

Convegno

L'ACUSTICA APPLICATA ALL'EDILIZIA

Verona 24/11/2000

Relazione su:

**ISOLAMENTO ACUSTICO DI PARETI IN LATERIZIO:
MISURE SPERIMENTALI E METODI DI PREVISIONE**

Ricerca svolta in collaborazione tra ANDIL-Assolaterizi, Università di Ferrara,
Università di Padova e Università di Trento

Gruppo di lavoro:

Ing. Rossano Albatici, Università di Trento
Arch. Antonino Di Bella, Università di Padova
Ing. Gianfranco Di Cesare, ANDIL Roma
Ing. Patrizio Fausti, Università di Ferrara
Prof. Antonio Frattari, Università di Trento
Prof. Roberto Pompoli, Università di Ferrara
Ing. Gianfranco Righetti, ANDIL Roma
Arch. Simone Secchi, Università di Firenze
Ing. Giorgio Zanarini, ANDIL Roma
Prof. Roberto Zecchin, Università di Padova

con la collaborazione di:

Gianluca Nicosia, Marco Tosi, laureandi Università di Ferrara

Il lavoro è disponibile in rete nel sito dell'ANDIL-Assolaterizi:

<http://www.laterizio.it/>

ISOLAMENTO ACUSTICO DI PARETI IN LATERIZIO: MISURE SPERIMENTALI E METODI DI PREVISIONE

1. Premessa

Il DPCM del 5 dicembre 1997 richiede la verifica delle prestazioni acustiche degli edifici con riferimento alla situazione di reale messa in opera [1].

La prestazione in opera di un componente edilizio è quasi sempre inferiore a quella certificata in laboratorio, sia per le diverse condizioni di realizzazione, sia per la presenza di percorsi di trasmissione sonora che coinvolgono le strutture laterali dei due ambienti (trasmissione laterale).

Tale trasmissione laterale assume un'entità differenziata a seconda della tipologia dei componenti e dei giunti strutturali tra questi, variando in genere tra 1 ed oltre 5 decibel di contributo peggiorativo. La conoscenza esatta di tale contributo è peraltro di primaria importanza in un contesto in cui si riesce a fatica a garantire il rispetto del limite di legge (50 dB per le pareti poste tra unità immobiliari distinte di residenze, uffici, scuole, 55 dB per gli ospedali), con verifiche in laboratorio.

La valutazione delle prestazioni in opera dei componenti edilizi è possibile grazie a modelli di calcolo statistici che richiedono la conoscenza esatta delle proprietà acustiche di tutti i componenti coinvolti dalla trasmissione. Tra questi metodi di calcolo, uno è oggetto di una norma internazionale [2], metodo che è ripreso anche dalle linee guida definite dal gruppo di lavoro 12 dell'UNI [3].

Per l'applicazione del metodo, che permette di convertire il valore di laboratorio nel relativo valore in opera, è necessario conoscere l'entità della trasmissione delle vibrazioni che avviene in corrispondenza dei giunti laterali della struttura divisoria e le prestazioni di potere fonoisolante di tutti i componenti coinvolti dalla trasmissione. Il primo dato viene ricavato con misure effettuate in laboratori speciali, per i quali è in fase di definizione una norma internazionale [4]. Il secondo dato viene invece dedotto da normali misure di laboratorio, già effettuate su pareti in laterizio da diversi istituti di ricerca, ma di cui manca ancora una campagna sistematica, secondo le più recenti disposizioni normative [5].

In questo panorama, l'ANDIL (Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi), che già in passato aveva svolto attività di ricerca sperimentali in collaborazione con l'Università di Parma e Bologna, ha promosso un progetto di ricerca con l'Università di Ferrara, Trento e Padova con i seguenti obiettivi:

- la verifica in laboratorio delle prestazioni acustiche di isolamento al rumore aereo di un limitato numero di pareti verticali interne in laterizio, di diversa tipologia;
- la verifica del metodo CEN per la previsione delle prestazioni acustiche in opera partendo dai dati dei singoli componenti in laboratorio.

La ricerca promossa dall'ANDIL, di cui vengono illustrati alcuni risultati nella presente relazione, trae spunto da quella condotta negli anni 1991-1992 che aveva riguardato un'ampia indagine sperimentale sulle prestazioni acustiche di pareti e solai in laterizio. In quella ricerca furono condotte misure in laboratorio ed in opera, che riguardarono in particolare la valutazione dell'isolamento acustico al rumore aereo ed al calpestio. Le misure di isolamento acustico al rumore aereo furono condotte presso il laboratorio di acustica dell'Università di Parma mentre le misure in opera di isolamento al rumore aereo e di calpestio furono eseguite dall'Istituto di Fisica Tecnica dell'Università di Bologna e interessarono solo i solai.

I risultati di tutte le misure sono stati presentati e discussi in precedenti articoli [6,7,8,9,10]. Nel seguito si riportano, a titolo di esempio, alcune delle relazioni di correlazione ottenute elaborando i risultati sperimentali ottenuti in quella campagna di misure. Si tratta complessivamente di 42 divisori diversi, dei quali 19 sono classificati come pareti semplici, 11 come pareti doppie e 12 come solai.

In [7], sulla base della elaborazione di tutti i dati sperimentali relativi ai divisori descritti nelle tabelle 1, 2 e 3, è proposta questa relazione empirica per il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_W di un divisorio:

$$R_W = 20 \log m' \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

dove m' è la massa per unità di superficie del divisorio (kg/m^2)

La correlazione di tutti i dati sperimentali relativi a pareti semplici, pareti doppie e solai, con la (1) non è tuttavia particolarmente elevata per cui si è ritenuto di un certo interesse elaborare ulteriormente i dati, dopo averli però aggregati per tipologia edilizia.

In [10], confrontando il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_W con la massa per unità di superficie m' delle 19 pareti semplici si è ottenuta la seguente relazione:

$$R_W = 15,4 \log m' + 8 \text{ dB} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

valida per $100 < m' < 700$ (kg/m^2).

Confrontata con altre relazioni di previsione proposte per pareti in muratura [11,12], si vede che i valori forniti dalla (2) tendono ad essere superiori per bassi valori di m' ed inferiori per valori alti di m' .

Per le 11 pareti doppie, confrontando il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_W con la massa per unità di superficie m' , viene riportata in [10] la seguente relazione:

$$R_W = 20 \log m' \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

Ne risulta che il potere fonoisolante R delle pareti doppie esaminate in quella indagine presenta un andamento che, nella maggior parte dei casi, è simile a quello di una parete semplice di massa superficiale (m') pari alla somma delle singole masse superficiali (m'_1, m'_2) delle due pareti.

È forse utile sottolineare che per sfruttare al meglio le proprietà fonoisolanti delle pareti doppie, nel caso di strutture in laterizio, occorre che l'intercapedine sia di almeno 10 cm ($f_d = 1700$ Hz). In queste condizioni il valore di R_W può essere stimato con la relazione [12]:

$$R_W = 20 \log m' + 20 \log d - 10 \quad (\text{dB}) \quad (4)$$

dove "d" è espresso in cm.

Dai risultati della suddetta indagine risultava inoltre che l'influenza del materiale fonoassorbente nell'intercapedine determinava un incremento dell'indice di valutazione R_W da 1 a 3 dB. Inoltre l'inserimento di un sottile strato di materiale elastico sul contorno di una delle due pareti che costituiscono una parete doppia, nel caso specifico utilizzando uno strato di SYLOMER R12 di 12 mm di spessore con carico massimo di $0,04 \text{ N/mm}^2$, determina un miglioramento di 3-4 dB sul valore di R_W . Questo risultato mette chiaramente in rilievo l'importanza delle condizioni di vincolo delle pareti e l'influenza che le trasmissioni laterali possono produrre sull'isolamento acustico di una parete.

Per i 12 solai viene riportata in [10] la seguente relazione ottenuta confrontando il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante R_W con la massa per unità di superficie m' :

$$R_W = 22,4 \log m' - 6,5 \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

dove m' è la massa per unità di superficie del solaio (kg/m^2).

Una ulteriore indagine sperimentale, riguardante l'isolamento acustico delle facciate, è stata promossa dall'ANDIL nel 1999 in collaborazione con l'Università di Ferrara e l'Università di

Trento. Tale indagine, avente lo scopo di verificare il rispetto in opera dei valori limite stabiliti dal DPCM 5.12.97 nei riguardi dell'isolamento di facciata, è stata condotta in un edificio sperimentale realizzato a Trento simulando condizioni di corrente realizzazione di facciate. I risultati di tale indagine sono riportati in [13]. Le facciate dell'edificio sono state realizzate in blocchi di laterizio alleggerito, spesso 30 cm ed intonacato. L'isolamento acustico è stato misurato nelle 3 seguenti configurazioni della facciata di prova:

- A. con la facciata priva di finestre (ovvero con le aperture delle finestre tamponate con 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.

Le verifiche sperimentali, supportate anche da una analisi teorica, hanno evidenziato 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. In particolare, dal confronto tra i risultati ottenuti nelle 3 configurazioni di prova sono emersi i seguenti dati:

- l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata della parete senza finestre è risultato di 48 dB (risultato in linea con le aspettative di prestazione acustica di un tale tipo di parete);
- la riduzione di isolamento acustico dovuta all'aggiunta dell'infisso si è manifestata in modo 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 stata 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 stata di piccola entità e limitata alle frequenze medie ed alte; la prestazione della facciata in questa configurazione è quindi risultata altrettanto soddisfacente e superiore ai limiti di legge;
- la differenza tra i risultati ottenuti per le due configurazioni con finestre, non riprodotta in termini di indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$, è stata invece evidenziata dai termini di adattamento spettrale C e C_{tr} ; la facciata della configurazione C, se valutata in termini di livello sonora in dB(A) e con rumore disturbante da traffico, ha evidenziato infatti una protezione minore di circa 2 dB(A) rispetto alla facciata della configurazione B. La somma $D_{2m,nt,w} + C_{tr}$ fornisce infatti 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

Tabella 1: 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.

2. Misure in laboratorio

2.1 Descrizione del laboratorio

2.1.1 Generalità

Le misure in laboratorio sono state eseguite presso il Laboratorio di Acustica del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova.

L'edificio è situato all'interno del complesso della Facoltà di Ingegneria Meccanica dell'Università degli Studi di Padova. Fra il 1995 e il 1996 è stata effettuata una serie di indagini sperimentali e di verifiche relative alla conformità del laboratorio alle principali prescrizioni normative. In questa occasione sono stati analizzati gli aspetti legati alla conduzione dei test e alle metodologie di misura. I risultati di tali indagini hanno condotto alla realizzazione di una serie di interventi migliorativi volti all'accrescimento delle potenzialità del Laboratorio di Acustica.

Il laboratorio è costituito da un complesso di tre camere riverberanti: una di grandi dimensioni e due collegate mediante un'apertura per il montaggio di elementi verticali. La coppia di camere riverberanti, adibite alla misura del potere fonoisolante di elementi verticali di edificio, è stata progettata tenendo conto delle prescrizioni della norma UNI 8270/1 (1982). La geometria degli ambienti di misura è tale da garantire un volume maggiore del 50% rispetto al requisito minimo previsto (50 m^3), con una differenza fra i volumi delle due camere superiore al 10%. L'apertura per il montaggio degli elementi in prova è di $10,08 \text{ m}^2$ ($3,6 \times 2,8 \text{ m}$), con un volume di circa $10,6 \text{ m}^3$. La profondità utile per il montaggio degli elementi in prova è di 1 m. Le principali caratteristiche dimensionali e costruttive degli ambienti di prova sono riportate in tabella 2.

