

# Verifica delle prestazioni acustiche di divisori interni

**Una ricerca, condotta in collaborazione tra Andil Assolaterizi e Università di Ferrara, Padova e Trento, ha permesso di verificare l'affidabilità del metodo definito dalla normativa europea per la stima delle prestazioni acustiche in opere dei divisori in laterizio. Un foglio elettronico, disponibile sul sito [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it) permette l'uso semplificato del metodo della normativa europea e contiene un ampio *data base* di partizioni in laterizio con prestazioni acustiche certificate**

**N**el numero 83 (settembre-ottobre 2001) di *Costruire in Laterizio*<sup>[1]</sup> sono stati presentati i risultati di una ricerca inerente la verifica delle prestazioni acustiche di pareti in laterizio normale ed alleggerito in pasta.

Nell'ambito della ricerca è stato misurato, presso il Laboratorio di Acustica dell'Università di Padova, il potere fonoisolante di oltre quindici differenti pareti in elementi di laterizio. I risultati completi sono stati riportati in forma di tabella nel citato numero della rivista, unitamente alla descrizione dei criteri di misura e di un metodo per ricavare, dai dati di laboratorio riportati, i corrispondenti valori della prestazione in opera.

È noto, infatti, come il maggior problema introdotto dal decreto 5 dicembre 1997<sup>[2]</sup> sia la necessità di certificare, già in fase di richiesta di concessione edilizia, le prestazioni acustiche che caratterizzeranno l'edificio a lavori ultimati. Le prestazioni acustiche offerte in opera da un divisorio, ovvero, nel caso dell'isolamento ai rumori aerei, il potere fonoisolante apparente, possono essere stimate difficilmente in fase progettuale perché vi sono molteplici fattori che hanno un'influenza determinante, ma che non possono essere previsti con esattezza. Basti pensare, ad esempio, alla diversa accuratezza con cui vengono realizzati i giunti di malta orizzontali e verticali tra i diversi elementi costituenti la parete, allo spessore dell'intonaco, alla presenza di discontinuità nella struttura del divisorio che possono essere rappresentate da vari tipi di condotti di impianti. Se si trascurano tutti questi fattori richiamandosi al concetto della "costruzione a regola d'arte", rimane tuttavia un fattore che penalizza sempre le prestazioni acustiche in opera di un divisorio rispetto a quelle misurate in laboratorio. Si tratta della trasmissione di energia sonora che avviene attraverso le strutture laterali dei due ambienti confinanti. Questa forma di

trasmissione sonora strutturale può ridurre il valore del potere fonoisolante misurato in laboratorio di alcuni decibel. 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 da una recente normativa europea<sup>[3]</sup> e descritto in sintesi nel numero prima citato della rivista<sup>[1]</sup>. Applicando il suddetto metodo di calcolo ad un caso tipico di realizzazione, è stato quindi mostrato come, per le pareti esaminate nell'ambito della ricerca, il decadimento di prestazione sia variabile tra 1 e 3 dB<sup>1</sup>.

Poiché il metodo di calcolo utilizzato, definito nella normativa europea<sup>[3]</sup>, è stato elaborato sulla base di esperienze sperimentali condotte prevalentemente su tipologie di partizioni in uso nei Paesi del nord Europa, nell'ambito della ricerca si è voluto verificarne l'affidabilità anche in riferimento a tipologie di divisori in elementi di laterizio comunemente utilizzate nel nostro Paese.

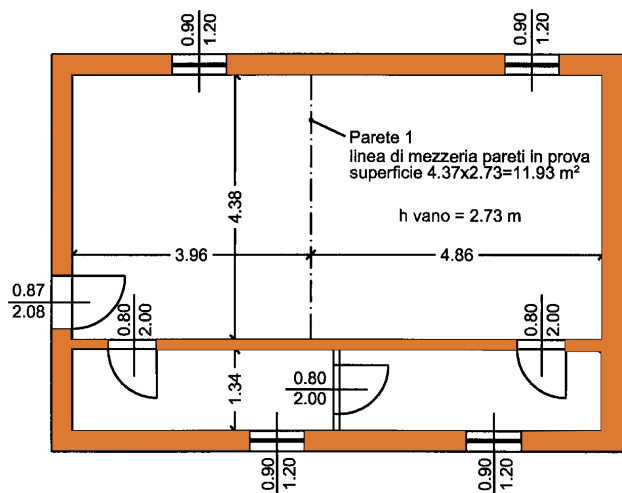
A questo proposito sono state provate diverse pareti in laterizio, realizzate sempre dalla stessa squadra di operai, in un edificio sperimentale che riproduce una situazione di reale posa in opera dei divisori con trasmissioni laterali significative. Per alcune di queste pareti è stata effettuata anche la prova presso il laboratorio dell'Università di Padova, secondo la metodologia standard della normativa internazionale<sup>2</sup>. I relativi risultati, già presentati nel numero 83 della rivista, sono qui posti a confronto con quelli ottenuti nell'edificio sperimentale che riproduce situazioni di posa in opera particolarmente svantaggiose. La campagna di misurazioni eseguite ha permesso infine di confrontare il valore misurato del potere fonoisolante apparente con quello previsto secondo il modello di calcolo della normativa europea.

