



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## FLORE

# Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Confronto tra prestazioni acustiche in laboratorio ed in opera di divisori interni in laterizio**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Confronto tra prestazioni acustiche in laboratorio ed in opera di divisori interni in laterizio / S. SECCHI. - In: RIVISTA ITALIANA DI ACUSTICA. - ISSN 0393-1110. - STAMPA. - 27:(2003), pp. 93-103.

*Availability:*

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/222286> of the repository was last updated on

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

# CONFRONTO TRA PRESTAZIONI ACUSTICHE IN LABORATORIO ED IN OPERA DI DIVISORI INTERNI IN LATERIZIO

S. Secchi

Dipartimento Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini", Università degli Studi di Firenze  
Via San Niccolò 89/a, 50125 Firenze

*L'articolo riporta alcuni significativi risultati di una ricerca inerente la verifica delle prestazioni acustiche di pareti in laterizio normale ed alleggerito, svolta in collaborazione tra l'Associazione Nazionale degli Industriali del Laterizio (ANDIL) e le Università di Ferrara, Padova e Trento.*

*Scopo della ricerca è stato quello di valutare la prestazione acustica delle più comuni tipologie di pareti in elementi di laterizio, sia con prove di laboratorio, senza trasmissione sonora laterale, sia con prove che riproducessero le reali condizioni di posa in opera negli edifici. Sono state effettuate misure, presso il laboratorio di acustica del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova e presso un laboratorio sperimentale realizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento, del potere fonoisolante di oltre quindici differenti pareti in elementi di laterizio.*

*I risultati della ricerca, riportati in parte nella rivista Costruire in Laterizio [1], hanno permesso di verificare l'affidabilità del metodo di stima delle prestazioni acustiche degli edifici, definito dalla recente norma EN 12354-1 [2], ed hanno fornito un utile contributo alla comprensione della modalità di trasmissione sonora per via laterale tra ambienti adiacenti.*

## COMPARISON BETWEEN IN SITU AND LABORATORY ACOUSTICAL PERFORMANCES OF INTERNAL BRICK WALLS

*The research dealt with the acoustical performances of normal and lightened brick walls and was carried out as a collaboration between the National Association of Brick Manufacturers (ANDIL) and the Universities of Ferrara, Padova and Trento.*

*The main aim of the research was to evaluate the acoustical performances of the more common Italian brick walls, both with tests made in a laboratory with suppressed flanking transmission, and with tests made in a laboratory that reproduces typical real building constructions. The Sound Reduction Index of more than fifteen brick walls was measured in the acoustical laboratory of the University of Padova and in a laboratory realized for that purpose at the University of Trento. The results of the research, partly reported in the Italian review "Costruire in laterizio" [1], has validated the model for the estimation of the acoustical properties of buildings, defined by the recent norm EN 12354-1 [2], and has given an important contribution to the interpretation of lateral sound transmission between adjoining rooms.*



### 1. Introduzione

È noto come il maggior problema introdotto dal decreto 5 dicembre 1997 [3] sia la necessità di certificare, già in fase di richiesta di concessione edilizia, le prestazioni acustiche che caratterizzeranno l'edificio a lavori ultimati. Vi sono, infatti, molteplici fattori che possono avere un'influenza determinante sulla prestazione acustica in opera di un divisorio, quali ad esempio il grado di accuratezza con cui vengono realizzati i giunti di malta orizzontali e verticali tra i blocchi, lo spessore dell'intonaco, la presenza di elementi di discontinuità nella struttura del divisorio. Oltre a questi fattori, che possono difficilmente essere trattati in maniera analitica a livello progettuale, la prestazione in opera di un divisorio è sempre penalizzata dalla trasmissione

sonora attraverso le strutture laterali dei due ambienti confinanti. L'entità della riduzione del potere fonoisolante dovuta alle trasmissioni laterali può essere stimata con un accettabile margine di incertezza mediante il metodo di calcolo definito dalla recente norma EN 12354-1 [2, 4]. Poiché il metodo di calcolo definito da questa norma è stato elaborato sulla base di esperienze sperimentali condotte prevalentemente su tipologie di partizioni in uso nei paesi del Nord Europa, è stata promossa una ricerca in collaborazione tra l'Associazione Nazionale degli Industriali del Laterizio (ANDIL) e le Università di Ferrara, Padova e Trento, avente lo scopo di verificarne l'affidabilità con specifico riferimento alle pareti in elementi di laterizio, particolarmente utilizzate nel nostro contesto costruttivo.

I risultati della ricerca, di seguito illustrati, hanno permesso di confermare la buona affidabilità del metodo di calcolo della normativa europea per la stima delle prestazioni acustiche in opera dei divisori in laterizio.

## 2. I laboratori di prova

Per esaminare la differenza tra la prestazione di laboratorio e quella in opera dei divisori interni, sono state realizzate e provate alcune tipologie di pareti particolarmente diffuse nel nostro paese. Le prove sono state eseguite presso il laboratorio del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, che rispetta gli standard internazionali [6] e quindi non presenta trasmissione sonora laterale tra gli ambienti di prova, e presso un laboratorio appositamente adattato dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento, in grado di riprodurre le condizioni di un edificio reale con presenza di significativa trasmissione sonora laterale tra i due ambienti di prova (Fig. 1).

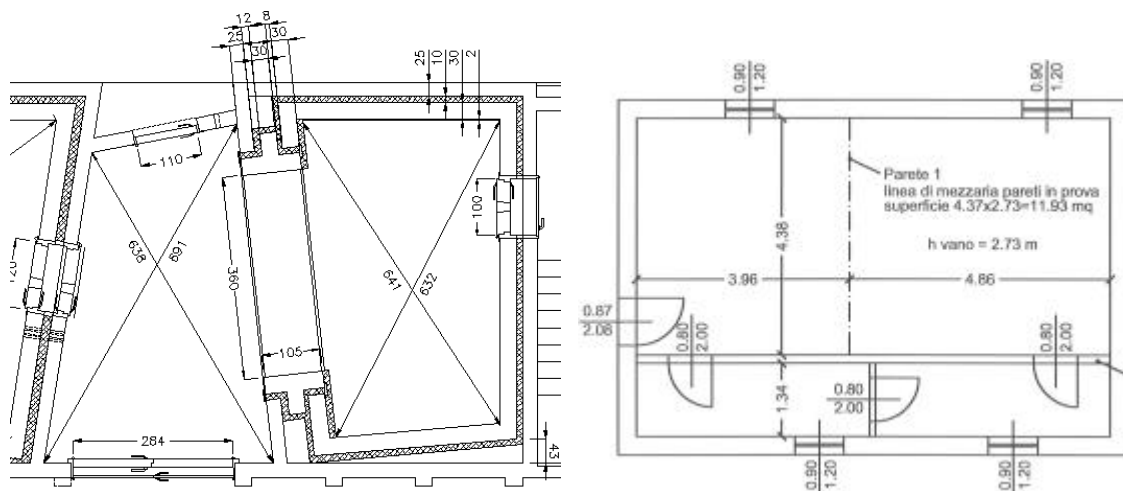


Fig. 1 - Pianta dei laboratori delle Università di Padova (sinistra) e Trento (destra)

