

Isolamento acustico delle facciate: confronto normativo

Una campagna di verifiche sperimentali sul comportamento acustico in opera di facciate realizzate in muratura con blocchi di laterizio alleggerito dimostra la capacità di queste soluzioni tecniche di soddisfare i limiti fissati per le residenze dalla recente normativa sui requisiti acustici passivi degli edifici

Premessa Il benessere acustico all'interno degli edifici viene garantito dalla corretta progettazione e successiva verifica delle prestazioni dei vari componenti che costituiscono la facciata e le partizioni interne orizzontali e verticali. In particolare, per garantire protezione adeguata nei confronti dei rumori generati, sia dentro che fuori dall'edificio, devono essere soddisfatti requisiti minimi dei componenti in termini di:

- isolamento acustico delle facciate verso i rumori esterni;
- isolamento acustico delle partizioni interne orizzontali e verticali verso i rumori aerei interni;
- isolamento acustico delle partizioni interne orizzontali verso i rumori impattivi;
- isolamento acustico verso i rumori degli impianti.

Nel seguito viene trattato il solo requisito di isolamento acustico delle facciate verso i rumori esterni con specifico riferimento al D.P.C.M. 5.12.97 "Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti" [1] e ai metodi di previsione proposti dalla norma Pr EN 12354, "Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products" [2]. Vengono inoltre riportati alcuni risultati sperimentali ottenuti da misure in opera su facciata realizzata con pareti in laterizio e finestre di diversa estensione.

Riferimenti legislativi e normativi in Italia e in Europa

Il D.P.C.M. 5.12.97 "Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti" stabilisce che le prestazioni di isolamento acustico delle facciate vengano rilevate in opera secondo la norma UNI 10708-2 [3] misurando l'isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT}$ definito dalla relazione seguente:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$L_{1,2m}$ è il livello esterno di pressione sonora rilevato a 2 metri dalla facciata, prodotto dal rumore del traffico o da un altoparlante con incidenza del suono di 45°; L_2 è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente; T è il tempo di riverberazione dello stesso ambiente ricevente; T_0 il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 s.

I valori limite di $D_{2m,nT}$ indicati nel decreto e la norma UNI che ne stabilisce il metodo di misura in opera potranno costituire in futuro i riferimenti di capitolato per il requisito di isolamento acustico delle facciate e per il relativo collaudo.

Si è molto discusso, dopo l'emanazione del decreto, sui valori dei limiti, ritenuti da molti particolarmente elevati almeno rispetto a quanto è oggi ottenibile con le normali tecnologie edilizie impiegate nel nostro Paese.

In tabella 1 è riportato un confronto tra i valori limite dell'isolamento acustico di facciate, per l'edilizia residenziale, definiti dai documenti normativi di vari Paesi europei [4]. Il confronto diretto è complicato dal fatto che il parametro impiegato non è sempre lo stesso. In particolare, Germania e Austria utilizzano il potere fonoisolante risultante R'_{res} per specificare il valore limite per la prestazione acustica della facciata. Questa grandezza, che si ottiene dalla media pesata del potere fonoisolante dei vari componenti della facciata, corrisponde all'isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT}$, utilizzato dal decreto italiano, a meno di alcuni termini correttivi che tengono conto della dimensione dell'ambiente interno, della forma della facciata e della trasmissione sonora laterale. Per le usuali applicazioni i valori assunti dalle due grandezze differiscono poco, per cui si può procedere ad un confronto diretto tra le specifiche dei vari Paesi. Danimarca e Svezia utilizzano come strategia di controllo quella di imporre valori limite al livello

1 Valori limite per l'edilizia residenziale definiti da diversi documenti normativi di Paesi europei con riferimento alle grandezze di cui alla colonna 2