Nell'articolo viene inoltre riportata la guida all'uso di un foglio elettronico messo a punto per consentire di gestire con facilità i diversi passaggi necessari per il calcolo del potere fonoisolante apparente, scaricabile direttamente dal sito web dell'Andil Assolaterizi ([www.laterizio.it](http://www.laterizio.it)).

**Le misure in opera** Al fine di verificare l'affidabilità del metodo di calcolo citato rispetto alle diverse tipologie di pareti in laterizio, è stato utilizzato un edificio sperimentale (Laboratorio Sperimentale Aperto - LSA), gestito dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Trento, che riproduce configurazioni di posa in opera caratteristiche di realtà costruttive nazionali, ma particolarmente onerose dal punto di vista delle trasmissioni laterali.

Il Laboratorio Sperimentale Aperto è un edificio a due piani con struttura portante in cemento armato e tamponature in blocchi di laterizio alveolato spessi 30 cm con finitura ad intonaco civile isolante su ambo i lati. I solai sono in laterocemento con blocchi alti 20 cm e soletta spessa circa 4 cm, con finitura ad intonaco civile all'intradosso.

Per effettuare le prove acustiche, il primo piano dell'edificio 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 quindi realizzata con mattoni pieni 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 (figura 1).



1. Pianta del 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. 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 (solitamente costituita da un tramezzo leggero) e

che forma un nodo a croce con la partizione. 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)<sup>3</sup>.

Nell'edificio sperimentale di Trento, per esigenze costruttive, sono stati invece realizzati solo nodi rigidi a T tra la 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 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, realizzando una parete in mattoni pieni invece di un comune tramezzo in mattoni forati. In tale parete sono stati inoltre ricavati due vani porta per garantire l'accesso alle stanze di prova dal corridoio - vano tecnico. Poiché il corridoio poteva 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, quest'ultima parete è stata realizzata in pannelli leggeri, dotati di ridotta massa e non in grado di influenzare la trasmissione delle vibrazioni attraverso il giunto.

**Calcolo della prestazione acustica in opera dei divisorii** Il metodo di calcolo del potere fonoisolante apparente definito nella normativa europea è stato già presentato nelle sue linee essenziali nel numero 83 della rivista. Per un approfondimento maggiore sul metodo si rimanda ai riferimenti riportati in bibliografia.

Vengono qui richiamate le espressioni più importanti del metodo di calcolo perché necessarie per la comprensione dei risultati della ricerca.

In particolare, la formula che segue (1) consente il calcolo del potere fonoisolante apparente  $R'$  di un divisorio a partire dai valori del potere fonoisolante del divisorio stesso ( $R_d$ , misurato in laboratorio senza trasmissioni laterali) e del potere fonoisolante relativo ai diversi percorsi di trasmissione strutturale laterale ( $R_{ij}$ ):

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

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 so-

nora. Nei casi più correnti, si verificano dodici percorsi di trasmissione laterale per ogni divisorio tra due ambienti (tre percorsi per ogni giunto laterale).

Il potere fonoisolante  $R_{ij}$  relativo ai diversi percorsi di trasmissione sonora 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:

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

L'indice di riduzione delle vibrazioni,  $K_{ij}$ , 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:

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

Nella formula,  $D_{vij}$  e  $D_{vji}$  sono rispettivamente la differenza tra i livelli medi di velocità di vibrazione che si stabiliscono nelle due strutture avendo sollecitato in un caso la struttura  $i$  e nell'altro la  $j$ ;  $l_{ij}$  è la lunghezza del giunto,  $a_i$  e  $a_j$  sono le lunghezze di assorbimento equivalenti delle strutture laterali  $i$  e  $j$ , date da:

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

con  $T_{si}$  tempo di riverberazione strutturale della struttura  $i$ . Il valore dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  può essere dedotto da misurazioni, sulla base delle formule riportate, oppure da stima empirica, in base al metodo descritto nell'appendice E della norma EN 12354-1 [2].

La misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$  si può effettuare secondo diverse metodiche previste dal progetto di norma ISO/CD 10848[6]. In particolare, sono descritti 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.

Senza entrare nello specifico delle diverse alternative, per le quali si rimanda al testo del progetto di norma, nel caso in questione è stato impiegato il metodo diretto con sollecitazione strutturale delle partizioni. Tale metodo è raccomandato dal progetto di norma citato per la valutazione dell'indice  $K_{ij}$  nel caso di giunzioni strutturali tra elementi massicci e quindi si adatta bene al caso in esame.

Per la misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni vi

sono specifiche relative al numero minimo di punti di misura della velocità di vibrazione e di sollecitazione delle strutture ed alla distanza minima 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 plastificata.

La valutazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni relativa 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. Per ogni struttura è quindi necessario determinare il tempo di riverberazione strutturale secondo la metodologia descritta dalla appendice E della norma ISO 140-3[3].

### Risultati delle misure dell'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 per ogni divisorio in prova. Le postazioni di misura e di sollecitazione sono state mantenute costanti per tutta la campagna di misurazioni.

Per le partizioni doppie sono stati necessari ulteriori punti di misurazione e di sollecitazione strutturale.

