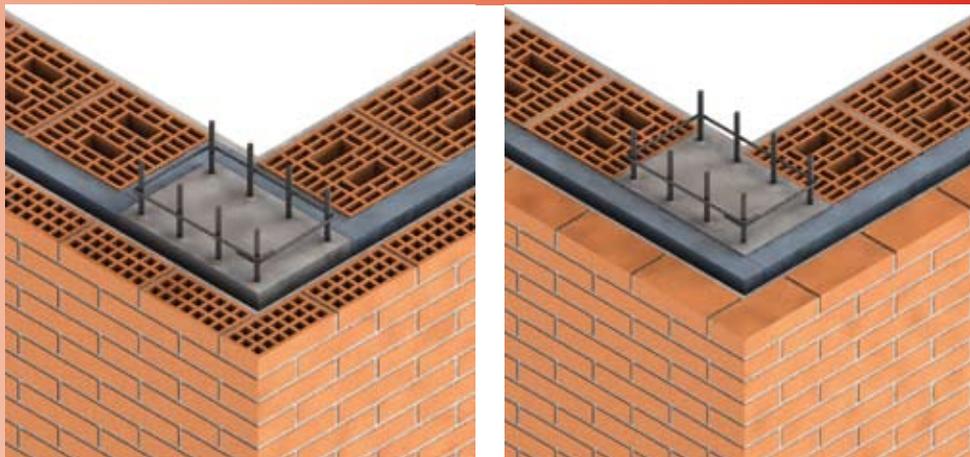


Figura 3 – Possibili soluzioni per l'eliminazione del ponte termico d'angolo.

presentano parallele; ad essi corrispondono sempre indesiderate dispersioni termiche e, nel periodo invernale, un abbassamento delle temperature delle superfici interne dell'edificio, con conseguenze negative sul comfort abitativo.

I ponti termici possono essere generati dalle seguenti circostanze: disomogeneità termica di materiali a contatto tra loro, con conduttività termiche anche molto differenti (ad esempio, all'interno di un solaio in latero-cemento o in corrispondenza di un pilastro di cemento armato in una parete di materiale diverso); disomogeneità geometrica, quando la superficie disperdente esterna è maggiore della superficie interna che riceve calore dall'interno (angoli di parete o incroci, ecc.). Nella maggior parte delle situazioni coesistono i ponti termici dovuti a entrambe le disomogeneità.

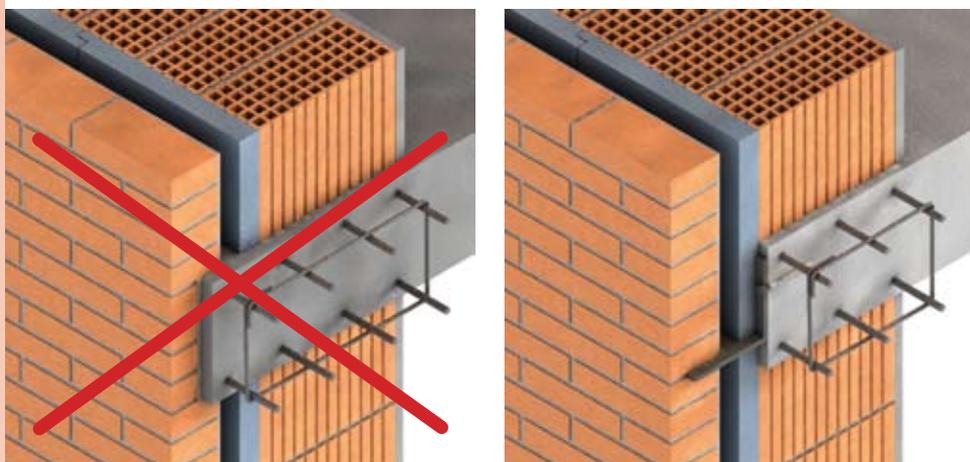


Figura 4 – Possibile soluzione per il ponte termico nell'interfaccia solaio interpiano – chiusura verticale opaca.



Figura 5 – Risoluzione del ponte termico nel punto di connessione fra serramento – davanzale – chiusura opaca mediante distacco del davanzale esterno in corrispondenza dello strato isolante.

Qualunque sia l'origine del ponte termico, risulta fondamentale capire come ridurre (o addirittura, eliminarne) gli effetti o, in casi estremi, come correggere, nel calcolo delle dispersioni termiche, i valori di trasmittanza, considerandone i contributi negativi.

È necessario intervenire preventivamente, durante la fase progettuale e nella fase di realizzazione, su questi punti particolari per garantire un edificio confortevole. Per evitare la formazione di ponti termici, bisogna che ci sia una perfetta continuità dell'isolamento tra la parete perimetrale e i nodi di interfaccia o di interruzione della stessa: per esempio, nel punto di imposta del solaio interpiano sulla chiusura verticale esterna, oppure nel perimetro di contatto fra un serramento e la chiusura verticale opaca.