Paese	Grandezza	Sorgente disturbante	Valore limite	Note
Austria	$R'_{res, w}$	Livello sonoro all'esterno (dB (A))		Il limite è riferito al livello sonoro sul fronte della facciata (colonna 3).
		diurno	notturno	
		≤ 55	≤ 45	
		56 - 65	46 - 55	
		66 - 70	56 - 60	
		71 - 75	61 - 65	
		76 - 80	66 - 70	
81 - 85	71 - 75			
> 85	> 75			
63 dB				
Germania	$R'_{res, w}$	Livello sonoro all'esterno (dB (A))		Il limite è riferito al livello sonoro sul fronte della facciata (colonna 3). (*). Dipende da condizioni locali.
		≤ 55		
		56 - 60		
		61 - 65		
		66 - 70		
		71 - 75		
		76 - 80		
> 80				
30 dB				
30 dB				
35 dB				
40 dB				
45 dB				
50 dB				
(*) dB				
Francia	D_{nAT}	in presenza di strade o ferrovie	≥ 30 - 45 dB(A)	Dipende anche dalla categoria di strada o ferrovia (colonna 3).
		aeroporti	≥ 35 dB(A)	
Italia	$D_{2m,nT, w}$	non specificato	40 dB	Si applica indipendentemente dal livello sonoro esterno.
Danimarca	$L_{A,eq,24h}$	strade	≤ 30 dB	Il limite è espresso in termini di livello sonoro all'interno.
		ferrovie	≤ 30 dB	
Svezia	$L_{A,eq,24h}$	strade	≤ 30 dB	Livello sonoro all'interno (solo raccomandato).

sonoro equivalente in ambiente interno e la Francia adotta un parametro simile a quello utilizzato dal decreto italiano. Si possono evidenziare due principali elementi:

- i valori limite per la prestazione acustica della facciata definiti dalla maggioranza dei Paesi sono paragonabili o superiori a quelli definiti dal decreto italiano [1];
- alcuni Paesi specificano valori limite per gli edifici variabili in funzione del livello di rumorosità dell'ambiente esterno in cui questi si trovano (Austria e Germania).

Il fatto di differenziare il requisito di isolamento in funzione del clima acustico esterno contribuisce certamente ad evi-

tare sprechi di risorse per l'isolamento degli edifici quando questo non è necessario (è inutile imporre un isolamento di 48 dB ad una scuola o ad un ospedale che si trovano all'interno di un parco), ma può costituire un problema in vista di eventuali cambiamenti d'uso del territorio (una zona agricola silenziosa può essere attraversata da una nuova strada ad alto traffico che ne cambia completamente il clima acustico). Tuttavia un maggiore legame tra il requisito di isolamento acustico di facciata degli edifici e le zone acustiche in cui deve essere diviso il territorio comunale [5] poteva essere auspicato.

Metodo di calcolo della prestazione di isolamento acustico di facciata Il D.P.C.M. 5.12.97 "Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti" prescrive che la prestazione di isolamento acustico delle facciate venga misurata in opera. Nella fase di progettazione occorre pertanto disporre di un metodo di calcolo che consenta di prevedere tale prestazione in base alle caratteristiche acustiche dei singoli elementi che compongono la facciata e alle modalità del loro montaggio.

Il progetto di norma CEN Pr EN 12354, "Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products" [2] si propone proprio di definire tale metodo di calcolo descritto ampiamente in [6].

L'isolamento acustico $D_{2m,nT}$ viene calcolato a partire dal potere fonoisolante apparente di facciata R' , in base alla seguente relazione:

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \lg \left(\frac{V}{6T_0S} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

dove ΔL_{fs} è la differenza di livello sonoro in facciata (dB), V è il volume dell'ambiente ricevente (m^3), T_0 è il valore di riferimento del tempo di riverberazione (0,5 s) e S è la superficie della facciata, come vista dall'interno (m^2).

Il termine ΔL_{fs} dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro. La forma si individua su una sezione verticale della facciata (fig. 1) in cui le eventuali barriere (parapetti di balconi ecc.) sono indicate solo se a sezione piena; l'assorbimento α_w si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento sonoro come definito dalla norma UNI EN ISO 11654 [7]. Il valore massimo per α_w ($\geq 0,9$) si applica anche qualora la superficie riflettente sopra la facciata sia assente. La direzione dell'onda sonora incidente si caratterizza mediante l'altezza definita dalla intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano della facciata.