Le caratteristiche delle strutture edilizie di confine sono state dettate dalla necessità di fornire alle camere non solo elevati valori di isolamento acustico rispetto alle sorgenti esterne e alle possibili fonti di disturbo interne, ma anche un efficace isolamento dalle vibrazioni indotte dal traffico veicolare. A questo scopo le camere sono state svincolate dalle strutture e dalle fondazioni del resto dell'edificio. Gli ambienti di prova sono composti da un sistema di camere realizzate in calcestruzzo armato con pareti dello spessore di 300 mm, indipendenti le une dalle altre, racchiuse da un involucro esterno e separate da questo con un'intercapedine dello spessore minimo di 100 mm. Sulle superfici esterne delle camere sono stati applicati pannelli fonoassorbenti di lana di vetro, mentre le parti interstiziali e gli spazi comunicanti fra le strutture sono stati riempiti di materiale assorbente sfuso.

Il piano di calpestio della camera 2 (ricevente) ha uno spessore di 500 mm e poggia su fondazioni indipendenti, costituite da una platea di calcestruzzo armato su pali di 60 mm di diametro lunghi 13,3 m. Dalla platea si innalzano 17 pilastri di sezione $350 \times 350 \text{ mm}$, collegati alla base da un cordolo continuo. Il disaccoppiamento fra i pilastri di sostegno e la camera è garantito dall'interposizione nei punti di appoggio di piastre in "Petralit" da $350 \times 350 \times 10 \text{ mm}$ abbinata a placche di sughero e gomma SAGA QD 30199 da $300 \times 300 \times 7 \text{ mm}$, caricate a $8 \div 10 \text{ kg/cm}^2$, per una frequenza naturale di vibrazione del sistema inferiore a 18 Hz.

La cornice che costituisce l'apertura di montaggio degli elementi in prova, interamente in calcestruzzo armato, è resa indipendente da entrambe le camere. Essa è costituita da una trave orizzontale inferiore di sezione trasversale $1000 \times 500 \text{ mm}$ che, pur poggiando sul sistema di fondazioni della camera ricevente, è svincolata da esse mediante speciali placche di gomma nei punti di appoggio e giunti elastici lungo tutto il suo perimetro; alle sue estremità si trovano le due strutture verticali a "T" (sezione trasversale maggiore 1000 mm, sezione

trasversale minore 300 mm, sezione longitudinale 700 mm) che sorreggono una trave superiore di sezione trasversale 1000×300 mm.

La camera 1 (trasmittente) è invece connessa all'involucro esterno dell'edificio, con accessi diretti al laboratorio ed al complesso della camera riverberante, ed è comunicante con l'esterno. Le pareti della camera trasmittente comuni, o comunque collegate all'involucro esterno o al resto dell'edificio, presentano una massa notevole, in modo da ridurre il più possibile la trasmissione dell'energia sonora attraverso le strutture. Lo spazio sopra le camere, completamente ispezionabile, è ricoperto da pannelli di lana minerale ad alta densità, mentre sulle pareti dei vani praticabili sotto le camere sono stati applicati diversi strati di materiali fonoassorbenti.

CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E COSTRUTTIVE	
Dimensioni medie della camera 1 (l×p×h)	5,8×3,3×4,1 m (non rettangolare)
Dimensioni medie della camera 2 (l×p×h)	5,5×3,2×4,4 m (non rettangolare)
Dimensioni dell'apertura di montaggio (l×h)	3,6×2,8 m
Profondità dell'apertura di montaggio	1 m
Volume della camera 1 (al netto dell'apertura di montaggio)	78,6 m ³
Volume della camera 2 (al netto dell'apertura di montaggio)	78,2 m ³
Volume dell'apertura di montaggio	10,6 m ³
Superficie della camera 1	102,74 m ²
Superficie della camera 2	99,37 m ²
Superficie della cornice dell'apertura di montaggio	14,85 m ²
Superficie utile dell'apertura per il montaggio degli elementi in prova	10,08 m ²
Materiale dell'apertura di montaggio	calcestruzzo armato
Massimo potere fonoisolante misurabile $R'_{w \max}$ (parete tipo "c", Allegato A norma ISO/DIS 140 parte 1)	69 dB
CARATTERISTICHE METODOLOGICHE E DI MISURA	
Intervallo di frequenze di misura	100÷5000 Hz
Intervallo di frequenze addizionali	50÷80 Hz
Diffusori e assorbitori	in camera ricevente (2)
Tempi di riverberazione in camera 1 (intervallo di frequenze 50÷5000 Hz, volume ~83 m ³)	$1 < T_{60} < 4$ s
Tempi di riverberazione in camera 2 (intervallo di frequenze 50÷5000 Hz, volume ~83 m ³)	$1 < T_{60} < 2$ s
Numero di posizioni della sorgente	2 (non agenti contemporaneamente)
Numero di postazioni microfoniche in ogni camera	6 (postazioni fisse)
Valori di ripetibilità nell'intervallo di frequenze 100÷5000 Hz	$r < 0,5$ dB

Tabella 2: principali caratteristiche degli ambienti di prova

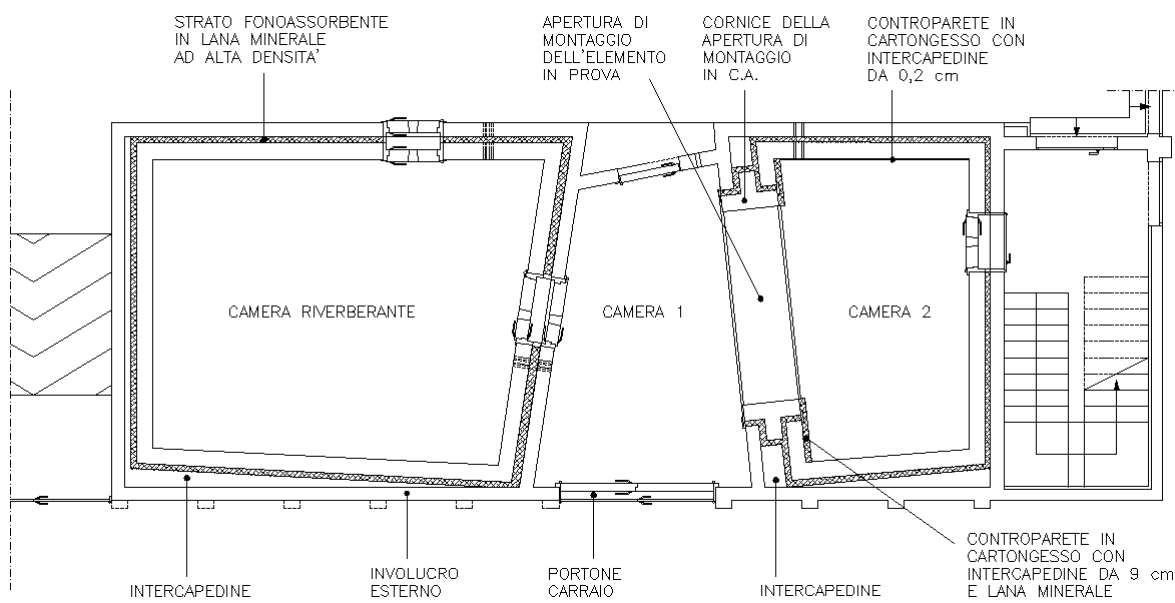
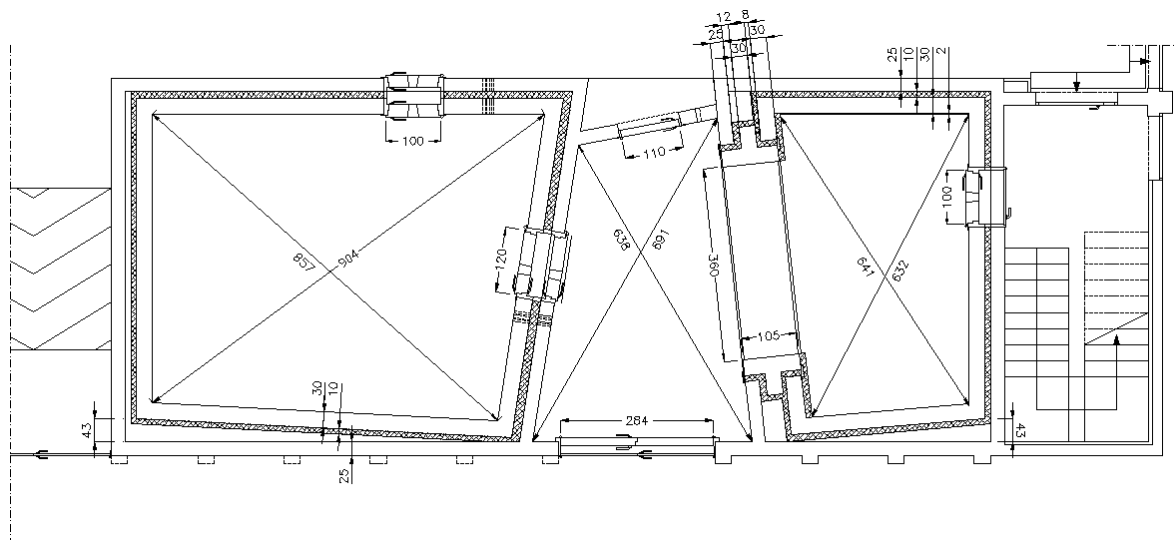


Figura 1: pianta delle camere riverberanti del Laboratorio di Acustica del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova

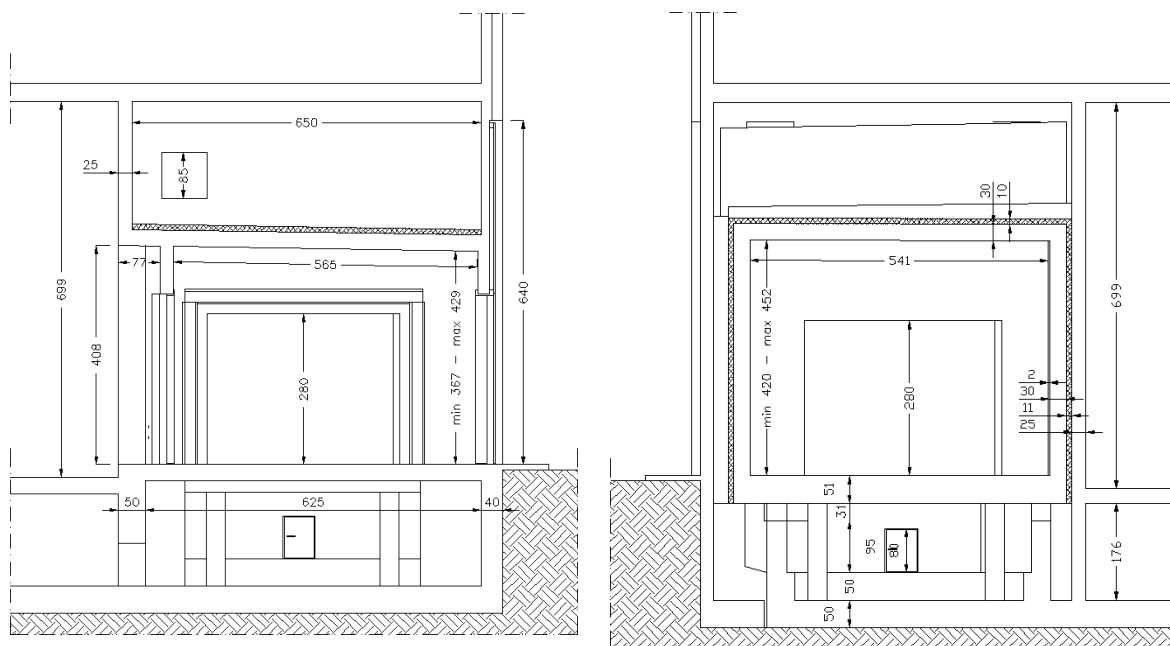


Figura 2: sezioni trasversali (lato camera 1 e lato camera 2) della doppia camera riverberante per la valutazione del potere fonoisolante di elementi verticali di edificio

2.1.2 Apparecchiature e strumentazioni

La rilevazione delle condizioni igrotermiche degli ambienti di prova viene effettuata mediante termo-igrometri RS mod. 313-277 con risoluzione di 0,1 °C e 1% U.R., installati in ogni camera su postazioni fisse. La pressione atmosferica viene rilevata mediante barometro a colonna di mercurio posizionato all'ingresso della camera 1.