Tipicamente, la verifica delle prestazioni acustiche si esegue per le partizioni tra unità immobiliari adiacenti in edifici residenziali. In tale situazione si ha, in genere, una parete laterale di facciata che forma in pianta un nodo a T con la partizione, ed una parete laterale interna che separa i due ambienti in prova da altri ambienti delle medesime unità immobiliari. Quest'ultima, che solitamente è costituita da un tramezzo leggero, forma in pianta un nodo a croce con la partizione. Si hanno, inoltre, due solai (pavimento e soffitto) che formano nodi a croce o a T con la partizione (entrambi a croce se ci si trova ad un piano intermedio dell'edificio, a T in corrispondenza del solaio a terra e in copertura).

Nel laboratorio di Trento, per esigenze costruttive, sono stati invece realizzati solo nodi rigidi a T tra la

Nei due laboratori sono state provate oltre quindici differenti pareti in elementi di laterizio, alcune delle quali realizzate esattamente con gli stessi materiali e con la stessa procedura di posa in opera. Di queste è stato quindi possibile confrontare la diversa prestazione dovuta alla presenza o meno di trasmissione sonora laterale.

La descrizione dei due laboratori (Fig. 1) è riportata in [1] e in [5]; in particolare, il laboratorio di Trento è un edificio a due piani con struttura portante in cemento armato e tamponature in blocchi di laterizio alleggerito spessi 30 cm ed intonacati, con solai in laterocemento con blocchi alti 20 cm e soletta da 4 cm. Per effettuare le prove acustiche il primo piano del laboratorio è stato modificato rispetto alla sua configurazione originaria, suddividendo lo spazio interno in tre zone per simulare la presenza di due distinti locali collegati tramite un corridoio. La parete che separa il corridoio dalle due stanze interne è stata realizzata con mattoni pieni di tipo UNI intonacati su ambo i lati, mentre la parete che separa i due locali è costituita dal divisorio da testare, che viene demolito e ricostruito per ogni prova.

partizione e le strutture laterali. Questo risulta acusticamente penalizzante per le prestazioni delle pareti testate, portando ad ottenere valori del potere fonoisolante apparente inferiori a quelli rilevabili in molte situazioni reali. I nodi a T, infatti, trasmettono più energia per via laterale di quelli a croce, a parità di altre condizioni. Per questo motivo la massa superficiale del tramezzo laterale è stata aumentata rispetto ai valori tipicamente riscontrabili nella realtà realizzando una parete in mattoni pieni invece di un comune tramezzo in mattoni forati, in grado di trasmettere meno energia per via laterale. In tale parete sono stati ricavati due vani porta per garantire l'accesso alle stanze di prova dal corridoio (vano tecnico). Poiché il corridoio, attraverso le due porte, poteva costituire un significativo percorso di

trasmissione aerea del suono proveniente dall'ambiente disturbante, è stata inserita un'ulteriore porta allineata con la parete in prova (Fig. 1). Per non avere influenza sulla trasmissione delle vibrazioni attraverso il giunto tra partizione in prova ed il tramezzo che contiene la porta, questo è stato realizzato in pannelli leggeri.

### 3. Le pareti provate

Le pareti provate nei due laboratori, realizzate con i soliti materiali e la solita metodologia di posa in opera ed i cui risultati risultano quindi confrontabili, sono le seguenti.

- A. Parete in blocchi di laterizio alleggerito, spessi 18 cm, con fori verticali riempiti di malta, intonacata su ambo i lati con 1.5 cm di intonaco.
- B. Parete in blocchi in laterizio alveolato ad incastro ad H, spessi 25 cm, con fori verticali riempiti di malta, intonacata su ambo i lati con 1.5 cm di intonaco.
- C. Parete in blocchi in laterizio alveolato ad incastro ad H, spessi 30 cm, con fori verticali riempiti di malta, intonacata su entrambi i lati con 1,5 cm di intonaco.
- D. Parete in blocchi in laterizio alveolato ad incastro, spessi 42 cm, intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di intonaco.
- E. Parete doppia realizzata con blocchi in laterizio alveolato a forma di T, spessi 17 cm, intercapedine da 3 cm vuota e tramezza in blocchi di laterizio alveolato spessi 8 cm, intonacata sulle facce esterne con 1,5 cm di intonaco.

### 4. Calcolo della prestazione acustica in opera dei divisorii

Vengono qui richiamate le espressioni più importanti del metodo di calcolo della norma europea [2], perché necessarie per la comprensione dei risultati della ricerca. Per la descrizione dettagliata del metodo si rimanda al riferimento [4] in bibliografia.

In particolare, la formula (1) consente il calcolo del potere fonoisolante apparente (in opera),  $R'$ , di un divisorio, a partire dai valori del potere fonoisolante del divisorio stesso ( $R_{Dd}$ ), misurato in laboratorio senza trasmissioni laterali, e del potere fonoisolante relativo ai diversi percorsi di trasmissione strutturale ( $R_{ij}$ ), calcolato secondo la formula (2).

$$R' = -10 \lg \left( 10^{-\frac{R_{Dd}}{10}} + \sum 10^{-\frac{R_{ij}}{10}} \right) \text{ (dB)} \quad (1)$$

La trasmissione laterale strutturale, nei casi più correnti, riguarda dodici percorsi diversi per ogni divisorio tra due ambienti (tre percorsi per ciascuno dei quattro giunti laterali, Fig. 2). Il potere

fonoisolante  $R_{ij}$ , relativo a questi percorsi di trasmissione laterale, può essere ottenuto in funzione del potere fonoisolante delle due strutture interessate ( $R_i$  e  $R_j$ ), dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  caratteristico del tipo di giunto, e delle dimensioni principali, mediante la formula (2):

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S}{l_0 l_f} \text{ (dB)} \quad (2)$$

dove  $l$  è la lunghezza del giunto tra le due strutture  $i$  e  $j$  (m),  $l_0$  la lunghezza di riferimento (1 m) ed  $S$  la superficie della partizione ( $m^2$ ).