Il potere fonoisolante apparente di facciata R' viene calcolato a partire dalle prestazioni acustiche dei singoli elementi di fac-

ciata, in base alla seguente relazione:

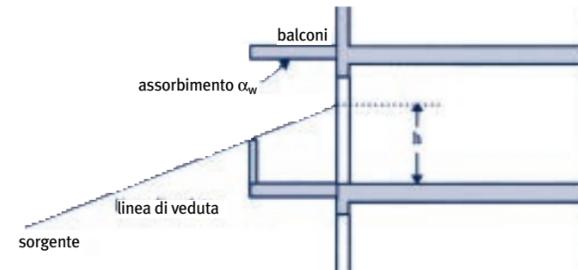
$$R' = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

in cui il primo termine è relativo all'isolamento degli n elementi "normali" di facciata; il secondo termine all'isolamento dei p elementi "piccoli" di facciata. Nello specifico, R_i è il potere fonoisolante dell'elemento "normale" di facciata i (dB), S_i è la superficie dell'elemento "normale" di facciata i (m^2), A_0 sono le unità di assorbimento di riferimento (10 m^2), $D_{n,e,i}$ è l'isolamento acustico normalizzato del "piccolo" elemento di facciata i (dB), calcolato o risultante da misure di laboratorio effettuate secondo la ISO 140-10 [8], S è la superficie complessiva della facciata (m^2), vista dall'interno (corrispondente alla somma della superficie di tutti gli elementi che compongono la facciata), K è la correzione relativa al contributo globale della trasmissione laterale. Il termine K può essere assunto pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

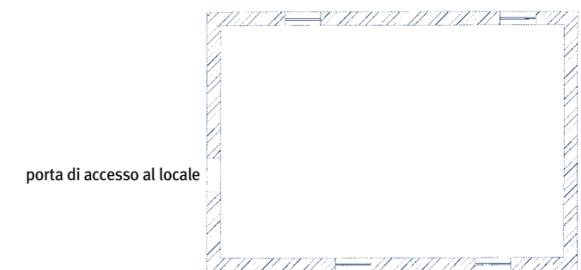
Per una valutazione più accurata della trasmissione laterale, si deve calcolare il potere fonoisolante R_{ij} relativo ad ogni percorso di trasmissione e quindi fare la somma energetica dei diversi valori di R . Il metodo di calcolo è descritto in [2, 9].

Verifiche sperimentali Le verifiche sperimentali, eseguite in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento nell'ambito di una convenzione con l'ANDIL, erano tese ad accertare il comportamento acustico in opera di una parete in blocchi di laterizio alleggerito, spesso 30 cm ed intonacata, in diverse configurazioni di prova: con nessuna, una o più finestre.

In particolare, l'edificio in cui sono state eseguite le prove ha caratteristiche dimensionali e strutturali tali da riprodurre situazioni di corrente realizzazione nell'edilizia residenziale italiana (fig. 2). In questo modo è stato possibile verificare l'attitudine della soluzione sperimentata a garantire, in opera, il requisito di isolamento acustico di facciata dettato dal DPCM 5 dicembre 1997 [1].



1. Individuazione di alcune grandezze da impiegare per il calcolo di ΔL_{fs} .



2. Pianta dell'edificio in cui sono state eseguite le misurazioni.

L'isolamento acustico della facciata è stato misurato nelle 3 seguenti configurazioni:

- A. con la facciata priva di finestre (ovvero con le aperture delle finestre tamponate in blocchi di laterizio alleggerito, uguali a quelli della restante parte della facciata, intonacati su entrambi i lati);
- B. con una sola finestra di dimensioni 1,2 x 0,9 m, dotata di telaio in legno e vetrocamera 4-15-4 mm, con triple guarnizioni nelle battute e con sigillante al silicone nell'attacco al muro;
- C. con 4 finestre uguali a quelle della configurazione B, di cui 2 poste sulla facciata in prova e 2 sulla facciata opposta a questa.