La strumentazione di misura utilizzata, in dotazione al Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova, soddisfa i requisiti di precisione della classe 1, definiti nelle norme IEC 60651 e IEC 60804. I filtri di banda di terzi d'ottava soddisfano i requisiti definiti nella norma IEC 61260.

La catena strumentale, ovvero il microfono e l'insieme della strumentazione e dei relativi cavi di connessione, è stata tarata, prima e dopo ogni misura, mediante un calibratore sonoro che soddisfa i requisiti di precisione della classe 1 definiti nella norma IEC 60942.

La catena strumentale utilizzata è composta da:

- a) analizzatore sonoro modulare di precisione Brüel & Kjær 2260 (s/n. 2163042), classe 1 (con microfono Brüel & Kjær 4189 e preamplificatore microfonico Brüel & Kjær ZC0026), conforme alle norme IEC 60651, IEC 60804. Filtri di banda d'ottava e terzi d'ottava, classe 0, conformi alla norma IEC 61260. Dinamica del sistema di misura: 80 dB. Intervallo di misura: da 24 a 150 dB, con ponderazione A; da 26 a 150 dB, con ponderazione C; da 32 a 150 dB lineari (campo di frequenze da 5 a 20000 Hz);
- b) modulo software Brüel & Kjær BZ 7204 (*Building Acoustic System*);
- c) microfono prepolarizzato 0 V da ½ pollice Brüel & Kjær 4189 (s/n. 2117955). Sensibilità -25,65 dB re 1 V/Pa, equivalenti a 52,15 mV/Pa. Capacità 13,3 pF a 250 Hz;
- d) preamplificatore microfonico Brüel & Kjær ZC0026;
- e) calibratore microfonico Brüel & Kjær 4231 (s/n. 2162894), classe 1, conforme alla norma IEC 60942. Segnale di calibrazione nominale di 94 dB (1 Pa) a 1000 Hz;
- f) cavi di prolunga da 10 m per preamplificatore microfonico Brüel & Kjær AO 0442;

- g) cavi elettrici di alimentazione, comando e collegamento Brüel & Kjær AQ 0622, AO 0523, AQ 1700, AO 1442;
- h) sorgente di potenza sonora composta da amplificatore di segnale Brüel & Kjær 2716 con sorgenti sonore Brüel & Kjær OmniPower Sound Source 4296 e Brüel & Kjær OmniSource Sound Source 4295;
- i) aste microfoniche telescopiche, con braccio inclinabile, orientabile ed estensibile, con supporto di bloccaggio a pinza;
- j) personal computer dotato di sistema operativo Microsoft Windows®;
- k) cavi elettrici di alimentazione, comando e collegamento.

I dati di elaborazione, ottenuti mediante l'analizzatore sonoro modulare di precisione Brüel & Kjær 2260 e registrati in formato numerico proprietario sull'unità di memoria di massa dell'analizzatore, sono stati successivamente trasferiti su personal computer con sistema operativo Microsoft Windows® mediante connessione via cavo e quindi analizzati mediante il programma Brüel & Kjær Qualifier 7830 (versione 2.0A) di memorizzazione, richiamo, gestione e conversione dei dati di misura.

I certificati di conformità e calibrazione della strumentazione utilizzata sono depositati presso il Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università di Padova.

2.2 Valutazioni effettuate

La ricerca, tuttora in corso di svolgimento, prevede l'esecuzione di quindici determinazioni del potere fonoisolante di altrettanti elementi di partizione verticale in laterizio, suddivisi in monostrato, multistrato, ovvero con intercapedine, e sperimentali.

Gli elementi di partizione in laterizio sono stati posati in opera sempre dalla stessa squadra di operai dell'Impresa Edile Masiero di Padova. È stata utilizzata una malta premiscelata a base di calce idrata sia per la posa che per lo strato di intonaco di finitura.

Il periodo di essiccazione di ciascuna parete, variabile da una a quattro settimane, è stato valutato in base alla quantità di malta necessaria per la posa ed alle condizioni igrotermiche dell'ambiente.

Le misure acustiche, effettuate secondo le prescrizioni della norma EN ISO 20140 parte 3, sono state eseguite sempre dallo stesso gruppo di operatori. La ripetibilità interna delle misure effettuate è risultata conforme a quella prevista per la metodologia di prova utilizzata.

Per alcune pareti (A06, B01, C01) sono state effettuate diverse misure comparative per valutare l'influenza dell'essiccazione e delle modalità di prova sulla determinazione del potere fonoisolante.

Di seguito viene riportato, in ordine cronologico, l'elenco completo delle prove finora effettuate comprendente una descrizione della partizione, le date di montaggio e di prova, la massa superficiale effettiva e l'indice di valutazione ottenuto.

Riferimento:	A06/LAB (n° 5 elenco 23/11/1999)																																				
Tipologia parete:	monostrato																																				
Descrizione parete:	parete realizzata con blocchi speciali per muratura armata a forma di "H" in laterizio alveolato con fori riempiti di malta (25×16,5×30 cm), intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm)																																				
Data di inizio montaggio:	30/05/2000																																				
Data di fine montaggio:	31/05/2000																																				
Data della prova:	07/06/2000																																				
Spessore nominale:	0,33 m																																				
Massa stimata:	390 kg/m ²																																				
Massa effettiva:	443,3 kg/m ²																																				
Indice di valutazione (R _w):	56 dB (C=0; C _{tr} =-3)																																				
Schema di montaggio	Potere fonoisolante																																				
	<p>A06/LAB</p> <table border="1"> <caption>Data points for Potere fonoisolante [dB] vs Frequenza [Hz]</caption> <thead> <tr> <th>Frequenza [Hz]</th> <th>Potere fonoisolante [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>51</td></tr> <tr><td>125</td><td>50</td></tr> <tr><td>160</td><td>42</td></tr> <tr><td>200</td><td>52</td></tr> <tr><td>250</td><td>50</td></tr> <tr><td>315</td><td>49</td></tr> <tr><td>400</td><td>50</td></tr> <tr><td>500</td><td>54</td></tr> <tr><td>630</td><td>56</td></tr> <tr><td>800</td><td>58</td></tr> <tr><td>1000</td><td>59</td></tr> <tr><td>1250</td><td>61</td></tr> <tr><td>1600</td><td>62</td></tr> <tr><td>2000</td><td>64</td></tr> <tr><td>2500</td><td>59</td></tr> <tr><td>3150</td><td>60</td></tr> <tr><td>4000</td><td>61</td></tr> </tbody> </table>	Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]	100	51	125	50	160	42	200	52	250	50	315	49	400	50	500	54	630	56	800	58	1000	59	1250	61	1600	62	2000	64	2500	59	3150	60	4000	61
Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]																																				
100	51																																				
125	50																																				
160	42																																				
200	52																																				
250	50																																				
315	49																																				
400	50																																				
500	54																																				
630	56																																				
800	58																																				
1000	59																																				
1250	61																																				
1600	62																																				
2000	64																																				
2500	59																																				
3150	60																																				
4000	61																																				

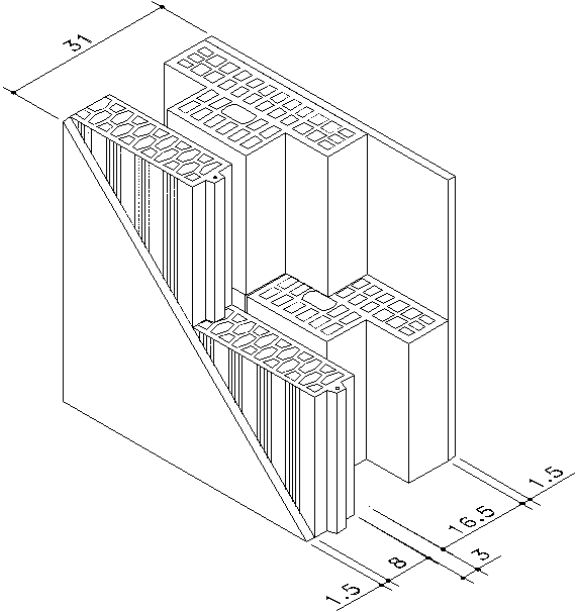
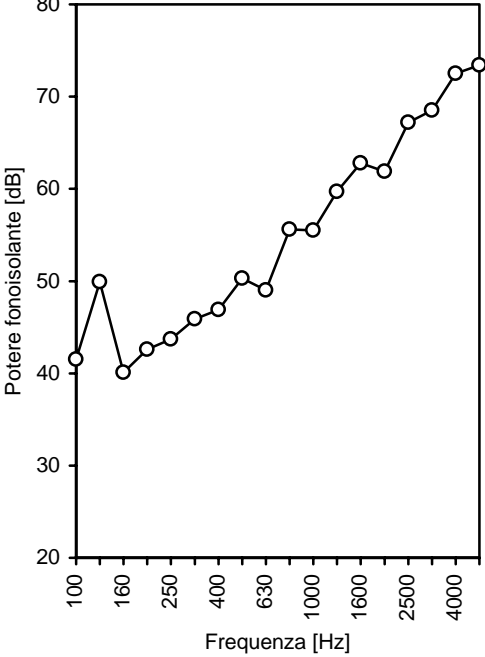
Scheda 1

Riferimento:	<i>A03/LAB (non in elenco, aggiunta del 26/06/2000)</i>																																		
Tipologia parete:	<i>monostrato</i>																																		
Descrizione parete:	<i>Parete realizzata con blocchi in laterizio alveolato (50×20×18 cm) riempiti di malta, intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm)</i>																																		
Data di inizio montaggio:	<i>06/10/2000</i>																																		
Data di fine montaggio:	<i>06/10/2000</i>																																		
Data della prova:	<i>17/10/2000</i>																																		
Spessore nominale:	<i>0,21 m</i>																																		
Massa stimata:	<i>360 kg/m²</i>																																		
Massa effettiva:	<i>363,3 kg/m²</i>																																		
Indice di valutazione (R_w):	<i>54 dB (C=-1; Ctr=-4)</i>																																		
Schema di montaggio	Potere fonoisolante																																		
	<p>A03/LAB</p> <table border="1"> <caption>Data points for the sound insulation power graph</caption> <thead> <tr> <th>Frequenza [Hz]</th> <th>Potere fonoisolante [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>45</td></tr> <tr><td>160</td><td>41</td></tr> <tr><td>250</td><td>46</td></tr> <tr><td>315</td><td>45</td></tr> <tr><td>400</td><td>43</td></tr> <tr><td>500</td><td>47</td></tr> <tr><td>630</td><td>49</td></tr> <tr><td>800</td><td>51</td></tr> <tr><td>1000</td><td>53</td></tr> <tr><td>1250</td><td>55</td></tr> <tr><td>1600</td><td>58</td></tr> <tr><td>2000</td><td>60</td></tr> <tr><td>2500</td><td>62</td></tr> <tr><td>3150</td><td>64</td></tr> <tr><td>4000</td><td>62</td></tr> <tr><td>5000</td><td>60</td></tr> </tbody> </table>	Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]	100	45	160	41	250	46	315	45	400	43	500	47	630	49	800	51	1000	53	1250	55	1600	58	2000	60	2500	62	3150	64	4000	62	5000	60
Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]																																		
100	45																																		
160	41																																		
250	46																																		
315	45																																		
400	43																																		
500	47																																		
630	49																																		
800	51																																		
1000	53																																		
1250	55																																		
1600	58																																		
2000	60																																		
2500	62																																		
3150	64																																		
4000	62																																		
5000	60																																		