Nel caso specifico di murature "stratificate", in cui ogni singolo componente viene messo in opera con una precisa specializzazione funzionale, una corretta progettazione e messa in opera risultano indispensabili per l'eliminazione, o quanto meno riduzione, dei ponti termici. Le murature stratificate, anche nel caso di utilizzazione di elementi "faccia a vista", prevedono, generalmente, uno strato di isolante intermedio. Un corretto posizionamento dello stesso, in corrispondenza della discontinuità dei materiali o di punti singoli, consente l'eliminazione dei ponti termici.

Nel caso di un edificio con struttura a telaio, è possibile eliminare il ponte termico tra i pilastri e la chiusura verticale esterna facendo, ad esempio, passare lo strato di materiale isolante all'interno dei pilastri stessi, seguendone la geometria; procedura più efficace è far continuare l'isolante sul lato esterno dei pilastri, lasciando al suo interno la struttura e lo strato resistente della stratificazione muraria (figura 3).

Nel caso dell'interfaccia solaio orizzontale e chiusura verticale esterna, bisogna evitare di lasciare il ponte termico che viene inevitabilmente a generarsi in corrispondenza della testa del solaio, causa di successivi cambi di colore o formazione di condensa. Si può eliminare questo ponte termico interrompendo il solaio interpiano, nella parte terminale verso l'esterno, con materiale isolante, che, anche in questo caso, deve poter continuare sopra e sotto nella stratificazione muraria. Tecnicamente, si possono inserire delle strisce di isolante nel cassero prima

del getto del calcestruzzo. Oppure si può seguire la strada di realizzare la struttura orizzontale e lo strato portante completamente staccati dal rivestimento esterno in elementi di laterizio, agganciando lo stesso mediante ancoraggi metallici posizionati puntualmente nella muratura (*figura 4*): l'incidenza di tali ancoraggi sulle proprietà termiche della stessa è comunque trascurabile. Per quanto attiene la loro influenza sull'isolamento acustico, si può manifestare un modesto calo di prestazioni alle medio-basse frequenze. Tale riduzione, normalmente contenuta all'interno dell'incertezza di misura, può essere ritenuta anch'essa trascurabile nel caso di una parete di facciata contenente serramenti [5].

Nel caso dell'interfaccia fra il perimetro del serramento con la chiusura verticale esterna, è fondamentale interrompere il davanzale esterno da quello interno all'edificio, in corrispondenza dello strato isolante che taglia il ponte termico (*figura 5*). E' inoltre opportuno isolare in modo appropriato la chiusura verticale in prossimità dei termosifoni, solitamente posizionati sotto le chiusure trasparenti; analoga attenzione va posta per i cassonetti degli avvolgibili: in tal caso, si interviene sul lato esterno per impedire infiltrazioni d'aria e umidità.

Accorgimenti per la costruzione di involucri acusticamente protetti

L'ottenimento di buone prestazioni di isolamento acustico da parte di componenti edilizi è un problema strettamente connesso con la qualità e la metodologia della realizzazione in opera dei medesimi componenti. In particolare, per quanto attiene le prestazioni acustiche delle facciate, è noto come errate procedure di realizzazione, installazione, montaggio o giunzione dei diversi componenti (murature, serramenti, dispositivi per l'oscuramento e



Figura 6 – Giunto “in luce” (a sinistra) e “a battuta” (a destra) per un serramento.

per il passaggio dell'aria, ecc.) possano ridurre fortemente le prestazioni acustiche attese. Vengono pertanto riportate di seguito alcune indicazioni per la corretta esecuzione in opera delle partizioni in muratura.

Giunzione tra i componenti di facciata

La prestazione acustica delle facciate dipende fortemente dalle modalità di giunzione tra i vari componenti. Nel caso del montaggio dei serramenti, deve essere posta particolare attenzione al raccordo tra controtelaio (o telaio fisso) del serramento e vano murario. In generale sono possibili due modalità di giunzione: "in luce" o "a battuta" (*figura 6*).

In linea di massima, il giunto "a battuta", che può essere realizzato incrementando la dimensione del telaio della finestra di alcuni centimetri rispetto al vano finestra in corrispondenza del paramento esterno della muratura faccia a vista, offre migliori garanzie di tenuta acustica ed all'aria.