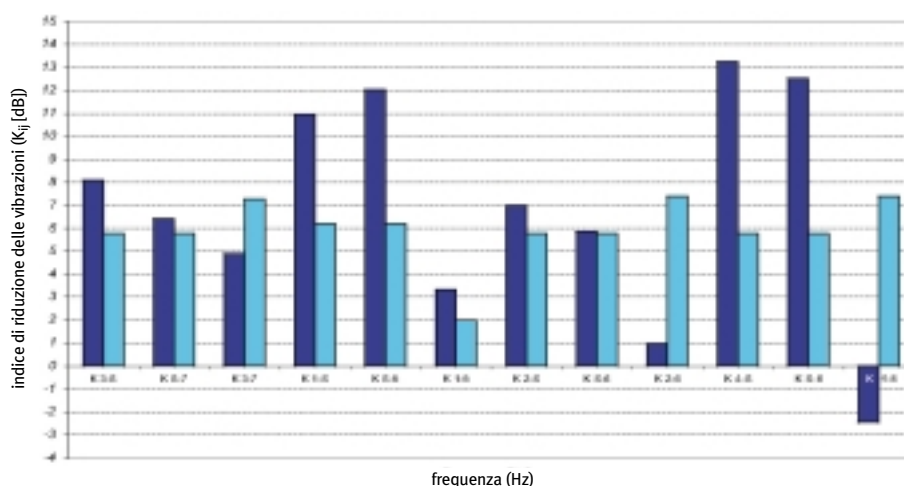
Sia per le misure di differenza di livello di velocità che per quelle di riverbero strutturale gli accelerometri sono stati fissati in modo rigido alle partizioni mediante tasselli di metallo. I grafici di figura 2 e 3 mostrano il confronto dell'indice di riduzione delle vibrazioni per due tipologie di pareti, ottenuto sperimentalmente e teoricamente per i 12 percorsi di trasmissione laterale del suono. 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 fornisce, nel caso di giunzioni rigide tra strutture massicce, valori dell'indice  $K_{ij}$  indipendenti dalla frequenza<sup>4</sup>, la misura dell'indice di riduzione delle vibrazioni fornisce valori dipendenti dalla frequenza<sup>5</sup>.

Per la presentazione dei risultati è stata impiegata una codificazione numerica delle strutture laterali. In particolare, i numeri pari indicano i solai delle due camere, mentre quelli dispari le pareti laterali (muratura di facciata e tramezzo interno). La partizione, diversa per ogni prova, è indicata con la lettera S.

Confronto fra indice di riduzione delle vibrazioni *sperimentale* e *teorico* (media fra 200 e 1000 Hz) relativo ad ogni percorso di trasmissione strutturale laterale

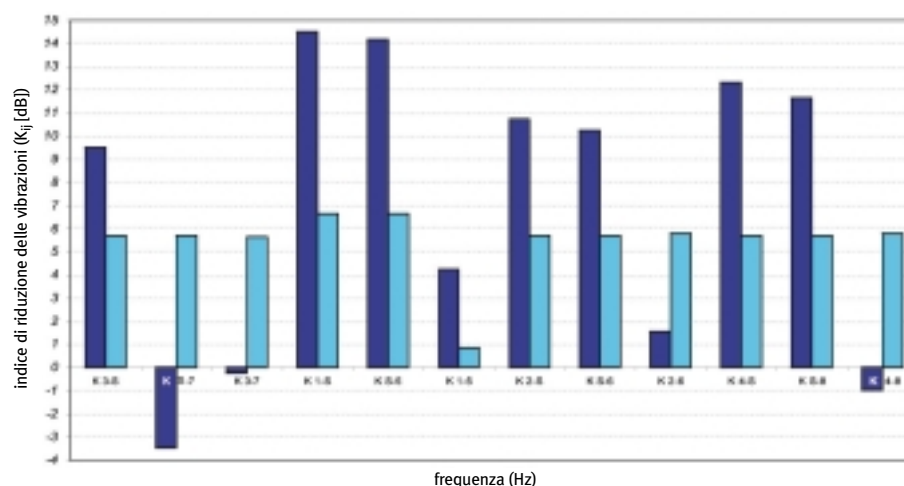
| $K_{ij}$ | Sperimentale | Teorico |
|----------|--------------|---------|
| K3-S     | 8,09         | 5,76    |
| KS-7     | 6,41         | 5,76    |
| K3-7     | 4,89         | 7,26    |
| K1-S     | 10,96        | 6,21    |
| KS-5     | 12,03        | 6,21    |
| K1-5     | 3,33         | 1,98    |
| K2-S     | 7,00         | 5,78    |
| KS-6     | 5,86         | 5,78    |
| K2-6     | 0,97         | 7,40    |
| K4-S     | 13,23        | 5,78    |
| KS-8     | 12,51        | 5,78    |
| K4-8     | -2,44        | 7,40    |



2. Confronto riassuntivo fra  $K_{ij}$  sperimentale e teorico per una parete in blocchi di laterizio spessi 18 cm, alleggeriti in pasta, con tre fori verticali riempiti in malta, intonacata con 1.5 cm di malta su ambo i lati.