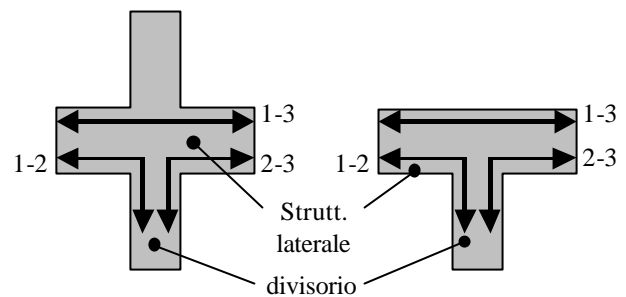


Fig. 2 - Indicazione dei percorsi di trasmissione sonora laterale nel giunto tra un divisorio e le sue strutture laterali.

L'indice di riduzione delle vibrazioni,  $K_{ij}$ , è una grandezza funzione dell'estensione del giunto e della differenza di livello medio di vibrazione che si viene a creare tra le due strutture esaminate quando una sola delle due è direttamente sollecitata:

$$K_{ij} = \frac{D_{vij} + D_{vji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \text{ (dB)} \quad (3)$$

dove  $D_{vij}$  e  $D_{vji}$  sono rispettivamente la differenza tra i livelli medi di velocità di vibrazione che si stabiliscono nelle due strutture (dB), quando si sollecita in un caso la struttura  $i$  e nell'altro la  $j$ ,  $l_{ij}$  è la lunghezza del giunto (m),  $a_i$  e  $a_j$  sono le lunghezze di assorbimento equivalente delle strutture laterali  $i$  e  $j$  (m), date da:

$$a_i = \frac{2,2 p^2 S_i}{c_0 T_{si}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \text{ (m)} \quad (4)$$

con  $T_{si}$  tempo di riverberazione strutturale della struttura  $i$  (s),  $f_{ref}$  frequenza di riferimento (1000 Hz) e  $c_0$  velocità del suono nell'aria (m/s).

Il valore dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  può essere dedotto da misurazioni, sulla base delle formule (3) e (4), oppure da stima empirica, in base al metodo descritto nell'appendice E della norma EN 12354-1 [2]. In particolare, tale metodo permette di calcolare l'indice  $K_{ij}$ , per giunti tra strutture omogenee che si mantengono invariate oltre la linea di separazione tra i due ambienti, in funzione di  $M$ ,

logaritmo in base 10 del rapporto fra le masse superficiali delle pareti collegate ad angolo retto fra di loro, e del tipo di giunto:

$$M = \lg \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

dove  $m'_i$  è il valore della massa superficiale della struttura  $i$  nel percorso di trasmissione  $ij$  e  $m'_{\perp i}$  è il valore della massa superficiale della struttura perpendicolare alla  $i$ .

Indicando dunque con "12" e con "23" i percorsi ad angolo retto tra il divisorio e la struttura laterale e con "13" il percorso longitudinale tra le due strutture laterali (Fig. 2), si ha:

- per giunti rigidi a croce:  
 $K_{13} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2$ ,  
 $K_{12} = K_{23} = 8,7 + 5,7 M^2$ ,
- per giunti rigidi a T:  
 $K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$ ,  
 $K_{12} = K_{23} = 5,7 + 5,7 M^2$ .

Ai fini della ricerca, l'indice di riduzione delle vibrazioni per ciascuno dei dodici percorsi di trasmissione strutturale relativi ad ogni parete provata è stato dedotto sia da misurazioni che da stima empirica. I relativi risultati sono riassunti e confrontati nel paragrafo che segue.

La misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  può essere effettuata secondo diverse metodiche previste dal progetto di norma ISO/CD 10848, in discussione dal gruppo di lavoro 6 del comitato tecnico 126 del CEN [7]. In particolare, sono previsti due metodi di misura diretta dell'indice  $K_{ij}$ , di cui uno mediante eccitazione strutturale delle partizioni ed uno mediante eccitazione aerea, ed un metodo indiretto, basato sulla sola eccitazione per via aerea delle strutture. Nell'ambito della ricerca è stato impiegato il metodo diretto con sollecitazione strutturale delle partizioni, raccomandato dal progetto di norma [7] per la valutazione dell'indice  $K_{ij}$  nel caso di giunzioni strutturali tra elementi massicci.

Per la misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni vi sono specifiche raccomandazioni relative sia al numero di punti minimo per la misura della velocità di vibrazione e per la sollecitazione delle strutture che alle distanze minime tra i suddetti punti e tra questi ed i bordi delle partizioni. Per la sollecitazione delle strutture può essere impiegata una sorgente stazionaria o transiente (impulsiva). Nel caso in esame è stato impiegato un martello con testa in plastica rigida (segnale impulsivo).

La valutazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni, relativo ad uno specifico percorso di trasmissione sonora, consiste nella rilevazione della differenza media di velocità di vibrazione delle due strutture (pareti o solai) coinvolte dal percorso di trasmissione, misurata sollecitando prima una struttura

e poi l'altra (formula (3)). Per ogni struttura è quindi necessario determinare il tempo di riverberazione strutturale secondo la metodologia descritta dalla appendice E della norma ISO 140-3 [6].

## 5. Risultati sperimentali e teorici relativi all'indice di riduzione delle vibrazioni

Per la valutazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni delle partizioni esaminate sono stati impiegati un analizzatore di spettro a quattro canali e tre accelerometri con relativi amplificatori di carica.

Su ogni struttura (partizione in prova o pareti e solai laterali) sono stati individuati tre punti di rilievo della velocità e quattro punti di sollecitazione, ottenendo quindi 12 livelli di velocità per ciascuno dei 12 percorsi di trasmissione laterale, per un totale di 144 misurazioni accelerometriche impulsive per ogni divisorio in prova. Le postazioni di misura e di sollecitazione sono state mantenute fisse per tutta la campagna di misurazioni. Per le partizioni doppie sono stati necessari ulteriori punti di misurazione e di sollecitazione strutturale.

Sia per le misure di differenza di livello di velocità che per quelle di riverbero strutturale, gli accelerometri sono stati fissati in modo rigido alle partizioni mediante tasselli di metallo.

La Tab. 1 riporta il confronto tra i valori dell'indice di riduzione delle vibrazioni ottenuti sperimentalmente e teoricamente per i 12 percorsi di trasmissione sonora laterale. Il valore sperimentale è stato ottenuto come media tra i valori relativi alle bande di 1/3 di ottava comprese tra 200 e 1000 Hz. In tale intervallo di frequenze, l'indice di riduzione delle vibrazioni mostra tipicamente una minore dipendenza dalla frequenza.