In ogni caso, la corretta realizzazione del giunto prevede le seguenti fasi operative [6]:

1. nel caso di finestre, si applica un cordolo di sigillante continuo (ad esempio silicone) in posizione di mezzzeria del traverso inferiore; sulle estremità del cordolo deve essere previsto un leggero eccesso di materiale, per garantire l'effetto barriera anche ai lati del davanzale; nel caso dei giunti "a battuta", il sigillante deve essere posto anche sulle due spallette verticali "a battuta" e, se presente, anche sulla battuta superiore;
2. se il giunto è "in luce", dopo aver posizionato e fissato il serramento, è necessario applicare il supporto di fondo-giunto (in genere di polietilene espanso), continuo e di diametro opportuno, che, inserito nella fuga, esercita sulle pareti una pressione tale da resistere all'iniezione del sigillante espandente e permette di fissare la profondità di inserimento del sigillante conferendo ad esso la libertà di dilatazione o di contrazione;
3. si effettua la chiusura del giunto con materiale espandente (generalmente schiuma poliuretana espandente o strisce di materiale autoespandente) con funzioni riempitive;
4. si sigilla l'esterno e l'interno del giunto con un cordolo di materiale sigillante (ad esempio silicone).

Analoga cura deve essere posta nel montaggio dei cassonetti porta-avvolgibili che rappresentano, frequentemente, punti critici di notevole rilevanza per la prestazione acustica della facciata.

Prese d'aria

Forti problemi di isolamento acustico si riscontrano sempre nelle partizioni in cui siano presenti prese d'aria o forature di vario tipo. In particolare, ciò riguarda solitamente le facciate dei locali dove sono collocati apparecchi a fiamma libera (ad esempio, cucine a gas, bruciatori, ecc.). In base alla legislazione vigente (legge 46/90 e norme UNI CIG 7129), occorre che tali locali siano dotati di una presa d'aria in facciata avente una sezione libera non inferiore a 100 cm². Inoltre, differenti normative raccomandano la presenza di aperture di ventilazione anche nelle facciate dei locali abitabili, per consentire un naturale ricambio dell'aria.

Per limitare la perdita di isolamento acustico, è necessario che tali prese d'aria siano dotate di dispositivi ad accorgimenti fonoisolanti.

Trasmissione laterale tra ambienti interni adiacenti

Uno degli aspetti più problematici per l'ottenimento di buone prestazioni acustiche da parte di pareti in muratura è la trasmissione sonora laterale, ovvero la trasmissione di energia sonora che coinvolge le strutture laterali della parete di separazione (normalmente posta tra distinte unità immobiliari). Particolarmente interessante nella realizzazione delle pareti doppie in elementi di laterizio, è la modalità di giunzione laterale delle stesse con la parete stratificata "faccia a vista".

In figura 7, sono riportate alcune possibili configurazioni del giunto tra una partizione interna a doppio strato ed una parete di facciata.

La configurazione A, quella più frequentemente praticata nelle costruzioni edili, presenta una significativa trasmissione laterale. Il tavolato interno della parete di facciata, dotato spesso di ridotta massa superficiale e non interrotto in corrispondenza del giunto strutturale, costituisce un percorso efficace di trasmissione sonora. Inoltre, il medesimo tavolato crea un ponte acustico tra i due tramezzi della parete interna, contribuendo a ridurne le prestazioni di isolamento acustico.

La configurazione C risulta ottimale poiché elimina il ponte termico presente nella soluzione B e riduce fortemente la trasmissione sonora laterale attraverso la parete di facciata. Questa configurazione, inoltre, consente di eliminare il ponte acustico tra i due tramezzi della partizione interna.

La soluzione C, più vantaggiosa delle altre, può essere realizzata anche interrompendo la continuità del tavolato interno della parete di facciata dopo che questo è stato realizzato (tagliandolo, ad esempio, con un flessibile). Il taglio realizzato può essere eventualmente sigillato, poi, con materiale elastico.

Continuità dei giunti di malta e presenza di connessioni tra i tavolati

La prestazione di potere fonoisolante di una parete doppia può essere fortemente compromessa dalla presenza di discontinuità nei giunti orizzontali o verticali tra i diversi elementi costituenti. In particolare, questo problema può essere ricorrente nelle pareti composte da mattoni ad elevata percentuale di foratura disposti a fori orizzontali. In questo caso, se l'ese-



Figura 7 – Alcune configurazioni del collegamento tra parete divisoria interna e parete di facciata a doppio strato in elementi di laterizio.

cuzione non è condotta con cura, i giunti verticali possono risultare solo parzialmente riempiti di malta. Le discontinuità presenti, creando dei ponti acustici, riducono significativamente la prestazione acustica della parete.

Nel caso delle pareti doppie, l'aggiunta di uno strato di intonaco sulla faccia rivolta verso l'intercapedine di uno dei due tavolati contribuisce a migliorare la sigillatura di tutti i giunti, oltre ad incrementare positivamente la massa della parete.