Confronto fra indice di riduzione delle vibrazioni *sperimentale* e *teorico* (media fra 200 e 1000 Hz) relativo ad ogni percorso di trasmissione strutturale laterale

| $K_{ij}$ | Sperimentale | Teorico |
|----------|--------------|---------|
| K3-S     | 9,51         | 5,70    |
| KS-7     | -3,47        | 5,70    |
| K3-7     | -0,24        | 5,66    |
| K1-S     | 14,51        | 6,66    |
| KS-5     | 14,18        | 6,66    |
| K1-5     | 4,25         | 0,88    |
| K2-S     | 10,74        | 5,70    |
| KS-6     | 10,24        | 5,70    |
| K2-6     | 1,57         | 5,79    |
| K4-S     | 12,31        | 5,70    |
| KS-8     | 11,64        | 5,70    |
| K4-8     | -0,95        | 5,79    |



3. Confronto riassuntivo fra  $K_{ij}$  sperimentale e teorico per una parete doppia con uno strato in blocchi a T, intercapedine ed uno strato di mattoni forati spessi 8 cm, intonacata con 1.5 cm di malta su ambo i lati.

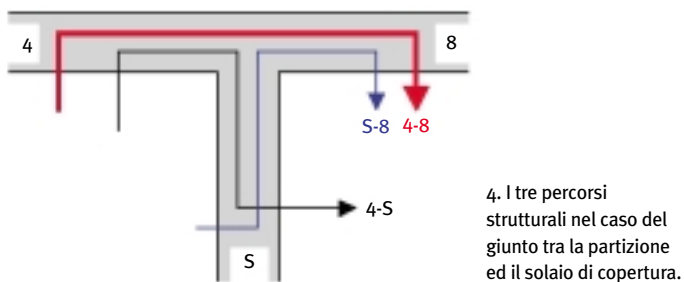
In generale, la corrispondenza tra dato misurato e stima teorica risulta migliore per la pareti monostrato. Il metodo di stima empirica è stato infatti utilizzato anche per le pareti doppie anche se in questi casi il grado di affidabilità del metodo è ridotto.

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 misura molto differente rispetto alla stima teorica.

In particolare, il giunto tra le strutture 4 (soffitto camera sorgente), S (partizione) e 8 (soffitto camera ricevente) presenta valori molto diversi dalla previsione per i tre percorsi di trasmissione sonora (4 - S; S - 8; 4 - 8) che lo interessano.

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 (soffitto) si può trasmettere quasi inalterata dal locale sorgente a quello ricevente.



Per lo stesso motivo di scarsa consistenza del giunto, 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.

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 ammortatura tra le pareti.

Viceversa, i valori dell'indice di riduzione delle vibrazioni relativi alla parete doppia sono generalmente caratterizzati da minore affidabilità per i motivi suddetti.

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 e 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, 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 che seguono sono riportati gli andamenti in funzione della frequenza del potere fonoisolante relativo ai diversi percorsi di trasmissione sonora (12 percorsi laterali più uno diretto).

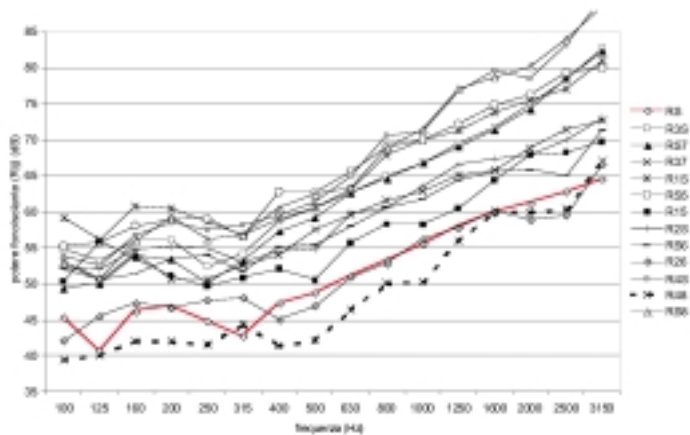
Il potere fonoisolante  $R_{ij}$ , relativo al percorso di trasmissione  $ij$ , è connesso con la quantità di energia sonora trasmessa attraverso questo percorso per effetto dell'energia sonora che incide sulla struttura laterale  $i$  dell'ambiente sor-

gente. 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.

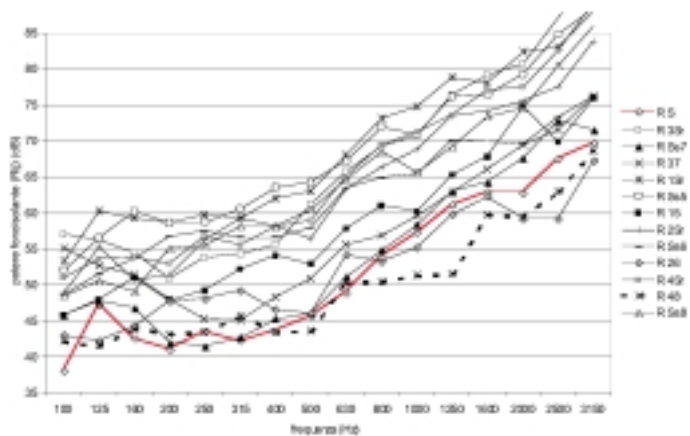
In genere, i valori del potere fonoisolante relativi ai percorsi di trasmissione laterale ( $R_{ij}$ ) sono maggiori rispetto a quello relativo alla struttura di separazione tra i due ambienti (trasmissione diretta,  $R_s$  o  $R_d$ ). In questi casi, la trasmissione avviene principalmente per via diretta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