Infatti, mentre la stima teorica semplificata fornisce, nel caso di giunzioni rigide tra strutture massicce, valori dell'indice  $K_{ij}$  indipendenti dalla frequenza, la misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni fornisce valori dipendenti dalla frequenza.

Per la raccolta dei dati e la successiva presentazione dei risultati è stata impiegata una codificazione numerica delle strutture laterali. In particolare, i numeri pari indicano i solai delle due camere (2, 6 = pavimenti; 4, 8 = soffitti), mentre quelli dispari le pareti laterali (1, 5 = muratura di facciata, 3, 7 = tramezzo interno). La partizione, diversa per ogni prova, è indicata con la lettera S.

In generale, la corrispondenza tra dato misurato e stima teorica risulta migliore per la pareti monostrato. Per le pareti a doppio strato con intercapedine studiate nella ricerca, il metodo di stima empirica ha infatti presentato un grado di affidabilità ridotto. Una variante del metodo, valida per pareti a doppio strato con intercapedine, è descritta in [8].

Per determinati percorsi di trasmissione il valore misurato è molto differente da quello teorico. Ciò indica che il giunto realizzato in opera si comporta in

modo molto differente rispetto alle ipotesi della stima teorica.

Tab. 1 - Confronto tra risultati sperimentali e teorici dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  per le cinque partizioni provate

$K_{ij}$	Parete							
	A		B = C		D		E	
	Misurato	Teorico	Misurato	Teorico	Misurato	Teorico	Misurato	Teorico
K3-S	8,1	5,8	8,8	5,7	7,7	6,0	9,5	5,7
KS-7	6,4	5,8	7,1	5,7	7,9	6,0	-3,5	5,7
K3-7	4,9	7,3	5,8	6,2	2,9	9,1	-0,2	5,7
K1-S	11,0	6,2	8,1	6,5	10,9	5,9	14,5	6,7
KS-5	12,0	6,2	10,1	6,5	11,2	5,9	14,2	6,7
K1-5	3,3	2,0	5,8	1,2	4,2	3,3	4,2	0,9
K2-S	7,0	5,8	5,4	5,7	5,5	6,0	10,7	5,7
KS-6	5,9	5,8	4,1	5,7	5,2	6,0	10,2	5,7
K2-6	1,0	7,4	1,5	6,3	1,4	9,3	1,6	5,8
K4-S	13,2	5,8	10,5	5,7	10,7	6,0	12,3	5,7
KS-8	12,5	5,8	11,0	5,7	11,1	6,0	11,6	5,7
K4-8	-2,4	7,4	-1,9	6,3	-2,0	9,3	-0,9	5,8

In particolare, il giunto tra le strutture 4 (soffitto camera sorgente), S (partizione) e 8 (soffitto camera ricevente) presenta valori misurati molto diversi da quelli stimati per i tre percorsi di trasmissione sonora (4 - S; S - 8; 4 - 8) che lo interessano (Fig. 3). L'indice di riduzione delle vibrazioni relativo al percorso 4 - 8 è risultato sempre negativo per tutte le partizioni provate, evidenziando una scostamento compreso tra 5 e 10 dB rispetto alla previsione teorica. Ciò significa che l'entità della trasmissione sonora strutturale lungo questo percorso (dal soffitto della camera sorgente a quello della ricevente) è molto

superiore alle aspettative. Questo è probabilmente dovuto al fatto che, non essendosi potuto creare un giunto completamente rigido tra la partizione ed il solaio in corrispondenza dell'attacco al soffitto, per la difficoltà a riempire il giunto con malta e per la mancata compenetrazione tra le due strutture, la vibrazione della struttura laterale si può trasmettere quasi inalterata dal locale sorgente a quello ricevente. Per lo stesso motivo, l'indice di riduzione delle vibrazioni misurato per i percorsi 4 - S (solaio - partizione) e S - 8 (partizione - solaio) mostra valori molto superiori rispetto alla stima teorica.

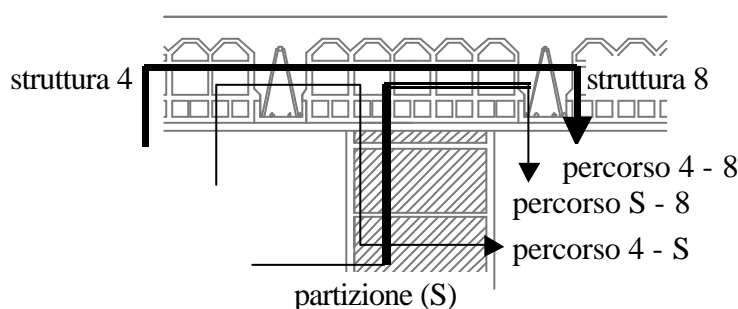


Fig. 3 - I tre percorsi strutturali nel caso del giunto tra la partizione ed il solaio di copertura, nel laboratorio di Trento

Analogamente al giunto tra la partizione ed il solaio di copertura, anche quello tra la partizione ed il solaio che costituisce il pavimento evidenzia forti differenze tra i valori misurati e quelli stimati dell'indice di riduzione delle vibrazioni. Anche in questo caso, si può ritenere che l'assenza di

compenetrazione tra la partizione ed il solaio faciliti la trasmissione sonora strutturale lungo il percorso longitudinale 2 - 6 (dal pavimento del locale sorgente a quello del locale ricevente) ed ostacoli gli altri due percorsi di trasmissione (2 - S e S - 6).

La stima è caratterizzata invece da maggiore affidabilità per quanto riguarda il giunto tra la partizione e la struttura laterale 3 – 7 (tramezzo divisorio in mattoni pieni spessi 12 cm), dove nella realizzazione della parete in prova è stato sempre rimosso l'intonaco del divisorio laterale per garantire una migliore ammorsatura tra le pareti.

In generale è necessario sottolineare come l'edificio in cui sono state eseguite le misurazioni fosse caratterizzato da struttura portante a pilastri e travi in cemento armato; ciò introduce un elemento di discontinuità strutturale tra le partizioni del locale sorgente e quelle del locale ricevente, rendendo meno affidabile la valutazione teorica.

Per quanto attiene al confronto tra i risultati sperimentali e quelli teorici in funzione della frequenza, non riportati per esigenze di brevità, le maggiori differenze sono state ottenute alle alte ed alle basse frequenze di analisi

Per meglio comprendere l'influenza dell'indice di riduzione delle vibrazioni sulla trasmissione sonora globale tra i due ambienti adiacenti, nei grafici di Fig. 4 sono riportati gli andamenti in funzione della frequenza del potere fonoisolante relativo ai diversi percorsi di trasmissione sonora laterale ( $R_{ij}$ , per 12 percorsi) e diretta ( $R_d$ ).