Dal confronto tra i risultati ottenuti nelle 3 configurazioni di prova (fig. 3), si possono trarre le seguenti considerazioni principali:

- l'indice di valutazione dell'isolamento acustico della parete senza finestre, pari a 48 dB, è in linea con le aspettative di prestazione acustica di un tale tipo di parete;
- la riduzione di isolamento acustico dovuta all'aggiunta dell'infisso è evidente soprattutto alle alte frequenze, come conseguenza dell'effetto della frequenza di coincidenza sui vetri da 4 mm e di eventuali fessurazioni presenti nell'attacco del telaio al muro; in termini di indice di valutazione dell'isolamento acustico, la prestazione della facciata è comunque pienamente soddisfacente e superiore al limite fissato dal DPCM 5.12.97 per l'edilizia residenziale (40 dB);
- la ulteriore riduzione di isolamento dovuta all'aggiunta delle altre finestre è di piccola entità e limitata alle frequenze medie

ed alte; la prestazione della facciata in questa configurazione è quindi altrettanto soddisfacente e superiore ai limiti di legge;

- la differenza tra i risultati ottenuti per le configurazioni B e C, non riprodotta in termini di indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$, viene invece evidenziata dai termini di adattamento spettrale C e C_{tr} ; (1) la facciata della configurazione C, se valutata in termini di livello sonoro in dB(A) e con rumore disturbante da traffico, offre infatti una protezione minore di circa 2 dB(A) rispetto alla facciata della configurazione B (tabella 3).

Confronto tra dati sperimentali e previsioni teoriche I risultati ottenuti dalla sperimentazione sono stati confrontati con le previsioni teoriche basate sul metodo di calcolo descritto e su alcuni dati sperimentali relativi ai singoli componenti della facciata. Sono state quindi impiegate le relazioni (2) e (3), utilizzando i valori di seguito riportati.

Il termine correttivo ΔL_{fs} (tabella 2), trattandosi di una facciata piana, è stato posto pari a 0 dB. Il volume V e la superficie complessiva S sono rispettivamente 154 m^3 e $61,3 \text{ m}^2$ (considerando l'insieme delle tre facciate esposte alle onde sonore dirette). Al secondo termine di sommatoria della formula (3) è stato attribuito valore nullo ($K = 0$), trattandosi di elementi laterali massicci e di dimensione limitata.

Relativamente alla valutazione previsionale per la configurazione A (senza finestre), la formula (2) si riduce pertanto alla seguente:

$$D_{2m,nT} = R_{(muro)} - 0,8 \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

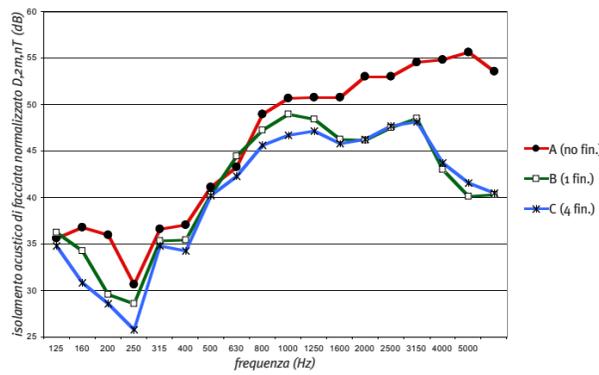
dove $R_{(muro)}$ è il potere fonoisolante della parete in blocchi di laterizio alleggerito, valutato in laboratorio o per via teorica, in bande di 1/3 di ottava.