Vi possono però essere casi in cui uno o più percorsi di trasmissione laterale siano caratterizzati da valori 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 relativi ai diversi percorsi di trasmissione sonora si utilizza la formula(2);



5. Valori del potere fonoisolante relativi alla trasmissione diretta (linea rossa) e laterale, per i diversi percorsi di trasmissione (parete in blocchi di laterizio spessi 18 cm, alleggeriti in pasta, con fori riempiti di malta, intonacata su ambo i lati).



6. Valori del potere fonoisolante relativi alla trasmissione diretta (linea rossa) e laterale, per i diversi percorsi di trasmissione (parete doppia con uno strato in blocchi a T, intercapedine ed uno strato di mattoni forati spessi 8 cm, intonacata con 1.5 cm di malta su ambo i lati).

per cui è necessario conoscere, oltre all'indice di riduzione delle vibrazioni relativo al percorso di trasmissione, 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 alveolato spesso 30 cm intonacata), oppure sono stati dedotti per via teorica (per il divisorio interno in mattoni pieni del tipo Uni intonacato).

Dai grafici riportati 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) è dominante (minore valore del potere fonoisolante) rispetto a quello relativo alla trasmissione diretta (linea rossa). In alcuni casi, 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 influenzi in maniera determinante la prestazione finale della parete esaminata.

**Confronto tra risultati sperimentali e previsioni di potere fonoisolante** I grafici che seguono mostrano il confronto tra dati sperimentali (in blu) e teorici (in rosso e verde) del potere fonoisolante apparente delle due partizioni analizzate precedentemente.

Come riferimento nei grafici è anche riportata la curva relativa al potere fonoisolante della partizione misurato presso il laboratorio di Padova (in nero).

La stima del potere fonoisolante apparente è stata effettuata sulla base delle formule (1) e (2).

In un caso (linea rossa), 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 (linea verde) sono quelli dedotti per via teorica in base al metodo semplificato della normativa europea<sup>6</sup>.

Dal confronto emerge una buona affidabilità del metodo di calcolo definito dalla normativa europea EN 12354-1; l'affidabilità è migliore se i dati degli indici di riduzione delle vibrazione sono corretti.

Nel caso in esame, i valori del potere fonoisolante apparente stimati a partire dai dati misurati degli indici K (linea rossa) sono molto prossimi a quelli misurati (linea blu).

La stima teorica degli indici K, come previsto dalla 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 (linea verde, R' CEN).

Tale errore di valutazione può essere attribuito al fatto che il metodo di calcolo non tiene conto di elementi di di-

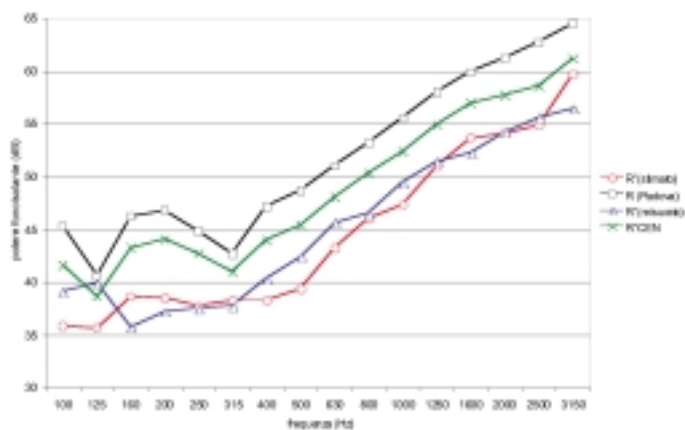
scontinuità strutturale che invece hanno fortemente condizionato la trasmissione laterale strutturale nel caso specifico delle prove effettuate presso l'edificio sperimentale di Trento.

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.

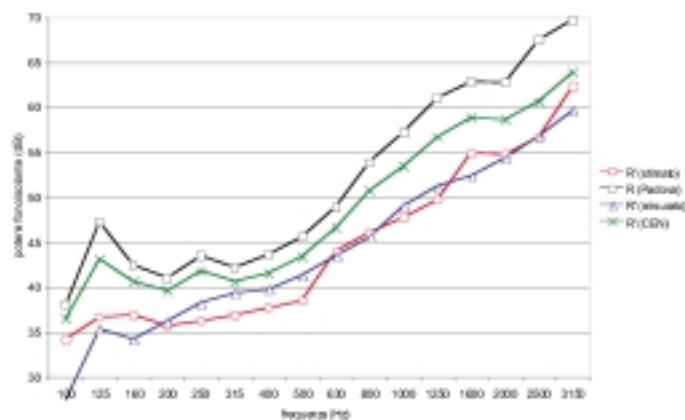
La tabella 1 riporta i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante ottenuti dai dati riportati nei grafici delle pagine precedenti secondo la metodologia prevista dalla norma UNI EN ISO 717-1.