Il potere fonoisolante  $R_{ij}$ , relativo al generico percorso di trasmissione  $ij$ , è dato dal rapporto tra la potenza sonora irradiata dalla struttura  $j$  dell'ambiente ricevente, per effetto della potenza sonora che incide sulla struttura  $i$  dell'ambiente sorgente, e la potenza sonora incidente sulla partizione. In pratica, tanto minore è il potere fonoisolante relativo ad un determinato percorso di trasmissione, tanto maggiore è la quantità di energia trasmessa attraverso quel percorso.

In genere, i valori del potere fonoisolante relativi ai percorsi di trasmissione laterale ( $R_{ij}$ ) sono maggiori rispetto a quello relativo alla struttura di separazione tra i due ambienti ( $R_d$ , trasmissione diretta). In questi casi, la trasmissione avviene principalmente per via diretta e secondariamente per via laterale.

Vi possono però essere casi in cui uno o più percorsi di trasmissione laterale sono caratterizzati da valori del potere fonoisolante minori di quello relativo alla trasmissione diretta. In questi casi, la trasmissione sonora tra i due ambienti è dominata da questi percorsi di trasmissione laterale la cui rilevanza diventa superiore a quella della partizione stessa.

Per il calcolo dei valori del potere fonoisolante  $R_{ij}$  relativi ai diversi percorsi di trasmissione sonora si utilizza la formula (2), per cui è necessario conoscere, oltre all'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$ , anche i valori del potere fonoisolante della partizione e di tutte le strutture laterali (pareti e solai).

I dati relativi al potere fonoisolante delle strutture laterali sono quelli ottenuti dal laboratorio

dell'Università di Parma (per i due solai in laterocemento e la parete di facciata in laterizio alleggerito), nell'ambito di una precedente ricerca in convenzione con ANDIL. Il valore del potere fonoisolante del divisorio interno in mattoni pieni è stato invece dedotto per via teorica, non avendo disponibili dati sperimentali. I valori del potere fonoisolante delle cinque partizioni esaminate sono quelli misurati presso il laboratorio dell'Università di Padova nell'ambito della ricerca qui presentata.

Dai grafici di Fig. 4 si deduce che, in quasi tutti i casi esaminati, il percorso di trasmissione strutturale 4 – 8 (dal soffitto dell'ambiente sorgente a quello dell'ambiente ricevente, linea a tratti) è dominante rispetto a quello relativo alla trasmissione diretta (linea nera spessa). In alcuni casi, a specifiche frequenze, il potere fonoisolante relativo a tale percorso è inferiore di 10 dB rispetto a quello per trasmissione diretta.

Ciò sottolinea come in questi casi la presenza di questo percorso di trasmissione sonora influenza in maniera determinante la prestazione finale della parete esaminata.

## 6. Risultati sperimentali e teorici relativi al potere fonoisolante apparente

I grafici di Fig. 5 mostrano il confronto tra dati sperimentali ( $\triangle$ ) e teorici ( $\circ$ ,  $\diamond$ ) del potere fonoisolante apparente delle cinque partizioni esaminate. Come riferimento, nei grafici è anche riportata la curva relativa al potere fonoisolante della partizione misurato presso il laboratorio di Padova ( $\square$ , sola trasmissione diretta). La stima del potere fonoisolante apparente è stata effettuata sulla base delle formule (1) e (2). In un caso ( $\circ$ ), i dati degli indici di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  che compaiono nella formula (2) sono quelli misurati nel laboratorio di Trento; nell'altro caso ( $\diamond$ ), sono quelli dedotti per via teorica in base al metodo semplificato della normativa europea [2]. I valori sperimentali e teorici degli indici  $K_{ij}$  sono quelli già riportati in Tab. 1.

Dal confronto emerge una buona affidabilità del metodo di calcolo definito dalla norma EN 12354-1; l'affidabilità è migliore se i dati degli indici di riduzione delle vibrazioni sono appropriati. Nel caso in esame, i valori del potere fonoisolante apparente stimati a partire dai dati misurati degli indici  $K_{ij}$  ( $\circ$ ) sono molto prossimi a quelli misurati ( $\triangle$ ).

La stima teorica degli indici  $K_{ij}$ , come prevista dall'appendice E della norma europea, può invece portare ad errori nella valutazione della trasmissione sonora per via laterale. Nel caso in esame, si ottiene una sovrastima del potere fonoisolante apparente di alcuni decibel. Tale errore di valutazione può essere attribuito al fatto che il metodo di calcolo non tiene conto di elementi di discontinuità strutturale che

invece condizionavano fortemente la trasmissione laterale strutturale nel caso specifico delle prove effettuate presso il laboratorio di Trento.

La notevole perdita di prestazione da parte delle

pareti esaminate è quindi da attribuirsi alla particolarità delle condizioni di prova che sono risultate più sfavorevoli di quelle tipicamente riscontrabili nei casi reali.