Relativamente alle configurazioni B e C, la formula (2) assume invece la seguente forma:

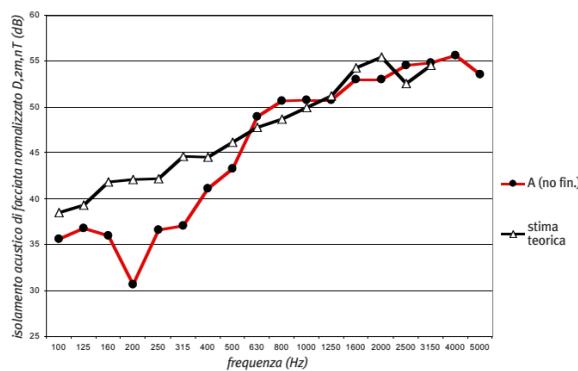
$$D_{2m,nT} = -10 \lg \left(\left(\frac{S_{(muro)}}{S_{(tot)}} 10^{\frac{-R_{(muro)}}{10}} \right) + \left(\frac{S_{(finestre)}}{S_{(tot)}} 10^{\frac{-R_{(finestre)}}{10}} \right) \right) - 0,8 \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

2 Determinazione del valore della differenza ΔL_{fs} , in funzione della forma della facciata [2]

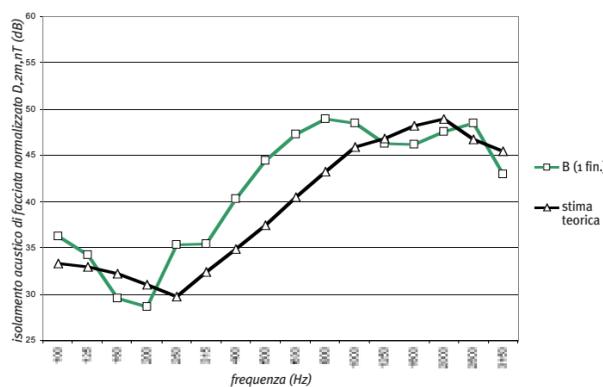
	facciata piana	galleria-portico			galleria-portico			galleria-portico			galleria-portico			balcone			balcone			balcone			terrazza			terrazza			
α_w	non si applica	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	
$h < 1,5 \text{ m}$	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	non si applica	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1	3	3	3	3	3	3
$1,5 < h < 2,5 \text{ m}$	0	non si applica			-1	0	2	0	1	3	non si applica	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7	6	7	7
$h > 2,5 \text{ m}$	0	non si applica			1	1	2	2	2	3	3	4	6	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7	



3. Andamento dell'isolamento acustico ottenuto nelle tre configurazioni di prova della facciata.



4. Confronto tra l'isolamento acustico di facciata nella configurazione di prova A ($D_{2m,nT,w} = 48$ dB) e l'isolamento acustico di facciata dedotto da dati sperimentali di laboratorio per una parete in blocchi di laterizio alleggerito ed intonacati ($D_{2m,nT,w} = 50,5$ dB) [12].



5. Confronto tra l'isolamento acustico di facciata nella configurazione di prova B ($D_{2m,nT,w} = 44$ dB) e l'isolamento acustico dedotto da dati sperimentali di laboratorio per una parete in blocchi di laterizio alleggerito ed intonacati ed un vetrocamera 4 - 15 - 4 mm ($D_{2m,nT,w} = 42$ dB) [2, 12].

dove $R_{(finestre)}$ è il potere fonoisolante delle finestre, valutato in laboratorio, in bande di 1/3 di ottava, $S_{(muro)}$ è la superficie del muro di facciata, dedotte le finestre, $S_{(tot)}$ è la superficie totale di facciata (61,3 m²), $S_{(finestre)}$ è la superficie complessiva delle finestre (1,1 m² nella configurazione B e 2,2 m² nella configurazione C, considerando solo le finestre direttamente esposte alle onde sonore).

Il potere fonoisolante della muratura in blocchi di laterizio alleggerito è stato posto uguale a quello provato nell'ambito della convenzione tra ANDIL ed Università di Parma [12], per una parete analoga, con blocchi spessi 25 cm, intonacati su entrambi i lati con 1,5 cm di intonaco tipo M3.