Scheda 2

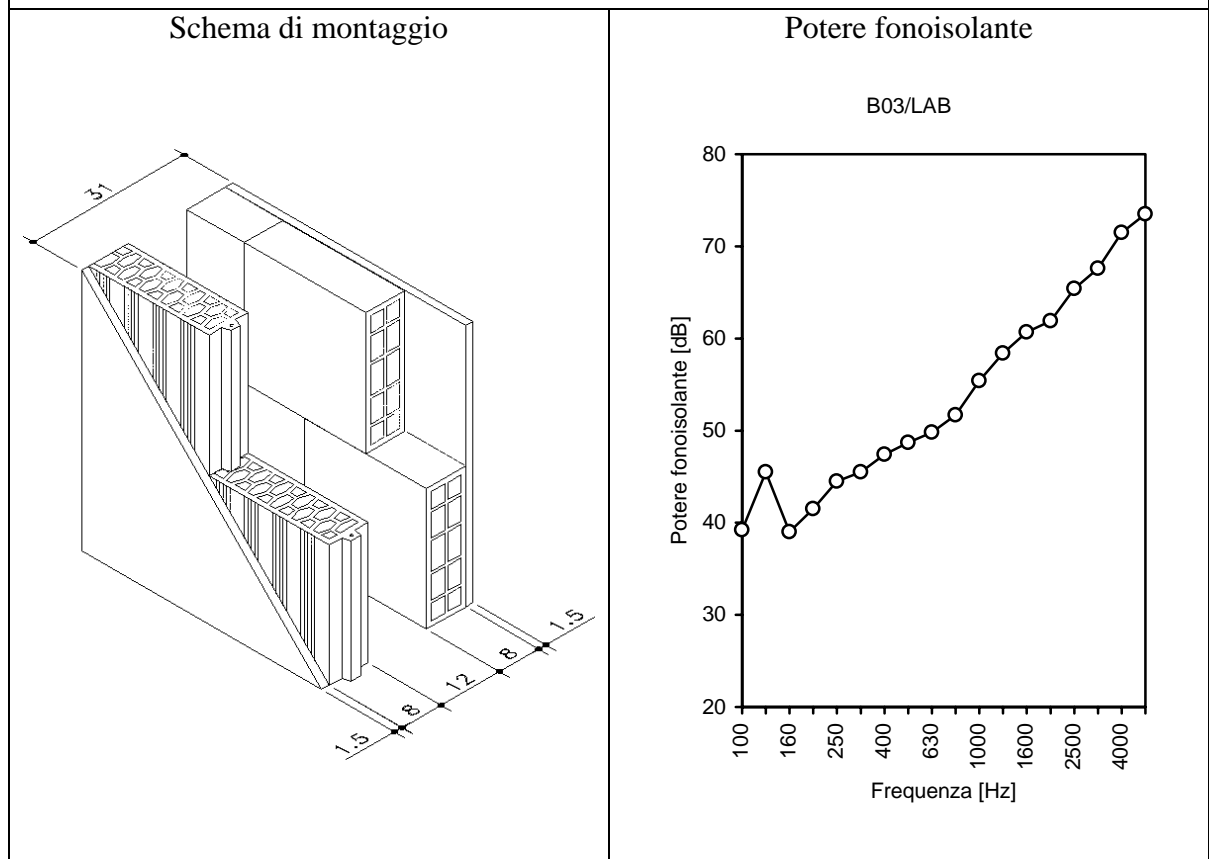
Riferimento:	C02/LAB (n° 7 elenco 16/09/1999)																																				
Tipologia parete:	sperimentale (multistrato)																																				
Descrizione parete:	parete realizzata con blocchi a "T" in laterizio alveolato (25×16,5×17 cm), con tagli verticali, montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm); intercapedine da 3 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm)																																				
Data di inizio montaggio:	20/10/2000																																				
Data di fine montaggio:	20/10/2000																																				
Data della prova:	24/10/2000																																				
Spessore nominale:	0,31 m																																				
Massa stimata:	320 kg/m ²																																				
Massa effettiva:	275,6 kg/m ²																																				
Indice di valutazione (R _w):	52 dB (C=-1; C _{tr} =-4)																																				
Schema di montaggio	Potere fonoisolante																																				
	<p>C02/LAB</p> <table border="1"> <caption>Data points for the sound insulation power index graph</caption> <thead> <tr> <th>Frequenza [Hz]</th> <th>Potere fonoisolante [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>38</td></tr> <tr><td>125</td><td>48</td></tr> <tr><td>160</td><td>43</td></tr> <tr><td>200</td><td>41</td></tr> <tr><td>250</td><td>44</td></tr> <tr><td>315</td><td>43</td></tr> <tr><td>400</td><td>44</td></tr> <tr><td>500</td><td>46</td></tr> <tr><td>630</td><td>49</td></tr> <tr><td>800</td><td>54</td></tr> <tr><td>1000</td><td>57</td></tr> <tr><td>1250</td><td>61</td></tr> <tr><td>1600</td><td>63</td></tr> <tr><td>2000</td><td>63</td></tr> <tr><td>2500</td><td>68</td></tr> <tr><td>3150</td><td>70</td></tr> <tr><td>4000</td><td>73</td></tr> </tbody> </table>	Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]	100	38	125	48	160	43	200	41	250	44	315	43	400	44	500	46	630	49	800	54	1000	57	1250	61	1600	63	2000	63	2500	68	3150	70	4000	73
Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]																																				
100	38																																				
125	48																																				
160	43																																				
200	41																																				
250	44																																				
315	43																																				
400	44																																				
500	46																																				
630	49																																				
800	54																																				
1000	57																																				
1250	61																																				
1600	63																																				
2000	63																																				
2500	68																																				
3150	70																																				
4000	73																																				

Scheda 3

Riferimento:	<i>C03/LAB (non in elenco, aggiunta del 26/06/2000)</i>																																						
Tipologia parete:	<i>sperimentale (multistrato)</i>																																						
Descrizione parete:	<i>parete realizzata con blocchi a "T" in laterizio alveolato (25×16,5×17 cm), montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm); intercapedine da 3 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm)</i>																																						
Data di inizio montaggio:	<i>(20/10/2000) 27/10/2000</i>																																						
Data di fine montaggio:	<i>27/10/2000</i>																																						
Data della prova:	<i>01/11/2000</i>																																						
Spessore nominale:	<i>0,31 m</i>																																						
Massa stimata:	<i>320 kg/m²</i>																																						
Massa effettiva:	<i>252,7 kg/m²</i>																																						
Indice di valutazione (R_w):	<i>54 dB (C=-1; Ctr=-4)</i>																																						
Schema di montaggio	Potere fonoisolante																																						
	<p>C03/LAB</p>  <table border="1"> <caption>Data points for Potere fonoisolante [dB] vs Frequenza [Hz]</caption> <thead> <tr> <th>Frequenza [Hz]</th> <th>Potere fonoisolante [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>42</td></tr> <tr><td>125</td><td>50</td></tr> <tr><td>160</td><td>40</td></tr> <tr><td>200</td><td>43</td></tr> <tr><td>250</td><td>44</td></tr> <tr><td>315</td><td>46</td></tr> <tr><td>400</td><td>47</td></tr> <tr><td>500</td><td>50</td></tr> <tr><td>630</td><td>49</td></tr> <tr><td>800</td><td>55</td></tr> <tr><td>1000</td><td>55</td></tr> <tr><td>1250</td><td>60</td></tr> <tr><td>1600</td><td>63</td></tr> <tr><td>2000</td><td>62</td></tr> <tr><td>2500</td><td>68</td></tr> <tr><td>3150</td><td>69</td></tr> <tr><td>4000</td><td>73</td></tr> <tr><td>5000</td><td>73</td></tr> </tbody> </table>	Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]	100	42	125	50	160	40	200	43	250	44	315	46	400	47	500	50	630	49	800	55	1000	55	1250	60	1600	63	2000	62	2500	68	3150	69	4000	73	5000	73
Frequenza [Hz]	Potere fonoisolante [dB]																																						
100	42																																						
125	50																																						
160	40																																						
200	43																																						
250	44																																						
315	46																																						
400	47																																						
500	50																																						
630	49																																						
800	55																																						
1000	55																																						
1250	60																																						
1600	63																																						
2000	62																																						
2500	68																																						
3150	69																																						
4000	73																																						
5000	73																																						

Scheda 4

Riferimento:	<i>B03/LAB (non in elenco, aggiunta nel corso della ricerca)</i>
Tipologia parete:	<i>sperimentale (multistrato)</i>
Descrizione parete:	<i>Parete realizzata con tavolato in tramezze normali (25×25×8 cm); intercapedine da 12 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm)</i>
Data di inizio montaggio:	<i>(20/10/2000) 03/11/2000</i>
Data di fine montaggio:	<i>03/11/2000</i>
Data della prova:	<i>10/11/2000</i>
Spessore nominale:	<i>0,31 m</i>
Massa stimata:	<i>260 kg/m²</i>
Massa effettiva:	<i>245,6 kg/m²</i>
Indice di valutazione (R_w):	<i>53 dB (C=0; Ctr=-4)</i>



Scheda 5

3. Metodo di previsione semplificato del potere fonoisolante apparente secondo la nuova normativa europea

3.1 Descrizione del metodo

3.1.1 Generalità

Il *potere fonoisolante apparente* R' di una partizione è un parametro che serve ad esprimere la quantità di energia sonora da questa trasmessa nelle sue reali condizioni di utilizzo. Tale quantità differisce dal *potere fonoisolante* R , risultante da misure di laboratorio o da calcolo teorico, in quanto tiene conto, oltre che della trasmissione diretta della parete, anche di eventuali percorsi di trasmissione aerea del suono e dei percorsi di trasmissione strutturale dovuti alle strutture laterali (figura 3).

La nuova norma europea EN 12354-1 indica un metodo di calcolo basato su alcune ipotesi semplificative, che permette di stimare il potere fonoisolante apparente di una partizione a partire dai valori del potere fonoisolante relativi ai diversi percorsi di trasmissione strutturale.

$$R' = -10 \lg \left(10^{\frac{R_{Dd}}{10}} + \sum 10^{\frac{R_{ij}}{10}} \right) \text{ (dB)} \quad (6)$$

dove R_{Dd} e R_{ij} sono rispettivamente i valori in funzione della frequenza del potere fonoisolante per trasmissione diretta (attraverso la parete di separazione dei due ambienti) e del potere fonoisolante per trasmissione laterale (attraverso il generico percorso i-j).