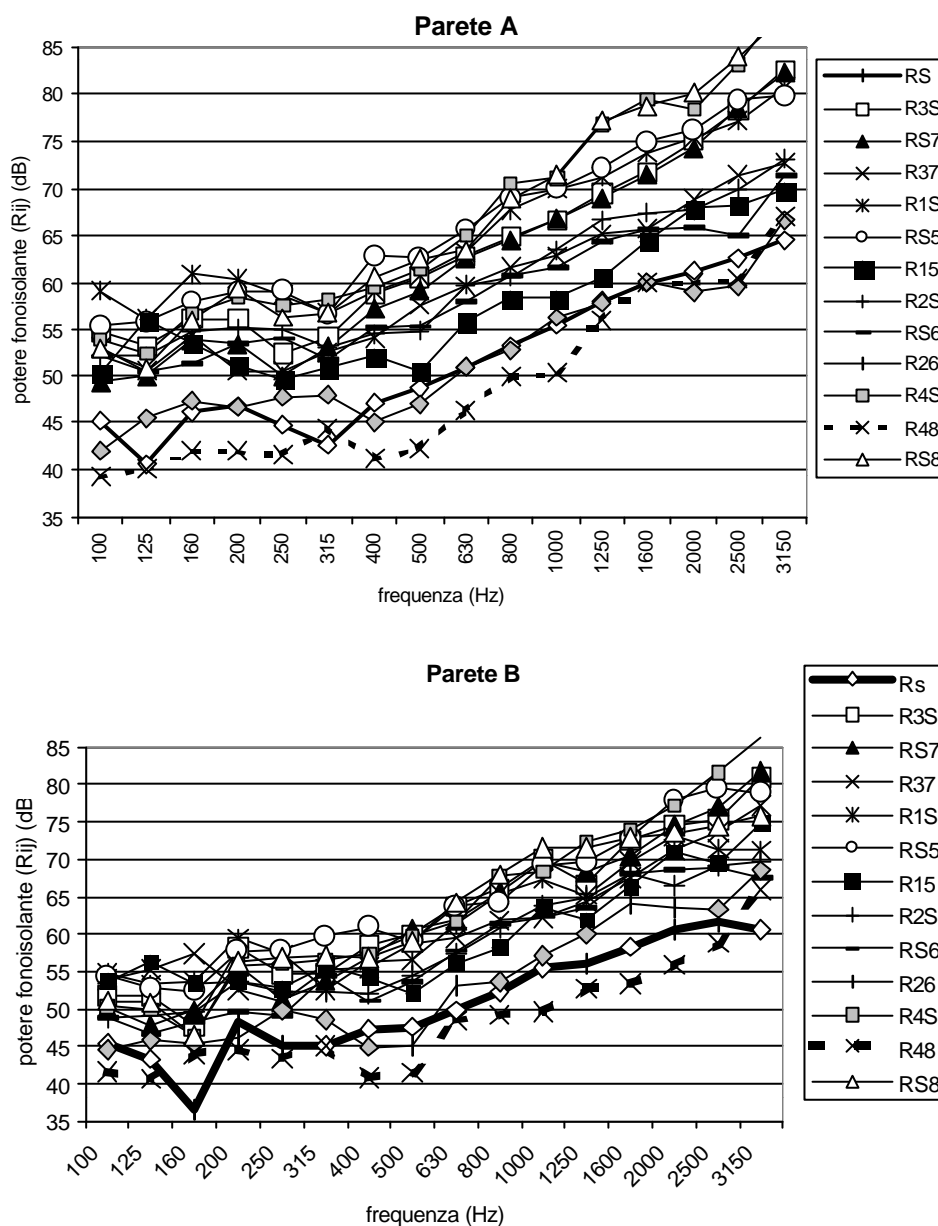


Fig. 4 - Valori del potere fonoisolante relativi alla trasmissione diretta (linea nera spessa) e laterale, per i