Il potere fonoisolante della finestra con vetrocamera 4 - 15 - 4 mm è stato ripreso, in assenza di dati sperimentali specifici, dalla tabella B1 di [2] (dati in ottave).

I risultati delle valutazioni previsionali sono riportati nei grafici delle figure 4 e 5.

Dal grafico di figura 4, relativo al confronto teorico - sperimentale per la configurazione A, si nota un buon accordo dei dati alle frequenze medio alte, mentre a bassa frequenza il dato sperimentale evidenzia valori decisamente inferiori a quello teorico (da dati di laboratorio).

In particolare, il calo di isolamento alla frequenza di 200 Hz, dovuto alla coincidenza, non è evidente nella valutazione teorica (da dati di laboratorio), che mostra invece una crescita quasi lineare dell'isolamento.

La frequenza critica di un pannello è funzione della sua rigidità flessionale e massa superficiale e dell'angolo di incidenza delle onde sonore.

Nei due casi esaminati l'angolo di incidenza è a 45° per la misura in opera e casuale (campo sonoro diffuso) per la misura di laboratorio.

Pertanto, la frequenza di coincidenza assume nei due casi valori differenti e probabilmente ha anche un effetto diverso sulla trasmissione sonora.

In termini di indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w}$), la differenza tra la stima teorica e quella sperimentale è 2,5 dB.

Dal grafico di figura 5, relativo alla configurazione B, si nota un buon accordo tra dati teorici e sperimentali alle basse ed alle alte frequenze.

In particolare, i dati sperimentali rivelano un maggiore isolamento alle medie frequenze, probabilmente dovuto alla discordanza tra i dati impiegati per le finestre [2], nella stima teorica, e prestazione effettiva.

Si nota un buon accordo in corrispondenza della frequenza critica del vetro da 4 mm (3150 - 4000 Hz) ed in corrispondenza di quella della muratura (200 Hz).

In termini di indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata, la differenza tra le due valutazioni è 2 dB.

Infine, è stata eseguita una stima teorica relativa alle due configurazioni anche in termini del solo indice di valuta-

zione, a partire dal valore dedotto dalla seguente relazione per la prestazione acustica della muratura, in funzione della sua massa:

$$Rw = 16,9 \lg(m') + 3,6 \text{ (dB)} \quad (6)$$

dove m' è la massa superficiale della muratura, assunta pari a 480 kg/m².

La relazione è stata dedotta per correlazione tra dati sperimentali validi per pareti in laterizio alleggerito [12].

Il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante per la vetrata è stato ripreso da [2] e posto uguale a 32 dB. I risultati della valutazione sono riassunti nella tabella 4.

Conclusioni L'analisi condotta pone in evidenza che i limiti definiti dal decreto italiano [1] per l'isolamento acustico delle facciate sono in linea con la maggior parte dei documenti normativi europei.

La scelta del parametro di verifica ($D_{2m,nT,w}$) appare corretta mentre può risultare problematico il non aver posto in relazione il livello di specifica con la rumorosità dell'ambiente esterno.

Le verifiche sperimentali eseguite, supportate dall'analisi teorica, evidenziano che il limite di 40 dB di isolamento per le facciate può essere soddisfatto con pareti in laterizio alleggerito attualmente sul mercato, se la scelta e la posa in opera degli infissi è eseguita a regola d'arte.

Dai risultati sperimentali ottenuti si possono trarre, inoltre, le seguenti ulteriori considerazioni specifiche:

- i valori rilevati dell'isolamento acustico di facciata sono pienamente soddisfacenti rispetto al limite stabilito dal DPCM 5.12.97 per l'edilizia residenziale, sia per una sola finestra che per diverse;
- la soluzione sperimentata non è invece in grado di garantire il rispetto del limite di isolamento acustico in facciata per gli edifici scolastici; in questa tipologia di edifici, la presenza di superfici vetrate di estensione generalmente superiore a quella provata riduce probabilmente l'isolamento acustico di facciata, rendendo ancora più problematico il soddisfacimento del limite di legge;

- i termini correttivi definiti dalla UNI EN ISO 717-1 per rumore rosa (C) e per rumore da traffico (C_{tr}) assumono valori negativi elevati nelle due configurazioni con finestre; in particolare, la configurazione con 4 finestre è caratterizzata da un valore di C_{tr} di -6 dB; ciò significa che la prestazione effettiva della facciata in presenza di rumore da traffico risulta penalizzata di circa 6 dB ($D_{2m,nT(A)} = 38$ dB).