In questa formulazione viene trascurato il contributo della trasmissione aerea tra condotti, prese d'aria ed altri elementi.

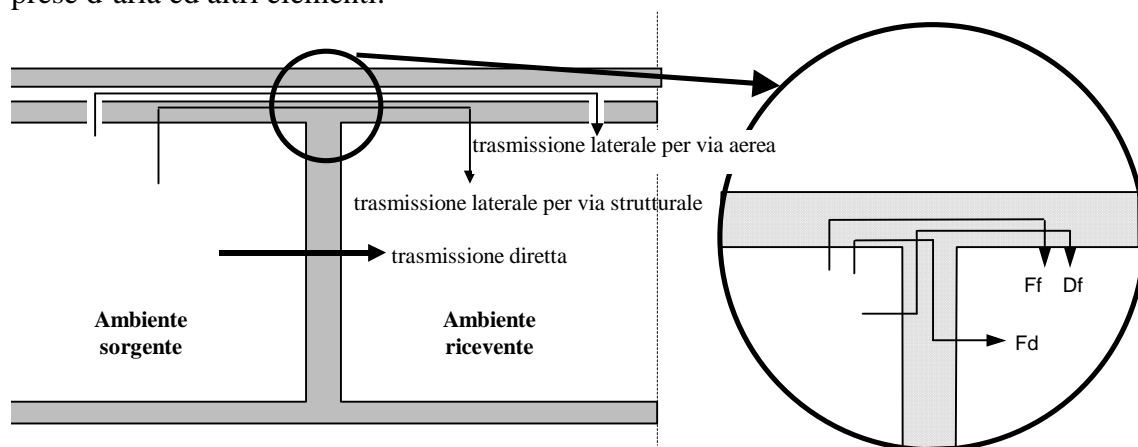


Figura 3: diversi percorsi di trasmissione del suono (per via aerea e strutturale) tra due ambienti adiacenti.

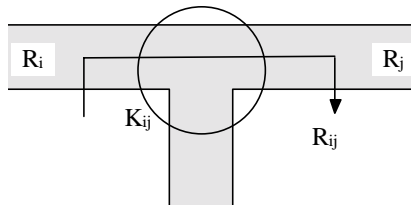
Per ogni giunto tra parete di separazione e strutture laterali (pareti e solai), il potere fonoisolante per trasmissione laterale, R_{ij} , è a sua volta dato dalla somma energetica del potere fonoisolante relativo ai tre percorsi indicati in figura 3 (Df , Ff , Fd), che vengono pertanto considerati indipendenti uno dall'altro.

Per il calcolo del potere fonoisolante apparente tra due ambienti adiacenti si deve quindi determinare il valore del potere fonoisolante per ogni singolo percorso di trasmissione sonora. A questo fine ci si può servire di dati di laboratorio certificati, con il limite della corretta corrispondenza tra soluzioni provate e soluzioni da realizzarsi, oppure affidarsi ad una valutazione teorica basata su ipotesi di tipo statistico che non sempre si addicono alla situazione in esame. In particolare, per fare una valutazione teorica basata su questi presupposti, è necessario che il campo di vibrazioni che si stabilisce nella partizione e nelle

strutture laterali dei due ambienti esaminati come conseguenza della pressione sonora presente in essi, sia il più possibile uniforme. Questa ipotesi pone evidenti problemi di validità del modello di calcolo in presenza di discontinuità strutturali rappresentate da telai in cemento armato o in acciaio.

Per questo tipo di soluzioni, il metodo di calcolo presentato ha un minor grado di affidabilità, anche se può essere ancora utilizzato per ottenere una prima stima del potere fonoisolante apparente. Infatti è da ritenersi che l'inserimento di strutture in cemento armato o in acciaio nel giunto tra partizione e strutture laterali, riducendo l'entità della trasmissione di vibrazioni tra queste, comporti un incremento del valore del potere fonoisolante apparente. Questo può compensare l'incremento di trasmissione dovuto alle diverse condizioni di vincolo della partizione.

Nei limiti di queste ipotesi, il potere fonoisolante relativo ai diversi percorsi di trasmissione sonora può essere ottenuto in funzione del potere fonoisolante delle due strutture interessate (R_i e R_j), di un parametro K_{ij} caratteristico del tipo di giunto (rigido o elastico, a croce o a T) e delle dimensioni principali (superficie S della partizione e lunghezza l_f del giunto tra le due strutture).



$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S}{l_f} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

L'indice di riduzione delle vibrazioni K è una grandezza funzione della 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:

$$K_{ij} = \frac{D_{vij} + D_{vji}}{2} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

definizione che fa riferimento al metodo di misura di K , in cui D_{vij} e D_{vji} sono rispettivamente le differenze tra i livelli medi di velocità che si stabiliscono nelle due strutture avendo sollecitato in un caso la struttura i e nell'altro la j . Nella formula si ha:

l_{ij} = lunghezza del giunto;

a_i e a_j = lunghezze di assorbimento equivalenti delle strutture i e j , date da:

$$a_i = \frac{2,2\pi^2 S_i}{c_0 T_{si}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (\text{m}) \quad (9)$$

con T_{si} tempo di riverberazione strutturale della struttura i .

Per poter calcolare il potere fonoisolante per i suddetti percorsi di trasmissione è necessario porre due ipotesi semplificative:

- i percorsi di trasmissione strutturale del suono sono tra di loro indipendenti;
- i percorsi di trasmissione di ordine superiore al secondo possono essere trascurati (ad esempio la trasmissione dovuta alle onde sonore che incidendo sulla struttura opposta a quella di separazione si trasmettono ad una struttura laterale e da questa all'ambiente ricevente).

3.1.2 Indice di riduzione delle vibrazioni

Il valore dell'indice di riduzione delle vibrazioni K_{ij} , grandezza fondamentale per il calcolo della trasmissione sonora laterale, può dunque essere dedotto da misurazioni, sulla base delle formule sopra riportate, oppure da stima empirica in base al metodo descritto nella appendice E della EN 12354-1, di seguito riportato.

L'indice di riduzione delle vibrazioni per giunti tra strutture omogenee che si mantengono invariate oltre la linea di separazione tra i due ambienti può essere calcolato 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:

$$M = \lg m'_{\perp i} / m'_i \quad (10)$$

Di seguito si riportano le formule ed i diagrammi per il calcolo di K per giunti rigidi tra strutture omogenee. Per il calcolo riferito a strutture leggere o a giunti elastici si rimanda all'appendice E del progetto di norma EN 12354-1, tenendo presente, comunque, che in questi casi il grado di incertezza del metodo è maggiore.

Giunti rigidi a croce

$$\begin{aligned} K_{13} &= 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2 \\ K_{12} &= 8,7 + 5,7 M^2 (= K_{23}) \end{aligned} \quad (11)$$

Giunti rigidi a T

$$\begin{aligned} K_{13} &= 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 \\ K_{12} &= 5,7 + 5,7 M^2 (= K_{23}) \end{aligned} \quad (12)$$

3.1.3 Conversione dei valori di laboratorio in valori "in situ"

I valori del potere fonoisolante delle diverse strutture R_i che vengono impiegati per il calcolo secondo il metodo descritto dalla EN 12354-1 devono essere corretti per tenere conto delle reali condizioni di vincolo delle strutture in opera.

Infatti, il potere fonoisolante di una struttura, per campo sonoro diffuso ed al di sopra della frequenza critica f_c (per le comuni partizioni edilizie è dell'ordine dei 200 Hz), è funzione dello smorzamento totale η_{tot} secondo la seguente relazione:

$$R = 20 \lg(m' f) + 10 \lg \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) + 10 \lg \eta_{tot} - 44 \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

dove m' è la massa superficiale della struttura in kg/m^2 .

Lo smorzamento totale η_{tot} dipende, oltre che dalle caratteristiche intrinseche del materiale (smorzamento interno), anche dalle condizioni di vincolo della struttura ed è funzione della frequenza e del tempo di riverberazione strutturale T_s :

$$\eta_{tot} = \frac{2,2}{f T_s} \quad (14)$$

Pertanto, se le condizioni di vincolo di una data parete provata in laboratorio non sono uguali a quelle di uso in opera ($\eta_{lab.} \neq \eta_{situ}$), il valore del potere fonoisolante deve essere corretto secondo la seguente formula:

$$R_{situ} = R_{lab.} + 10 \lg \frac{\eta_{situ}}{\eta_{lab.}} = R_{lab.} - 10 \lg \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab.}} \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

in cui $T_{s,lab.}$ e $T_{s,situ}$ sono rispettivamente i valori del tempo di riverberazione strutturale misurato o stimato in laboratorio e in opera.

3.1.4 Note critiche all'applicabilità del modello di calcolo per il calcolo del potere fonoisolante apparente R'

Vi sono essenzialmente tre contrapposti limiti alla applicabilità del modello CEN per la valutazione delle prestazioni in opera di elementi edilizi:

- l'affidabilità del metodo a fronte di un contesto che presenta notevoli margini di incertezza, soprattutto nella fase di messa in opera dei componenti;
- la scarsa disponibilità dei dati necessari per poter calcolare tutte le componenti della trasmissione laterale (poteri fonoisolanti, indici di riduzione delle vibrazioni, valori di miglioramento ΔR , tempi di riverberazione strutturale per tutte le strutture ed i giunti);
- la difficoltà di impiego del metodo da parte di non esperti, spesso non giustificata dalla differenza riscontrabile tra i valori calcolati di R ed R' .

L'affidabilità del modello dipende da differenti fattori: la validità dei dati di input (potere fonoisolante e massa superficiale delle diverse strutture, incrementi ΔR , ecc.), la corrispondenza tra modello e situazione reale, il tipo di elementi e di giunti coinvolti, l'accuratezza della messa in opera.

In generale non è possibile dare indicazioni precise sull'accuratezza del modello. Comunque misurazioni eseguite su strutture omogenee in muratura di laterizio, in gesso ed in calcestruzzo hanno evidenziato una deviazione standard di 1,5 - 2,5 dB dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente (i valori maggiori della deviazione si hanno con situazioni complesse e quando non si correggono i dati in base al tempo di riverberazione strutturale).

3.2 Calcolo del potere fonoisolante apparente tra due ambienti adiacenti: caso studio

Nelle pagine che seguono vengono riportati i risultati (figure 5-9) del calcolo del potere fonoisolante apparente, effettuato in base al metodo di calcolo della EN 12354-1, al confronto con i risultati delle misurazioni di potere fonoisolante effettuate nel laboratorio di acustica di Padova relativamente alle pareti in laterizio precedentemente descritte (schede 1, 2, 3, 5).

Per il calcolo delle prestazioni in opera delle pareti descritte (potere fonoisolante apparente), sono stati ipotizzati due ambienti adiacenti appartenenti a due distinte unità immobiliari di un edificio residenziale in linea.

Le caratteristiche dei due ambienti sono state lasciate invariate per le quattro simulazioni relative alle pareti esaminate, mentre di volta in volta è stata variata la natura della parete che costituisce la partizione. I solai dei due ambienti (pavimento e soffitto, codificati con i numeri 2,4, 6, 8) sono in laterocemento con travetti a traliccio e blocchi interposti in laterizio alti 20 cm di tipo A, con soprastante soletta spessa 4 cm ed intonaco all'intradosso. La parete di facciata (codici 1, 5) è in blocchi di laterizio alleggerito in pasta spessi 25 cm ed intonacati con 1,5 cm di malta su ambo i lati. La parete laterale interna (che costituisce il divisorio da altri ambienti della stessa unità immobiliare, codici 3, 7) è invece una tramezza in mattoni forati spessi 8 cm a fori orizzontali intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di malta.