Dai risultati si possono trarre le seguenti considerazioni principali.

- la differenza tra i valori misurati in laboratorio e nell'edificio sperimentale di Trento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante è elevata ma in linea con le aspettative. L'edificio sperimentale aveva infatti lo scopo di permettere



7. Dati sperimentali (in blu) e teorici (in rosso e verde) del potere fonoisolante apparente, al confronto con il valore del potere fonoisolante (in nero): parete realizzata con blocchi in laterizio da 18 cm, alleggeriti in pasta, con fori riempiti di malta, intonacata su ambo i lati (spessore intonaco 1.5 cm).



8. Dati sperimentali (in blu) e teorici (in rosso e verde) del potere fonoisolante apparente, al confronto con il valore del potere fonoisolante (in nero): parete realizzata con blocchi a "T" in laterizio alleggerito in pasta (25x16,5x17 cm), con tagli verticali, montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1.5 cm); intercapedine da 3 cm; tramezze semipiene alleggerite in pasta (45x25x8 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1.5 cm).

**1** Indici di valutazione del potere fonoisolante misurati in laboratorio ( $R_w$ ), nell'edificio sperimentale di Trento ( $R'_w$  edif. Trento) e stimati per le cinque partizioni esaminate. La differenza  $R_w - R'_w$  è quella tra i valori realmente misurati del potere fonoisolante nel laboratorio di Padova e quelli del potere fonoisolante apparente dell'edificio sperimentale di Trento

|   | Parete realizzata con blocchi ad incastro spessi 18 cm (18x50x20 cm), alleggeriti in pasta, a tre fori verticali con fori riempiti di malta; intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) | Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta spessi 25 cm (25x30x17 cm), con fori riempiti di malta; intonacata ambo i lati (spessore intonaco 2 cm) | Parete realizzata con blocchi ad "H", alleggeriti in pasta spessi 30 cm (30x25x17 cm), con fori riempiti di malta; intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) | Parete realizzata con blocchi semipieni ad incastro spessi 42 cm (42x25x24,5 cm), alleggeriti in pasta; intonacata ambo i lati (spessore intonaco 1,5 cm) | Parete realizzata con blocchi a "T", alleggeriti in pasta (17x33x24,5 cm), con tagli verticali, montati sfalsati ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm); intercapedine di 3 cm; tavolato in tramezze semipiene ad incastro, alleggerite in pasta, (8x50x24,5 cm) ed intonaco sul lato esterno (spessore intonaco 1,5 cm) |
|---|--|--|--|---|---|
| Massa superficiale (kg/m <sup>2</sup> ) | 400  | 371  | 390  | 470   | 320   |
| $R_w$ misurato in lab. Padova (dB)      | 54   | 53   | 56   | 50  | 52  |
| $R'_w$ misurato edif. Trento (dB)       | 48   | 49   | 50   | 47  | 47  |
| $R_w - R'_w$ misurati (dB)              | 6  | 4  | 6  | 3   | 5   |
| $R'_w$ calcolato edif. Trento (dB)      | 46   | 46   | 47   | 45  | 46  |
| $R'_w$ calcolato CEN (dB)               | 51   | 51   | 53   | 48  | 50  |

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;

- i valori degli indici di valutazione del potere fonoisolante misurati nell'edificio sperimentale di Trento non sono dunque rappresentativi delle prestazioni in opera delle pareti esaminate, poiché le modalità di posa in opera sono risultate penalizzanti rispetto a situazioni reali.

Una stima più accurata delle prestazioni acustiche in opera può invece essere ottenuta avvalendosi direttamente del metodo di calcolo della normativa europea;

- la stima condotta secondo la metodologia della norma europea permette di ottenere curve del potere fonoisolante apparente che ben si accordano con i valori realmente misurati.

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 ( $R'$  Trento).

**Conclusioni** I risultati della ricerca condotta hanno dunque permesso di affermare l'affidabilità del metodo di calcolo definito dalla recente normativa europea ed implementato nel foglio elettronico di cui viene riportata in allegato la guida all'impiego.

L'uso del metodo di stima ha permesso di spiegare la forte perdita di prestazione acustica riscontrata nelle pareti provate nell'edificio sperimentale di Trento.

L'edificio, infatti, era costruito in modo da rendere massima l'entità delle trasmissioni sonore laterali, in modo da meglio caratterizzarle mediante misurazioni.

Dall'uso degli algoritmi previsionali possono emergere anche utili indicazioni progettuali per migliorare le prestazioni in opera dei divisori in laterizio. ¶

## Bibliografia

- [1] R. Albatici, A. Di Bella, P. Fausti, A. Frattari, G. Nicosia, R. Pompoli, S. Secchi, M. Tosi, R. Zecchin, *Isolamento acustico di pareti interne in laterizio: misure e metodi*, Costruire in Laterizio, n. 83/2001, pp. 56-62.
- [2] D.P.C.M. 5/12/97, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*, in G.U. 297, 22-12-97.
- [3] EN 12354-1, *Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 1, airborne sound insulation between rooms*.
- [4] Nuovo Regolamento Edilizio Tipo, 21-3-2000, Bollettino Ufficiale Regione Emilia Romagna. Parte Seconda, N° 47, Allegato A/2 - Famiglia 5 - Requisito 5.1.
- [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] ISO/CD 10848, *Acoustics - measurements of flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms*, 1999.
- [7] 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.