Tale problema appare legato principalmente alla ridotta prestazione della muratura in corrispondenza della sua frequenza critica ($D_{2m,nT}$ a 200 Hz \approx 31 dB, nella configurazione senza finestre; \approx 26 dB, nella configurazione con 4 finestre). ¶

3 Confronto tra i risultati ottenuti nelle tre configurazioni di prova, in termini di indici di valutazione dell'isolamento acustico e di termini di adattamento spettrale. La somma $D_{2m,nT,w} + C_{tr}$ fornisce l'isolamento acustico normalizzato in dB(A) in presenza di rumore da traffico come sorgente disturbante

Configurazione di prova	$D_{2m,nT,w}$	C	C_{tr}	$D_{2m,nT,w} + C_{tr}$
Facciata cieca	48	-2	-5	43
Facciata con 1 finestra	44	-1	-4	40
Facciata con 4 finestre	44	-2	-6	38

4 Confronto tra i risultati della stima teorica e risultati sperimentali, in termini di indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$

	Configurazione		
	A	B	C
Stima teorica ($D_{2m,nT,w}$)	48	43,5	41
Misura in opera ($D_{2m,nT,w}$)	48	44	44

Nota

1. I termini di adattamento spettrale sono definiti dalla norma UNI EN ISO 717-1 [10]. Il significato fisico dei termini ed il metodo di calcolo sono esposti in [11].

Riferimenti bibliografici

- [1] D.P.C.M. 5/12/97 *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, G.U. 297, 22/12/97.
- [2] Pr EN 12354, *Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products*, CEN, 1999.
- [3] UNI 10708-2, *Acustica - misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio; misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate*.
- [4] Rasmussen B., *Implementation of the new ISO 717 building acoustic rating methods in Europe*, NKB Committee and Work reports, 1996:04 E.
- [5] D.P.C.M. 14/11/97, *Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*, G.U. 280, 1/12/97.
- [6] Fausti P., Semprini G., Secchi S., "Metodi di previsione delle prestazioni acustiche di edifici: isolamento degli edifici dai rumori esterni ed isolamento dell'esterno dai rumori prodotti all'interno degli edifici", in Atti del Convegno Nazionale *Edilizia ed Ambiente*, Trento, 18-20 febbraio 1998.
- [7] UNI EN ISO 11654, *Acustica - indice di valutazione dell'assorbimento acustico*.
- [8] ISO 140-10, *Acoustics - measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements, part 10: laboratory measurements of airborne sound insulation of small building elements*.
- [9] Garai M., Secchi S., "Metodi di previsione delle prestazioni acustiche degli edifici: isolamento all'interno degli edifici", in Atti del Convegno Nazionale *Edilizia ed Ambiente*, Trento, 18-20 febbraio 1998.
- [10] UNI EN ISO 717-1, *Acustica - valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio; isolamento acustico per via aerea*.
- [11] Pompoli R., Secchi S., "Dalla prestazione acustica in laboratorio a quella in opera: confronto tra pareti in laterizio e pareti in lastre di gesso rivestito", in *Costruire in Laterizio*, n. 66, 1998.
- [12] Pompoli R., Fausti P., "Isolamento acustico di strutture divisorie in laterizio", in *Costruire in Laterizio*, n. 52-53, 1996.

Lavoro finanziato nell'ambito del progetto finalizzato sui materiali speciali per tecnologie avanzate (contratto n. 97.00932.PF34).