Per ogni struttura laterale vengono riportate in tabella 3 i valori del potere fonoisolante facendo riferimento alla codificazione di figura 4.

Ai fini del calcolo con il metodo della normativa europea è stato inoltre necessario definire la tipologia dei giunti tra la parete di separazione in esame e le strutture laterali. A questo proposito si hanno tre giunti rigidi a croce ed un giunto rigido a T.

Nel calcolo teorico si è trascurata la presenza di porte e finestre che dovrebbe ridurre la trasmissione laterale per via strutturale ma può creare significativi percorsi di trasmissione aerea.

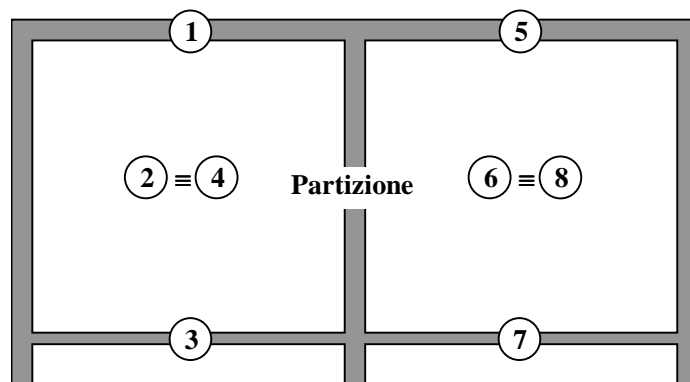


Figura 4: codificazione delle strutture laterali per gli ambienti esaminati.

	Potere fonoisolante in funzione della frequenza (terzi di ottava)																
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	R _w
Parete in blocchi alleggeriti (1, 5)	39.3	40.1	42.7	42.9	43.0	45.5	45.4	47.0	48.6	49.5	50.8	52.0	55.1	56.3	53.4	55.4	51.5
Parete in mattoni forati (3, 7)	32.4	29.7	29.3	30.6	33.2	35.1	36.9	39.3	40	40.8	42.7	44.9	45.9	46.9	47.8	49.7	42.5
Solaio 20+4 in laterocemento (2, 4, 6, 8)	41.1	40.1	41.7	42.8	42.8	44.9	42.4	42.5	46.3	48.3	49.3	52.4	54.2	52.4	53.1	58.5	50

Tabella 3: valore del potere fonoisolante delle strutture laterali (dati provenienti dalla campagna di misure condotte presso il laboratorio dell'Università di Parma per conto dell'ANDIL).

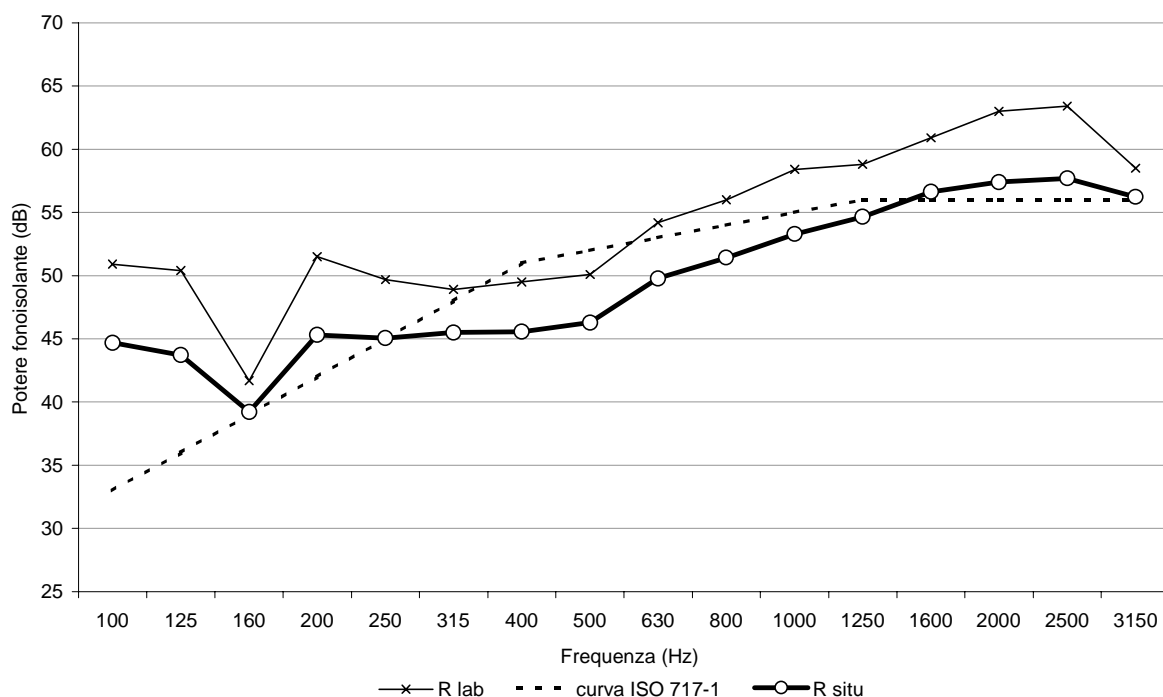


Figura 5: parete realizzata con blocchi speciali per muratura armata a forma di "H" in laterizio alveolato con fori riempiti di malta (25×16,5×30 cm), intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 1).

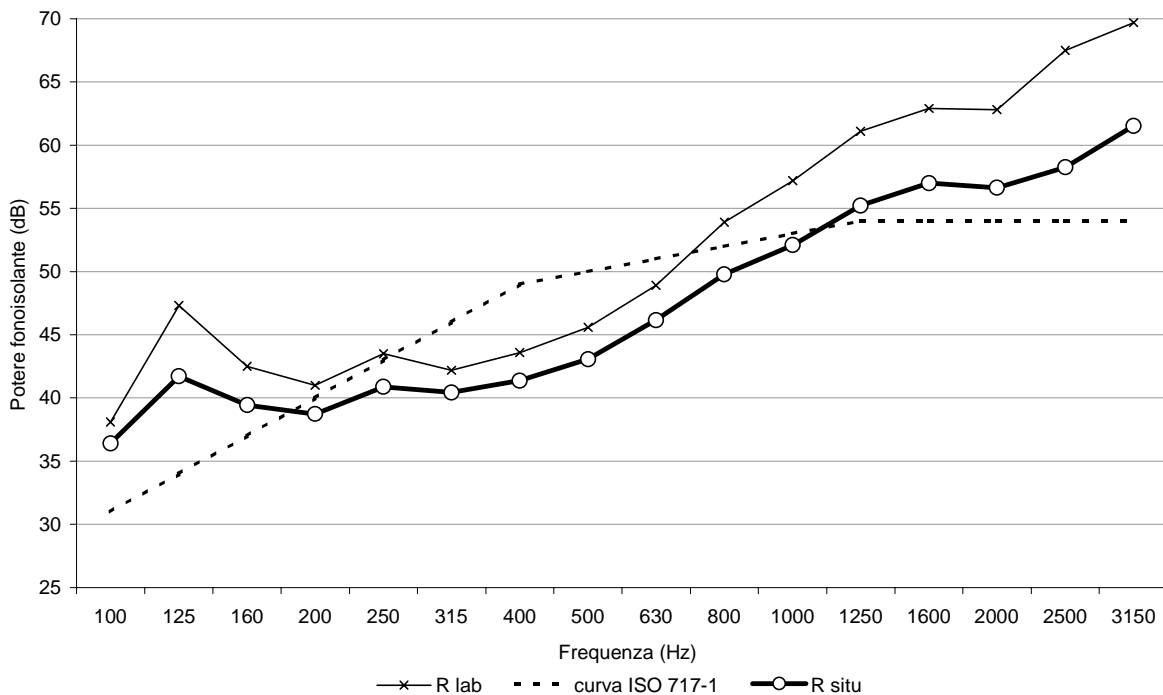


Figura 6: parete realizzata con blocchi a “T” in laterizio alveolato (25×16,5×17 cm), con tagli verticali, montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm); intercapedine da 3 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 3).

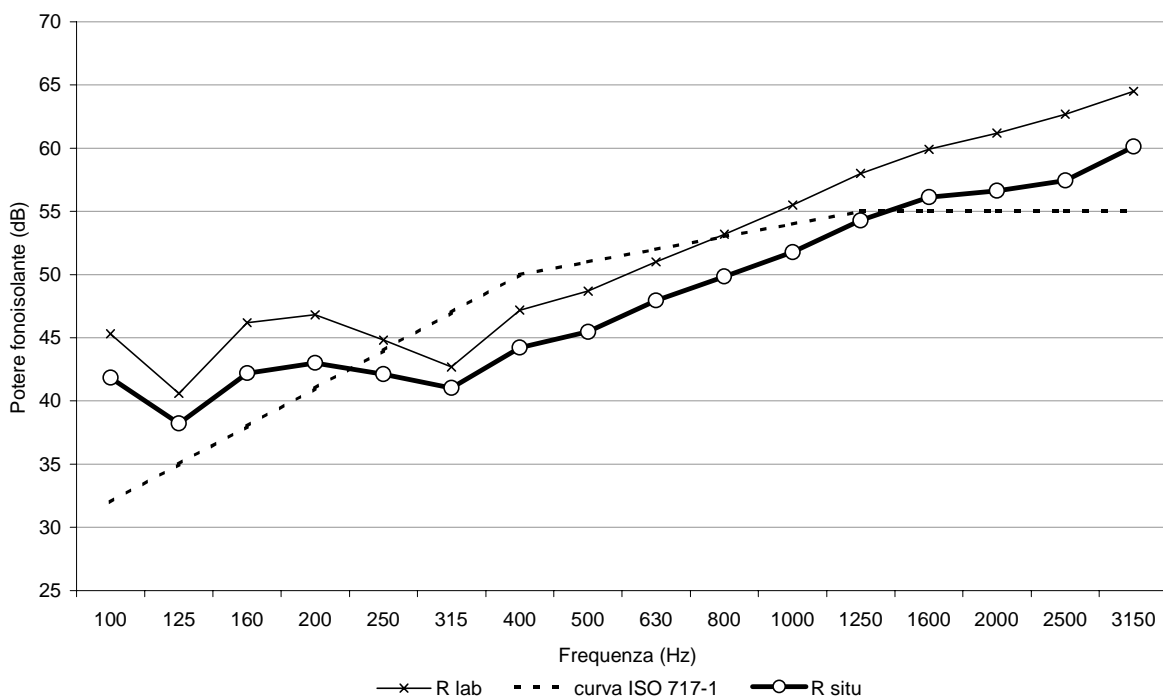


Figura 7: Parete realizzata con blocchi in laterizio alveolato (50×20×18 cm) riempiti di malta, intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 2).