## Note

1. Sulla base di esperienze di questo tipo, in alcuni contesti si suggerisce di sottrarre cautelativamente 3 dB al valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante misurato in laboratorio, al fine di verificare la prestazione acustica in opera del divisorio. Si veda ad esempio il metodo A per la verifica del potere fonoisolante di partizioni interne del Regolamento Edilizio Tipo della Regione Emilia Romagna [4].
2. La norma ISO 140-3 [5] prevede che le misure di potere fonoisolante vengano effettuate in laboratori in cui sia soppressa ogni forma di trasmissione sonora laterale.
3. La conoscenza della tipologia del nodo tra partizione e strutture laterali è necessaria per la stima della trasmissione sonora laterale tra i due ambienti adiacenti.
4. La stima si fonda su ipotesi semplificative che permettono comunque di ottenere risultati sufficientemente affidabili per il tipo di valutazioni che devono essere effettuate.
5. La dipendenza dalla frequenza è dovuta, oltre che alle caratteristiche delle strutture giuntate ed al tipo di giunto, anche alla metodologia di misura ed alla strumentazione usata.
6. Il confronto tra dati sperimentali e teorici degli indici K è riportato nei grafici delle pagine precedenti.

*La ricerca è stata svolta in collaborazione tra ANDIL Assolaterizi, Università di Ferrara, Università di Padova e Università di Trento. Si desidera ringraziare in particolare il Prof. Roberto Pompoli dell'Università di Ferrara, il Prof. Antonio Frattari e l'Ing. Rossano Albatici dell'Università di Trento e l'Arch. Antonino Di Bella dell'Università di Padova.*

## Il foglio elettronico per il calcolo del potere fonoisolante apparente dei divisori in laterizio secondo la normativa europea

Il foglio, disponibile all'indirizzo [www.laterizio.it](http://www.laterizio.it), si basa sugli algoritmi di calcolo definiti dalla norma EN 12354-1, già riportati nelle pagine precedenti, facendo uso di dati sperimentali relativi alle prestazioni misurate in laboratorio di un numero considerevole di partizioni verticali ed orizzontali in laterizio. Il metodo è riportato nelle sue linee essenziali, mentre la versione completa del modello di calcolo con la possibilità di valutare tutte le prestazioni acustiche degli edifici secondo il DPCM 5/12/97 ed un maggiore numero di tipologie di partizioni orizzontali e verticali, è implementato nel programma EdilISO, distribuito dalla Maggioli Editore<sup>[7]</sup>. I dati sperimentali riportati nel foglio elettronico provengono in particolare dalle campagne di misurazioni condotte per conto dell'ANDIL presso i laboratori delle Università di Parma e Padova, sotto la responsabilità del Prof. Pompoli. Il file, in formato MS Excel, contiene una serie di fogli di lavoro che permettono di ottenere facilmente il potere fonoisolante apparente ed i relativi indici di valutazione e termini di adattamento spettrale, nota la natura della partizione e delle strutture laterali (pareti e solai). Sono presenti macro che devono essere attivate all'apertura del foglio. Il foglio di lavoro contenente gli algoritmi di calcolo è stato nascosto al fine di evitare modifiche involontarie delle formule. Può comunque essere visualizzato agendo sul menu "formato" > "foglio" > "scopri" di Excel. Il *data base* contiene i valori misurati in laboratorio del potere fonoisolante di 41 pareti e di 11 solai in laterizio e può essere aggiornato con ulteriori dati da parte dell'utente. È necessario in questo caso riempire tutti i campi come per i dati già inseriti. Il calcolo si esegue agendo dal foglio di lavoro nominato "generale" (fig. A.2), in cui è necessario definire la parete di partizione e le strutture laterali (pareti e solai) dei due ambienti sorgente e ricevente. È necessario, secondo le ipotesi del modello di calcolo, che le strutture laterali dell'ambiente sorgente siano uguali a quelle dell'ambiente ricevente. Per individuare la natura delle strutture laterali è necessario fare riferimento alla codificazione riportata nel grafico del foglio di lavoro nominato "disegno" (figura A.1). È quindi necessario specificare la tipologia dei quattro giunti tra partizione e le strutture laterali. È possibile specificare unicamente tipologie di giunti rigidi a croce ed a T. Un giunto è a croce quando sia la struttura laterale che la partizione proseguono oltre la linea di giunzione. Questo è generalmente il caso

del giunto verticale tra la partizione ed il tramezzo interno. Il giunto è a T quando la partizione non prosegue oltre la linea di giunzione con la struttura laterale. Questo è generalmente il caso della giunzione verticale della partizione con il muro