Anche le connessioni rigide tra i due tavolati della parete doppia possono ridurne la prestazione acustica, creando punti di trasmissione delle vibrazioni e rendendo il comportamento della parete analogo a quello di una parete monolitica. Tuttavia, come già evidenziato per le pareti di facciata, l'influenza di tale calo di prestazione assume minore rilevanza, dal momento che la trasmissione dei rumori è attribuibile principalmente ai serramenti ed ai punti di connessione tra i vari componenti della facciata stessa.

Materiali fonoassorbenti

Premesso che nella scelta dei materiali isolanti da collocare all'interno dell'intercapedine delle pareti faccia a vista prevalgono gli aspetti legati al comportamento termo – igrometrico della stratificazione complessiva, dal punto di vista acustico sarebbero da privilegiare i materiali caratterizzati anche da idonee proprietà fonoassorbenti.

Le pareti doppie in laterizio hanno un comportamento acustico che è determinato principalmente dalla legge della massa complessiva, dal momento che il disaccoppiamento tra i due tavolati (e quindi la possibilità di funzionare secondo il principio del sistema doppio disaccoppiato) è normalmente influenzato negativamente dalle giunzioni laterali e dagli eventuali elementi di connessione tra gli stessi.

Per tale ragione, dal punto di vista dell'isolamento acustico, gli eventuali materiali (termoisolanti) posti all'interno dell'intercapedine hanno la funzione di attenuare le riverberazione acustica all'interno della medesima intercapedine, ma non quello di fungere da elemento elastico di disaccoppiamento strutturale tra gli strati della parete.

La natura e lo spessore del materiale da collocare all'interno di un'intercapedine devono essere scelti in funzione del coefficiente di assorbimento offerto. Materiali fibrosi o porosi a celle aperte garantiscono solitamente buoni valori di assorbimento acustico. Viceversa, i materiali a celle chiuse sono spesso caratterizzati da bassi valori del coefficiente di assorbimento e non sono pertanto idonei a fornire un contributo significativo ai fini della prestazione acustica.

Bibliografia

- Brambilla G.F., *Il manuale del mattone faccia a vista*, Laterservice, Roma, 2004.
- Campioli A., Ferrari S., Lavagna M., *Come si cambia. Il D.Lgs. 192/2005 e le chiusure verticali opache*, Costruire, n. 277, giu. 2006, pp. 114–120.
- Campioli A., Ferrari S., Lavagna M., Monticelli C., Morello E., *Ricette di chiusura. Involucro in laterizio*, Costruire, n. 281, ott. 2006, pp. 165–180.
- Campioli A., Ferrari S., Lavagna M., Morello E., Baldinazzo Marco, *Variabile tempo. Massa termica e risparmio energetico*, Costruire, n. 284, gen. 2007, pp. 94–99.
- Haupt E., Horschler S., Hagen W., *Initiative Zweischalige Wand – Bauen mit Backstein. Energie-sparendes Bauen – Energieeinsparverordnung, Baukonstruktion Regeldetails*, Colonia, 2005.
- Piaggio J. M., *Laterizio e innovazione*, Costruire in Laterizio, n. 103, gen.–feb. 2005, pp. 64–71.
- D. Lgs. 19 agosto 2005, n.192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.
- D. Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.
- DPR 2 aprile 2009, n.59, *Attuazione dell'art.4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*.
- DM 26 giugno 2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*.
- UNI 10355 (1994), *Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodi di calcolo*.
- UNI EN 1745 (2005), *Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto*.
- UNI EN ISO 6946 (2008), *Componenti e elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo*.
- UNI EN ISO 10456 (2008), *Materiali e prodotti per l'edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto*.
- UNI EN ISO 13786 (2008), *Prestazione termica dei componenti per l'edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo*.
- UNI EN ISO 13788 (2003), *Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensa interstiziale. Metodo di calcolo*.
- [1] DPCM 5 dicembre 1997, *Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti*.
- [2] UNI EN ISO 12354–3 (2002), *Acustica edilizia. Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti. Isolamento acustico dal rumore esterno*.
- [3] UNI TR 11175 (2005), *Acustica in edilizia. Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*.
- [4] L. Busa, G. Cellai, G. Raffellini, S. Secchi, *Stima semplificata dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di pareti massicce e di vetrate*, in atti del Congresso Nazionale AIA, giugno 2005, Ancona.
- [5] Hall R, Hopkins C.and Turner P., *The effect of wall ties in external cavity walls on the airborne sound insulation of solid separating walls*, ICA, Roma, 2001.
- [6] UNI 11296 (2009), *Acustica. Linee guida per la progettazione, la selezione, l'installazione e il collaudo dei sistemi per la mitigazione ai ricettori del rumore originato da infrastrutture di trasporto*.



Via Alessandro Torlonia, 15 - 00161 Roma
Tel. 06.44236926 - Fax 06.44237930
www.laterizio.it - andil@laterizio.it



www.lateriziofacciavista.it
©2009