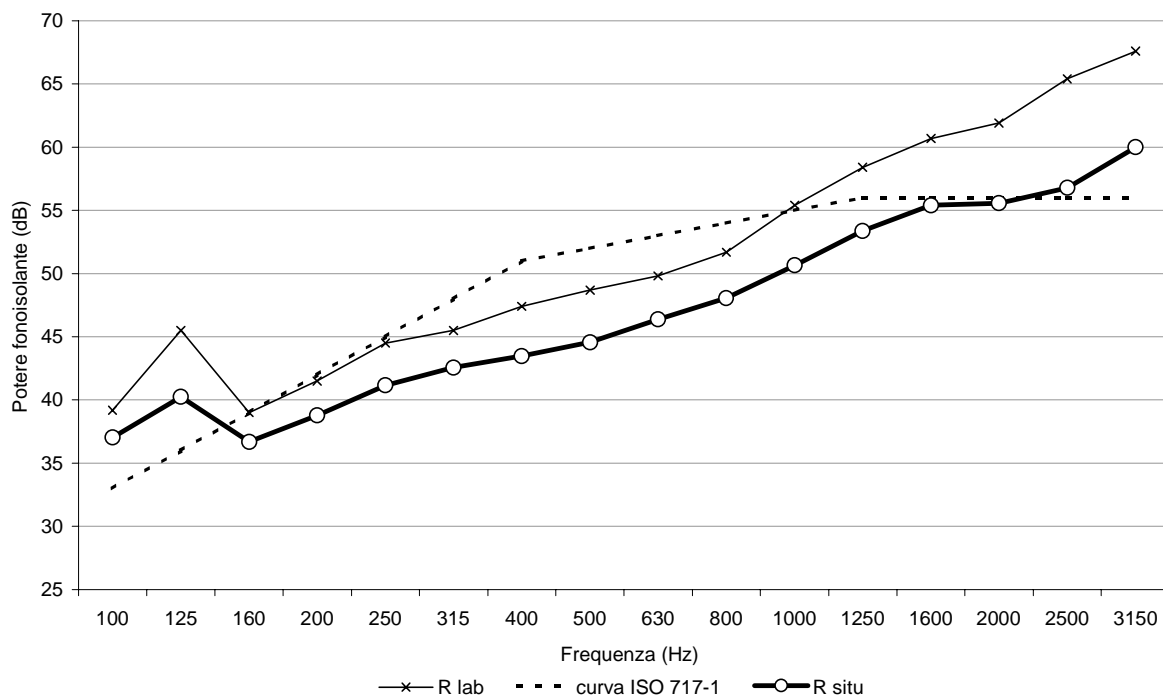


Figura 8: Parete realizzata con tavolato in tramezze normali (25×25×8 cm); intercapedine da 12 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 5).

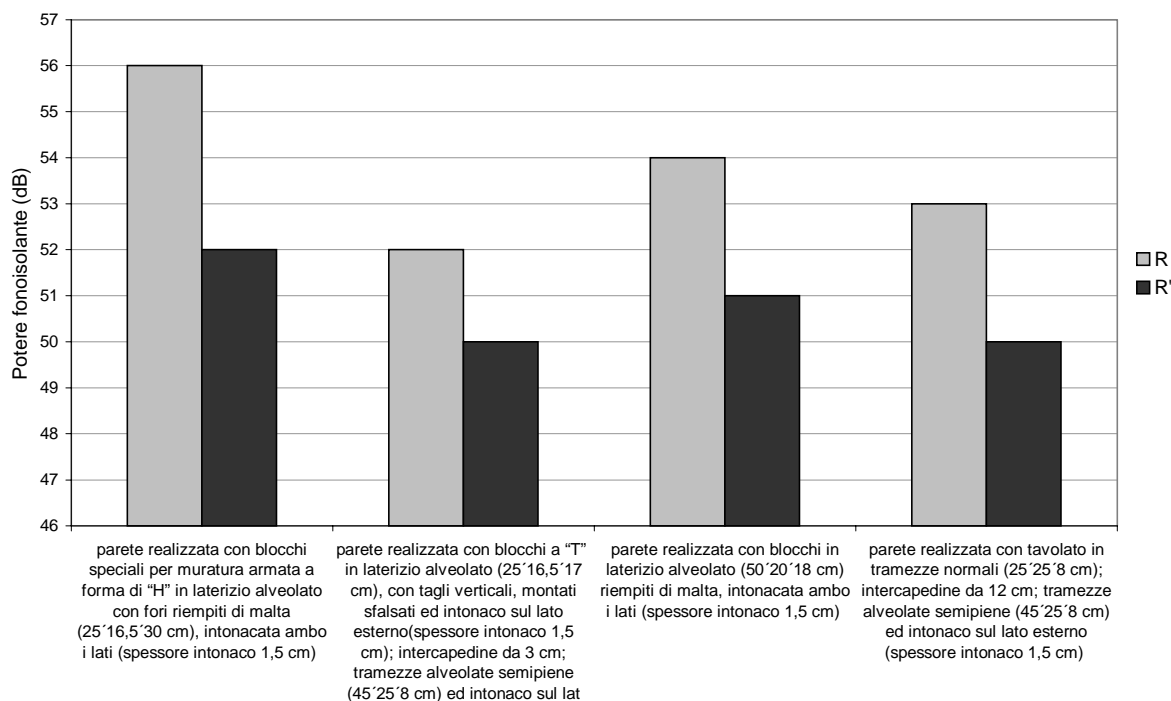


Figura 9: riepilogo dei risultati delle misure e delle simulazioni in termini di indici di valutazione del potere fonoisolante.

Dai risultati delle simulazioni si osserva che la riduzione del potere fonoisolante delle pareti esaminate per la posa in opera nelle condizioni sopra specificate è compresa tra 2 e 4 dB. Si sottolinea che i risultati del calcolo possono essere affetti da errori significativi se le condizioni di posa in opera si discostano da quelle descritte e se le caratteristiche delle strutture laterali (pareti e solai) non corrispondono alle ipotesi fatte.

3.3 Confronto tra risultati teorici e sperimentali di potere fonoisolante apparente: il Laboratorio Sperimentale Aperto di Trento

Tipicamente, la verifica delle prestazioni acustiche di pareti si esegue con riferimento alle partizioni tra unità immobiliari adiacenti in edifici residenziali, come nel caso studio presentato.

In tale situazione, si ha in genere una parete laterale di facciata, che forma 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 (tramezzo leggero). Tale parete forma con la partizione un nodo a croce. Inoltre si hanno 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 piano ultimo).

Al fine di validare il metodo di calcolo descritto dalla EN 12354-1 rispetto alle tipologie di strutture tipicamente realizzate in Italia (il modello è stato definito in contesto Nord Europeo, dove esistono altre pratiche ed altri materiali per le costruzioni) è stato utilizzato il Laboratorio Sperimentale Aperto (LSA) gestito dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento, che riproduce configurazioni di prova caratteristiche delle comuni realtà costruttive nazionali.

Il LSA è un edificio a due piani (piano terra e primo piano) con scheletro portante in cemento armato e tamponature in blocchi di laterizio alveolato dello spessore di cm 30 con finitura di intonaco civile isolante. La chiusura orizzontale intermedia è realizzata da un solaio in laterocemento 20+4 con una finitura all'intradosso di intonaco civile (spessore cm 2) e una parte all'estradosso costituita da una caldana di cm.5. La chiusura orizzontale di copertura è realizzata da un solaio in laterocemento 20+4 con una finitura interna di intonaco civile (spessore cm 2) e un rivestimento esterno costituito da una guaina isolante di conglomerato polimerico bituminoso. Nelle tamponature sono presenti otto aperture, sette delle quali sono finestre (tre sulla facciata est, tre sulla facciata ovest e una su quella sud) e un vano porta di accesso sulla facciata nord.

Per effettuare le prove acustiche il primo piano del LSA è stato modificato rispetto alla sua configurazione originaria, e allestito come di seguito specificato.

1. Il vano porta di accesso è stato dotato di una porta costituita da un pannello tamburato in legno di abete bianco con interposto un isolante espanso rigido estruso in polistirene della spessore di cm 5. La porta è posta in opera a battuta interna ed è collegata alla muratura tramite un telaio in legno a doppia battuta con guarnizione, è stata anche interposta una guaina isolante fra telaio e vano murario; il telaio prosegue anche nella parte inferiore per realizzare a terra una idonea battuta di tenuta.
2. Tre finestre (quella a sud, una sulla facciata est e una su quella ovest) sono state tamponate con gli stessi blocchi utilizzati per la costruzione delle tamponature laterali dell'edificio, con successiva intonacatura.
3. Le quattro finestre rimanenti sono state dotate di serramenti a un'anta, con telaio in alluminio a tripla battuta e taglio termico (dimensioni esterne 90x120 cmq), con un

pannello in vetrocamera 4-15-4. Fra il telaio fisso e la muratura è stato interposto uno strato di poliuretano espanso impregnato con resina per agevolare la correlazione fra le parti del giunto di interfaccia. All'esterno così come all'interno sono state chiuse le fessure fra il telaio fisso e la muratura con del sigillante siliconico; il giunto vetro-telaio mobile, invece, è stato realizzato tramite due guarnizioni fermavetro in gomma opportunamente unite al telaio in alluminio.

4. Lo spazio interno è stato suddiviso in tre zone per simulare la presenza di due distinte unità immobiliari (o appartamenti) collegate tramite un corridoio. La parete che separa il corridoio dalle due stanze interne è una parete monostrato realizzata con mattoni pieni UNI intonacati con intonaco civile dello spessore di cm 1.5. Sono stati realizzati solo nodi rigidi a T tra la partizione e le strutture laterali. Questo risulta penalizzante per le pareti in prova, fornendo valori del potere fonoisolante apparente inferiori a quelli rilevabili in molte situazioni reali. I nodi a T infatti trasmettono generalmente 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. In tale parete sono stati ricavati due vani porta per garantire l'accesso alle stanze di prova, dotati di due porte in abete bianco a un'anta e doppia battuta con idonea guarnizione, costituite da un'anima da mm 10 di cartongesso, due strati di nido d'ape da mm 13, due strati di medium density da mm 4, due strati di laminato da mm 0.9. Il telaio prosegue anche nella parte inferiore per realizzare una idonea battuta inferiore a tenuta. Con la creazione della parete laterale descritta si è venuto a formare un corridoio che mette in comunicazione i due ambienti (spazio usato anche come area di controllo). Poiché tale corridoio può costituire un significativo percorso di trasmissione aerea del suono proveniente dall'ambiente disturbante attraverso la porta è stata anche realizzata una parete leggera che separa in due parti il corridoio in corrispondenza della parete in prova. In tale parete è stata infine collocata una porta per mantenere il collegamento tra i due ambienti di misura. Al fine di non avere influenza sulla trasmissione delle vibrazioni attraverso il giunto tra partizione in prova ed il tramezzo laterale la parete in oggetto è stata realizzata in pannelli leggeri, dotati di ridotta massa e non in grado di influenzare la trasmissione delle vibrazione attraverso il giunto.

Nel laboratorio di Trento sono state provate diverse pareti in laterizio, per alcune delle quali è stata effettuata anche la prova presso il laboratorio dell'Università di Padova, secondo la metodologia standard della ISO 140-3.

Gli elementi di partizione in laterizio sono stati posati in opera sempre dalla stessa squadra di operai dell'Impresa GARBARI s.p.a. – Costruzioni edili di Trento.