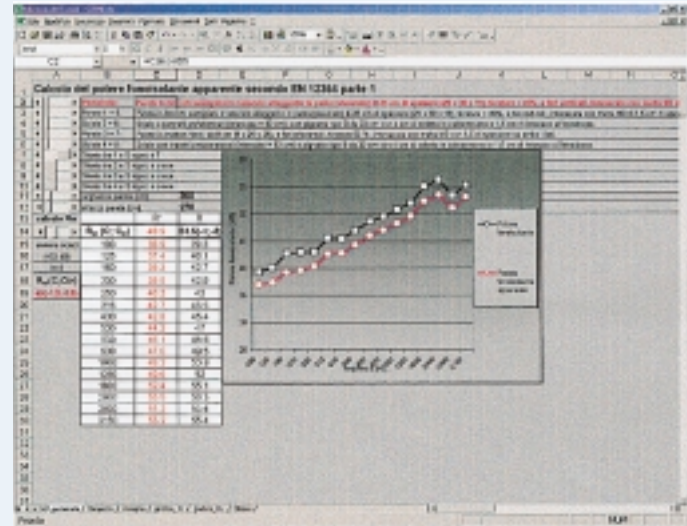


A1. Codificazione degli elementi strutturali laterali dei due ambienti adiacenti.

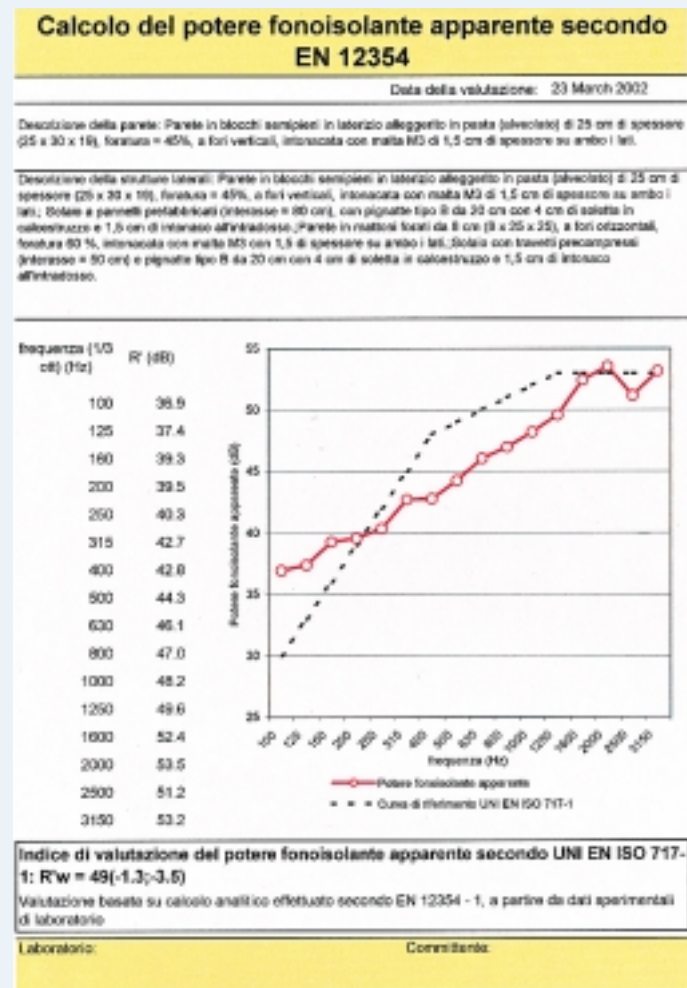
di facciata e del giunto orizzontale della partizione con il solaio del pavimento nel caso in cui il piano sottostante i locali esaminati sia uno spazio aperto continuo. Dopo avere specificato le caratteristiche e le dimensioni della partizione e delle strutture laterali e la tipologia dei giunti, i risultati vengono evidenziati nella colonna C del foglio di lavoro e nel grafico adiacente. Per effettuare il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente secondo la UNI EN ISO 717-1 si agisce sulla barra della cella A 14, fino ad ottenere che la somma degli scarti sfavorevoli sia quella massima tra quelle minori di 32 dB (cella A 17). L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente ( $R'w$ ) ed i termini di adattamento spettrali (C, Ctr) sono riportati nella cella A 19. La eventuale differenza tra il valore qui riportato e quello evidenziato nella cella C 14 è da attribuirsi al fatto che il primo è ottenuto a partire dai valori calcolati in funzione della frequenza del potere fonoisolante apparente, mentre il secondo è ottenuto direttamente dai valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante relativi alla partizione ed alle strutture laterali. Il valore riportato nella cella A 19 è quindi più affidabile. Il risultato può infine essere stampato in forma di certificato aprendo il foglio di lavoro nominato "Rapporto" dove deve essere completato l'inserimento dei dati relativi alla commit-

tenza (cella F 42) ed al laboratorio (cella A 42). Prima della stampa è comunque preferibile evidenziare l'anteprima di stampa (figura A.3) per verificare l'accordo con le impostazioni della propria stampante. A completamento del foglio elettro-

nico sono stati inseriti due ulteriori fogli di lavoro con i grafici relativi al confronto tra il potere fonoisolante di laboratorio ed il potere fonoisolante in opera della partizione ed alla differenza tra le due grandezze ( $R - R'$ ), in funzione della frequenza in bande di 1/3 di ottava.



A2. Il foglio di lavoro principale per il calcolo semplificato del potere fonoisolante apparente tra ambienti adiacenti.



A3. Anteprima di stampa del rapporto relativo alla valutazione del potere fonoisolante apparente.