diversi percorsi di trasmissione

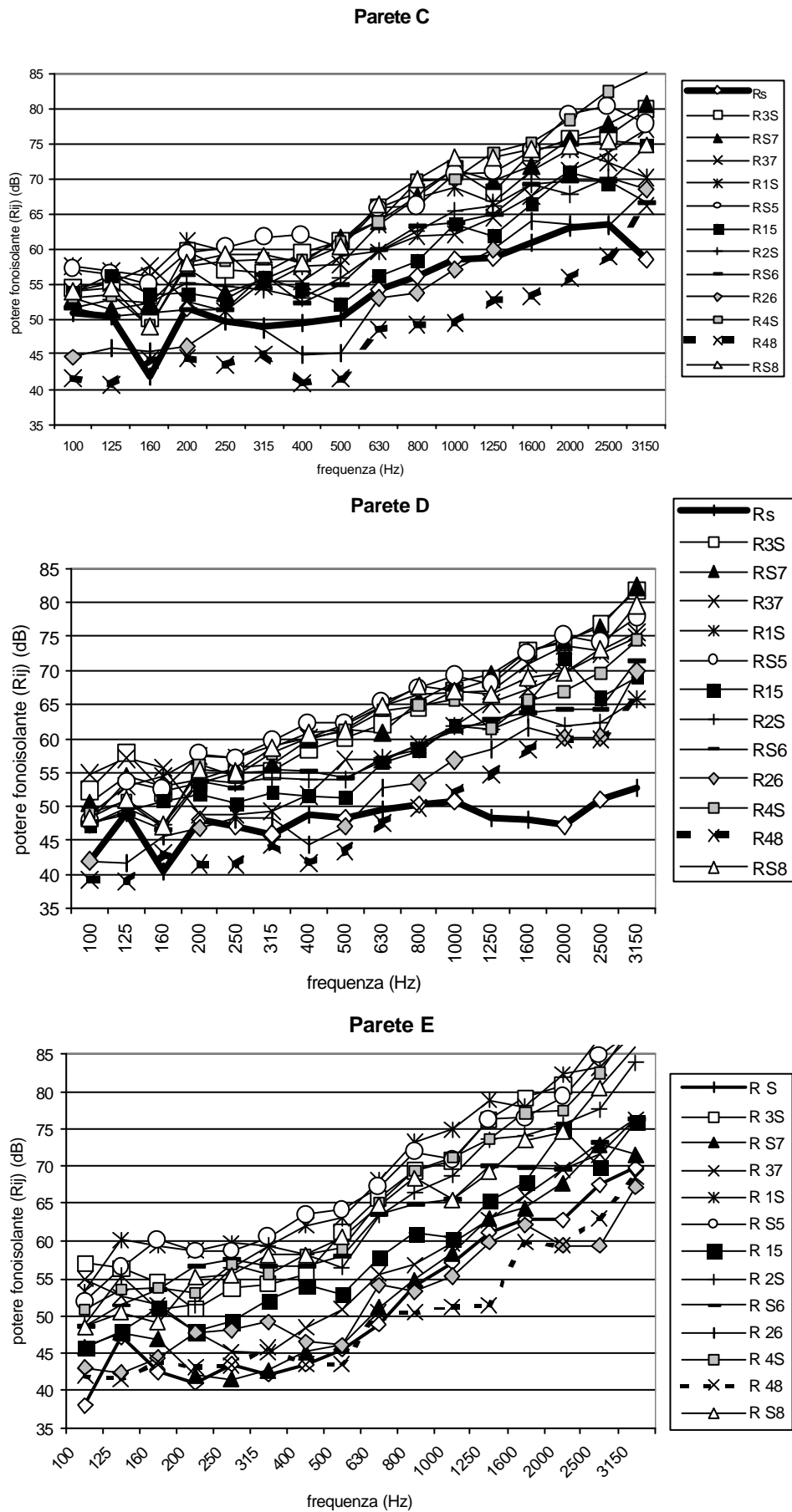
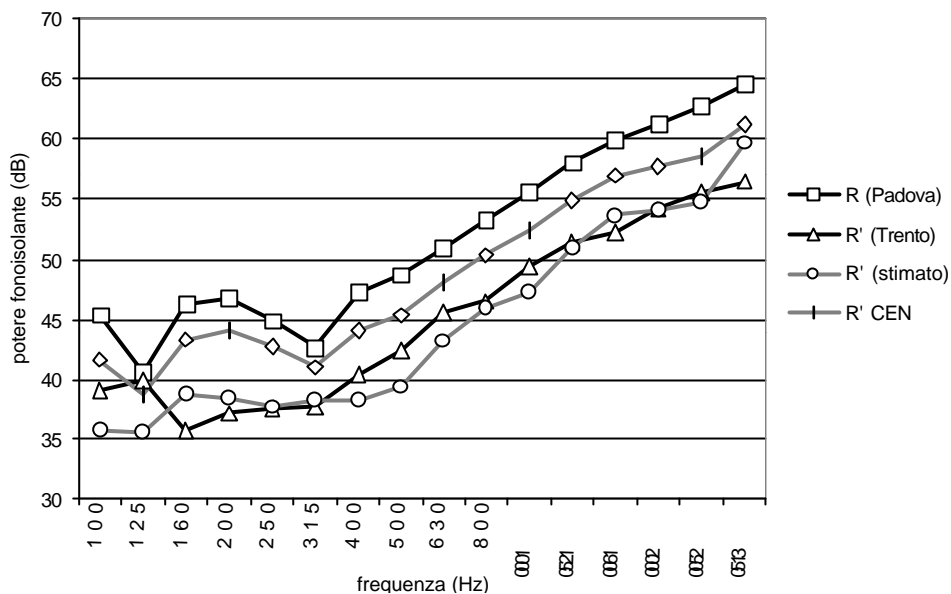
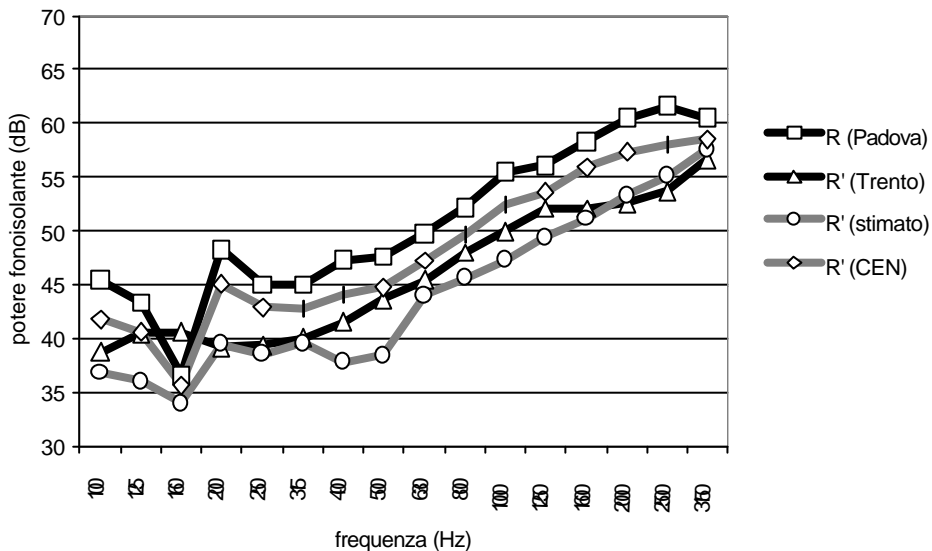