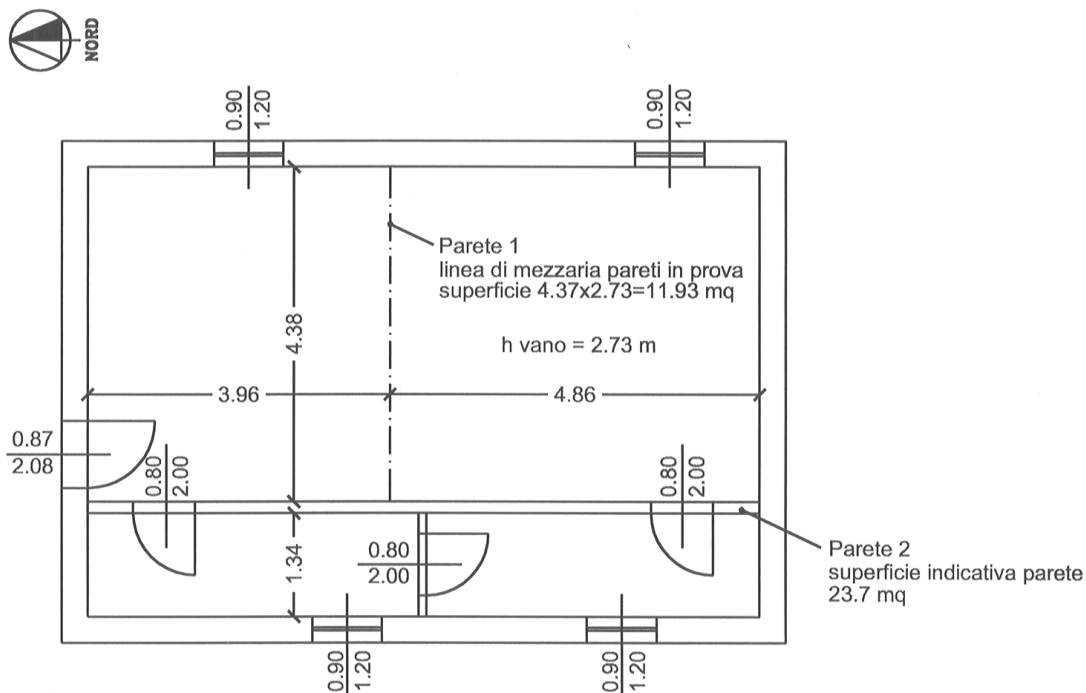


Figura 10: pianta del Laboratorio Sperimentale Aperto di Trento.

Per ciascuna parete sono state eseguite le seguenti prove:

- misurazioni di potere fonoisolante apparente R' a norma ISO 140-3;
- misurazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni secondo il progetto di norma europea CEN TC 126 WG6; in particolare la determinazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni ha richiesto la misura delle seguenti grandezze:
 - livello di velocità di vibrazione di tutte le strutture dei due ambienti (partizione e strutture laterali) in differenti punti delle medesime, con eccitazione strutturale impulsiva;
 - tempo di riverberazione strutturale delle medesime strutture.

Il livello di velocità di vibrazione è stato determinato analizzando separatamente i dodici percorsi di trasmissione strutturale del suono (figura 3), per ciascun dei quali è stata fatta la misura nelle due direzioni. Tutte le misurazioni sono state eseguite in bande di frequenza di 1/3 ottava da 100 a 5000 Hz.

I risultati delle misure della differenza di velocità di vibrazione e dei tempi di riverbero sono stati impiegati per il calcolo dell'indice di riduzione delle vibrazioni al fine del calcolo del potere fonoisolante apparente secondo la EN 12354-1.

In definitiva, la campagna di misurazioni eseguite ha permesso di confrontare il risultato ottenuto del potere fonoisolante apparente (linea a tratti nei due diagrammi che seguono) con quello previsto secondo il modello di calcolo della normativa europea (linea in grassetto).

Nel calcolo del potere fonoisolante apparente secondo la EN 12354-1 sono stati impiegati i dati del potere fonoisolante di laboratorio della parete di separazione (provata a Padova, schede 2 e 3), delle diverse strutture laterali (provate a Parma o dedotti da stima teorica) ed i dati dell'indice di riduzione delle vibrazioni (misurato a Trento).

I grafici che seguono mostrano il confronto tra dati sperimentali e dato teorico (linea in grassetto) del potere fonoisolante apparente di due partizioni.

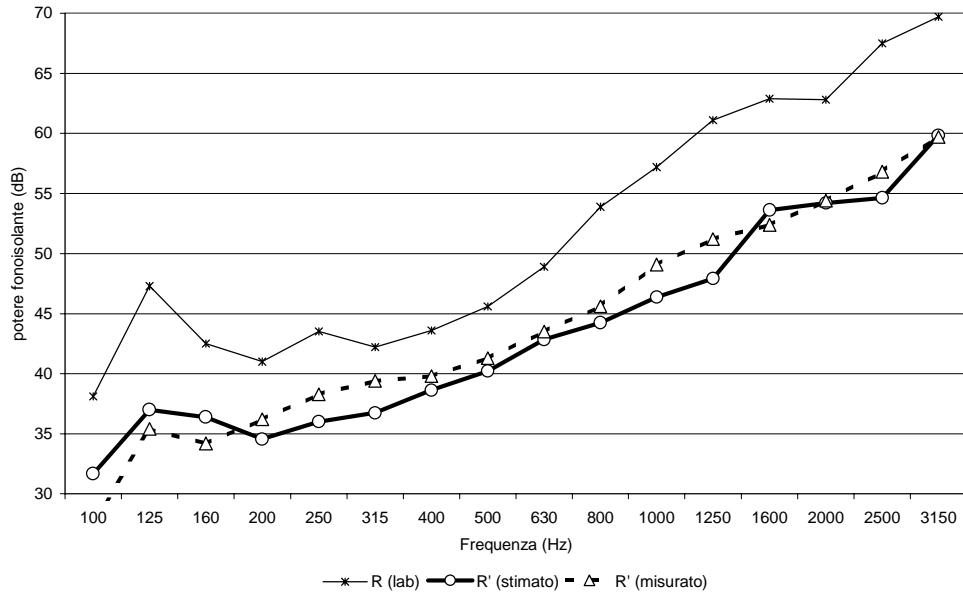


Figura 11: parete realizzata con blocchi a “T” in laterizio alveolato (25×16,5×17 cm), con tagli verticali, montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm); intercapedine da 3 cm; tramezze alveolate semipiene (45×25×8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 3).

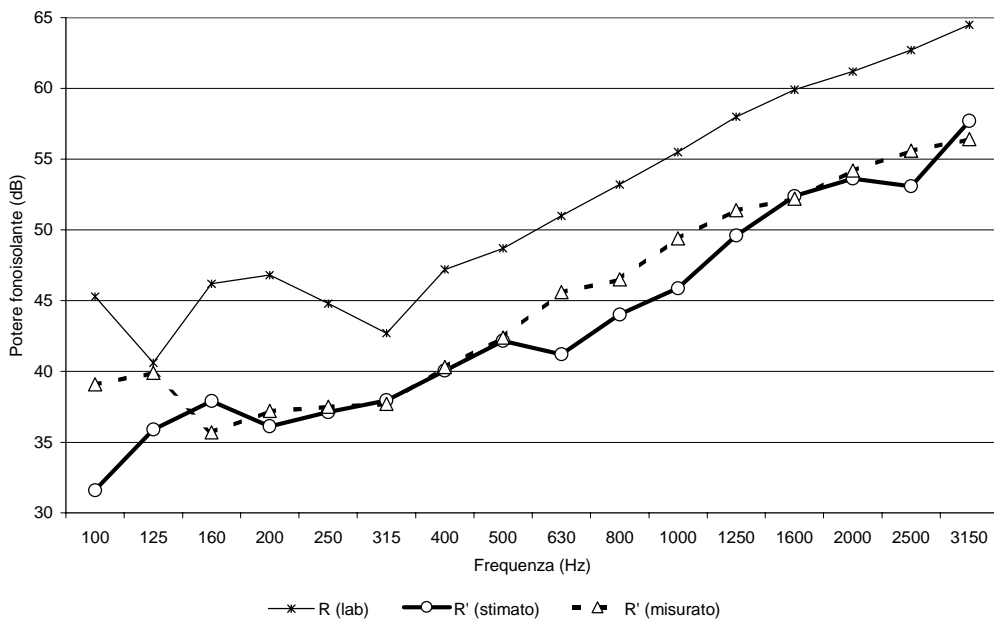


Figura 12: parete realizzata con blocchi in laterizio alveolato (50×20×18 cm) riempiti di malta, intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) (scheda 2).

Dal confronto emerge una buona affidabilità del metodo di calcolo definito dalla normativa europea EN 12354-1. I valori stimati del poterefonoisolante apparente sono molto prossimi (per alcune frequenze coincidenti) con quelli misurati. La notevole perdita di prestazione da parte delle due pareti esaminate è da attribuirsi alla particolarità delle condizioni di prova che sono risultate più sfavorevoli di quelle tipicamente riscontrabili nei casi reali.

4. Conclusioni

Dai risultati delle misure di laboratorio si può osservare che quasi tutte le tipologie di pareti provate hanno fornito risultati dell'indice di valutazione del potere fonoisolante superiori a 50 dB.

È stato poi predisposto un modello di previsione semplificato dell'isolamento acustico di pareti verticali interne appositamente verificato su strutture in laterizio.

Utilizzando questo modello di previsione sono state individuate alcune tipologie edilizie di pareti verticali interne in grado di garantire isolamenti acustici in opera ($R'w$) superiori o uguali a 50 dB. L'affidabilità del modello di previsione è stata verificata con misure dirette di trasmissione laterale ed è risultata molto buona a quasi tutte le frequenze.

5. Bibliografia

- [1] D.P.C.M. 5/12/97, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, in G.U. 297, 22-12-97.
- [2] EN 12354-1, Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 1, airborne sound insulation between rooms.
- [3] UNI Progetto di norma U20.00.078, Acustica in edilizia; prestazioni acustiche degli edifici; linee guida per il calcolo di progetto e di verifica.
- [4] ISO/CD 10848, Acoustics - measurements of flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms, 1999.
- [5] ISO 140-3, Acoustics - measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements, part 3: laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
- [6] A. Farina, G. Raffellini, Potere fonoisolante di murature in laterizio: verifiche sperimentali di laboratorio e considerazioni applicative, *Costruire in Laterizio*, n°23/91, pp378-385.
- [7] G. Di Cesare, A. Farina, R. Pompoli, G. Raffellini, L'isolamento acustico di pareti in laterizio impiegate nella tecnologia edilizia italiana - risultati sperimentali e considerazioni, Atti del "9th International Brick/Block Masonry Conference", Berlino 13-16 Ottobre 1991.
- [8] A. Cocchi, A. Farina, P. Fausti, R. Pompoli, G. Semprini, Prestazioni acustiche dei solai in laterizio, *Costruire in Laterizio*, n° 38/94, pp156-163.
- [9] G. Raffellini, G. Cellai, L'isolamento acustico di divisori in laterizio forato: verifiche sperimentali e metodi previsionali, *Costruire in Laterizio*, n°40/94, pp355-361.
- [10] Pompoli R., Fausti P., Isolamento acustico di strutture divisorie in laterizio, *Costruire in laterizio*, n° 52-53, 1996.
- [11] L. Rocco, La normativa europea in materia di protezione e qualificazione acustica degli edifici, *Costruire in Laterizio*, n° 23/91, pp370-377.
- [12] E. Brosio, Esempi di progettazione e realizzazione. Mezzi di previsione delle prestazioni acustiche di materiali e componenti, *Rivista Italiana di Acustica*, vol X, n° 4, Dicembre 1986.
- [13] R. Pompoli, S. Secchi, Isolamento acustico delle facciate: confronto normativo, metodi di calcolo e verifiche sperimentali, *Costruire in Laterizio*, n°73/2000, pp 62-67.
- [14] M. Garai, S. Secchi, G. Semprini, Prestazioni acustiche degli edifici - Calcolo a partire dalle prestazioni dei componenti secondo le nuove disposizioni legislative e normative, Maggioli editore, 2000.