Fig. 4 - Valori del potere fonoisolante relativi alla trasmissione diretta (linea nera spessa) e laterale, per i diversi percorsi di trasmissione

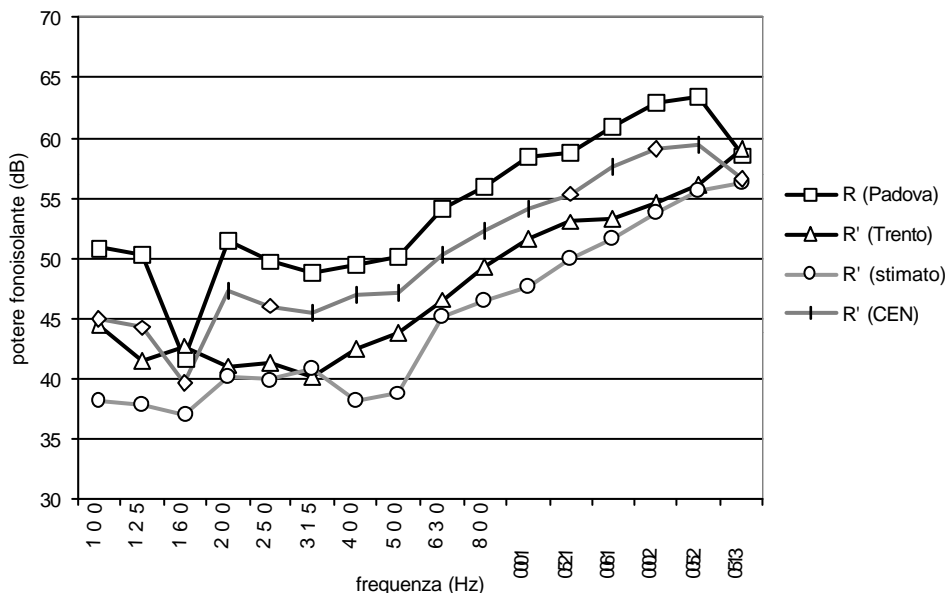
**Parete A**



**Parete B**



**Parete C**



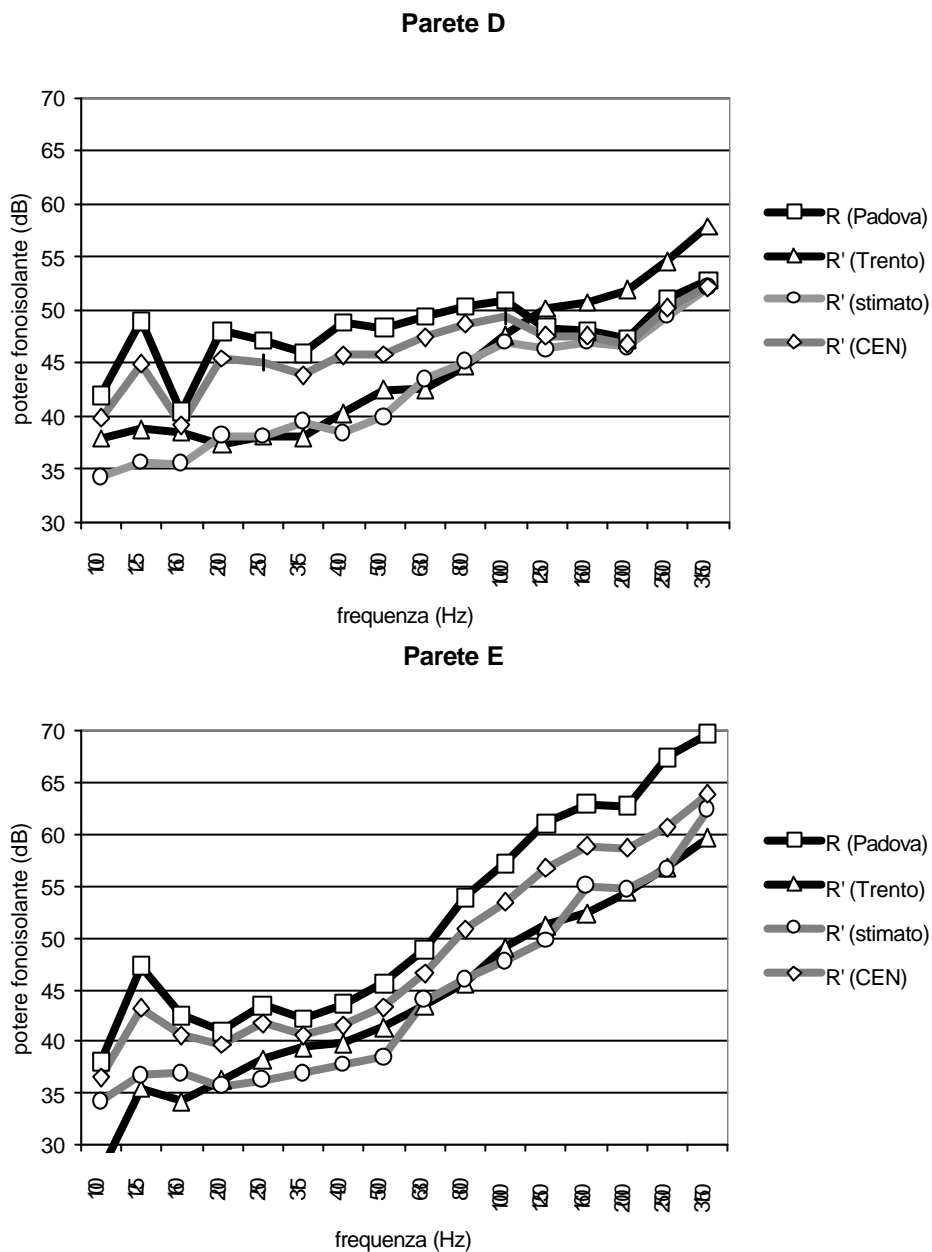


Fig. 5 - Dati sperimentali (△) e teorici (○,◇) del potere fonoisolante apparente R', al confronto con il valore del potere fonoisolante R (□)

La Tab. 2 riporta infine i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante ottenuti dai dati riportati nei grafici di Fig. 5, secondo la metodologia prevista dalla norma UNI EN ISO 717-1 [9].

Tab. 2 -Indice di valutazione del potere fonoisolante misurato in laboratorio (□), in opera (△) e stimato (○, ◇) per le cinque partizioni esaminate

	Parete				
	A	B	C	D	E
Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	400	371	390	470	320
R <sub>w</sub> misurato in lab. (dB) (□)	54	53	56	50	52
R <sub>w</sub> ' misurato in situ (dB) (△)	48	49	50	47	47
R <sub>w</sub> - R <sub>w</sub> ' misurati (dB) (□ - △)	6	4	6	3	5
R <sub>w</sub> ' calcolato in situ (dB) (○)	46	46	47	45	46
R <sub>w</sub> ' calcolato CEN (dB) (◇)	51	51	53	48	50

## 7. Conclusioni

Dai risultati illustrati si possono trarre le seguenti considerazioni principali.

La stima condotta secondo la metodologia della norma europea [2] permette di ottenere curve del potere fonoisolante apparente che ben si accordano con i valori realmente misurati. L'accuratezza della stima è migliore se i dati relativi agli indici di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  sono appropriati. La maggiore discrepanza tra stima e dato reale può essere attribuita alle differenze significative che si riscontrano alle basse frequenze tra i dati misurati a Padova (R in laboratorio) e quelli misurati a Trento (R' in situ).

La differenza tra i valori misurati in laboratorio ed in opera in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante è elevata ma in linea con le aspettative. Il laboratorio realizzato a Trento aveva infatti lo scopo di permettere uno studio approfondito delle modalità di trasmissione laterale dell'energia sonora. Per questo è stato realizzato secondo modalità che rendessero sufficientemente elevata l'entità della trasmissione laterale.

Il metodo di calcolo della normativa europea, di cui è stata verificata l'affidabilità con riferimento alle tipologie costruttive italiane, permette di stimare la perdita di prestazione dei divisori anche con riferimento ad altre configurazioni di posa in opera.

## Ringraziamenti

La ricerca è stata svolta in collaborazione tra ANDIL - Assolaterizi e le Università di Ferrara, Padova e Trento. Si desidera ringraziare in particolare il gruppo di acustica del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara.

## Bibliografia

- [1] Albatici, R., Di Bella, A., Fausti, P., Frattari, A., Nicosia, G., Pompoli, R., Secchi, S., Tosi, M., Zecchin, R. (2001), Isolamento acustico di pareti interne in laterizio: misure e metodi, *Costruire in Laterizio*, **83**, 56-62.
- [2] EN 12354-1 (2001), Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 1, airborne sound insulation between rooms.
- [3] D.P.C.M. 5/12/97, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, in G.U. 297, 22/12/97.
- [4] Garai, M., Secchi, S., Semprini, G. (2000), Prestazioni acustiche degli edifici - calcolo a partire dalle prestazioni dei componenti secondo le nuove disposizioni legislative e normative, Maggioli editore, Rimini, 2000.
- [5] Secchi, S., Fausti, P. (2001), Comparison between laboratory and in situ Sound Reduction Index measurements, *Proc. International Congress of Acoustics*, Rome.
- [6] ISO 140, Acoustics - measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements.
- [7] ISO/CD 10848 (1999), Acoustics - measurements of flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms.
- [8] Gerretsen, E (1997), Vibration reduction index  $K_{ij}$  for junctions of building elements with cavities, *Proc. Inter Noise 97*, Budapest, 693-698.
- [9] UNI EN ISO 717-1 (1997), Acustica, valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio; isolamento acustico per via aerea.