

PROVE INTERLABORATORIO PER LA DETERMINAZIONE DEI VALORI DI RIPETIBILITA' E RIPRODUCIBILITA' NELLA MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE DI PARETI

A. Farina (1), P. Fausti (2), R. Pompoli (2), F. Scamoni (3)

- (1) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Parma
- (2) Istituto di Ingegneria, Università di Ferrara
- (3) ICITE - Istituto Centrale Industrializzazione e Tecnologia Edilizia (MI)

SOMMARIO

Allo scopo di determinare i valori di ripetibilità e di riproducibilità nella misura del potere fonoisolante di pareti verticali è stato organizzato un confronto tra laboratori italiani. Hanno aderito alla iniziativa nove laboratori. La ditta BPB Italia ha fornito gratuitamente il materiale e ne ha curato l'installazione nei laboratori. Le prove sono iniziate alla fine del '93 e si sono concluse all'inizio del '95. Le procedure di prova che i laboratori hanno seguito sono quelle previste nella norma internazionale ISO 140-3. Per l'elaborazione dei risultati sono state seguite le norme internazionali ISO 140-2 e ISO 5725. Nell'articolo sono descritte le procedure utilizzate e vengono riportati e discussi i risultati delle prove interlaboratorio.

INTRODUZIONE

Poichè non è possibile specificare completamente tutti i dettagli costruttivi dei laboratori di misura e le condizioni che determinano i campi acustici generati nelle camere di prova, la misura di isolamento acustico di un componente è soggetta ad una certa variabilità che può dipendere da vari fattori. Per prove condotte nello stesso laboratorio: dagli operatori che eseguono le misure, dalle modalità di montaggio dei provini, dalle procedure di calibrazione, dalle modalità di generazione dei campi acustici, ecc. Per prove condotte in laboratori diversi: dalla forma e dimensioni delle camere, dalla diversa strumentazione e procedura di misura, dagli operatori, ecc. La variabilità dei risultati delle misure può essere quantificata attraverso la determinazione dei valori di ripetibilità "r", per prove condotte nello stesso laboratorio, e di riproducibilità "R" per prove condotte in laboratori diversi. I valori di "r" e di "R" possono essere ottenuti attraverso misure di confronto tra diversi laboratori che, seguendo la stessa norma di riferimento, eseguono le prove su materiale il più possibile uguale. Valori di tentativo di "r" e di "R" per la misura del potere fonoisolante di componenti edilizi sono riportati nell'appendice A della norma ISO 140-2 (UNI EN 20140-2) [1].

Con lo scopo di determinare i valori di "r" e di "R" relativamente alla misura del potere fonoisolante di pareti verticali, l'Istituto di Ingegneria dell'Università di Ferrara, con il

patrocinio del SINAL (Sistema Nazionale per l'Accreditamento di Laboratori) e del GAA (Gruppo di Acustica Ambientale) dell'Associazione Italiana di Acustica, ha organizzato un confronto interlaboratorio al quale hanno partecipato nove laboratori italiani.

RIPETIBILITA' E RIPRODUCIBILITA'

I concetti di ripetibilità e riproducibilità applicati nel campo delle misure di isolamento acustico sono descritti nella norma ISO 140-2 già citata.

La ripetibilità "r" rappresenta il grado di concordanza tra risultati di misure indipendenti condotte a breve distanza di tempo con lo stesso metodo, sullo stesso materiale, nello stesso laboratorio, con lo stesso operatore che usa la stessa apparecchiatura. La riproducibilità "R" rappresenta il grado di concordanza tra risultati di misure condotte con lo stesso metodo, sullo stesso materiale, in laboratori diversi, con differenti operatori che usano differenti apparecchiature.

La conoscenza dei valori di "r" e di "R" per uno specifico metodo di misura permette di valutare la precisione di una misura condotta sotto le condizioni di ripetibilità e di riproducibilità rispettivamente. In particolare, noto il valore di "r" e di "R" si può affermare che, con il 95% di probabilità, il valore reale "μ" di una sola determinazione "y" della grandezza da rilevare ottenuta in un singolo laboratorio, è compreso tra questi intervalli:

$$y - \frac{R}{\sqrt{2}} < \mu < y + \frac{R}{\sqrt{2}}$$

Quando invece, in un singolo laboratorio, vengono effettuate "n" determinazioni della grandezza da provare con un valore medio " $\bar{y}_{r,n}$ " l'intervallo di confidenza per il valore reale "μ" è uguale a:

$$\bar{y}_{r,n} - \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)} < \mu < \bar{y}_{r,n} + \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{R^2 - r^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)}$$

Se infine ciascuno dei "p" laboratori effettua una singola determinazione della grandezza con un valore medio " $\bar{y}_{R,n}$ ", l'intervallo di confidenza per il valore reale "μ" diventa:

$$\bar{y}_{R,n} - \frac{R}{\sqrt{2p}} < \mu < \bar{y}_{R,n} + \frac{R}{\sqrt{2p}}$$

I valori di "r" e di "R" possono essere impiegati anche per verificare il corretto funzionamento del procedimento di prova di un laboratorio che non ha partecipato al confronto interlaboratorio. E' anzi auspicabile che ogni laboratorio verifichi periodicamente i propri valori di ripetibilità e di riproducibilità.

LABORATORI PARTECIPANTI

Al confronto hanno aderito nove laboratori italiani: "C.S.I." di Bollate (MI), "C.S.R. - Consorzio Studi e Ricerche della SCM" di Rimini, "I.C.I.T.E. - Istituto Centrale Industrializzazione e Tecnologia Edilizia" di S.Giuliano Milanese (MI), "Istituto di Acustica O.M.CORBINO" di Roma, "I.E.N.G.F. - Istituto Elettrotecnico Nazionale G. Ferraris" di Torino, "ISTITUTO GIORDANO - Centro Studi e Ricerche di Fisica

Tecnica” di Bellaria (RN), “ISTEDIL - Istituto Sperimentale per l'Edilizia” di Guidonia Montecelio (ROMA), “MODULO UNO - Acoustical Engineers and Consultants” di Torino, “SIMPA” di Ferentino (FR). Sette di questi laboratori effettuano certificazioni per conto terzi mentre due usano le camere per qualificare i propri prodotti o a scopo di ricerca. I laboratori non sono stati scelti sulla base di una verifica della conformità delle camere di prova alle indicazioni fornite dalla ISO 140-1, ma semplicemente sulla disponibilità ed interesse a partecipare alle prove. Nella tabella 1 sono sintetizzate le caratteristiche principali dei nove laboratori.

Tabella 1: caratteristiche dei laboratori

Laboratorio	<i>Corbino</i>	<i>Csi</i>	<i>Csr</i>	<i>Icite</i>	<i>Iengf</i>	<i>Istedil</i>	<i>Istituto Giordano</i>	<i>Modulo Uno</i>	<i>Simpa</i>
Dimensioni camera 1 (m)	4.8x5.84x3.05	3.7x4.05x3.35	4.45x5.7x3.06	4.4x4.4x3.20	3.97x4.3x3.46	4.12x5.0x3.18	3.62x4.4x3.50	sghemba	3.8x2.9x4.71
Volume camera 1 (m ³)	85.5	50.2	74	53.6	59	65.5	56	76	52
Dimensioni camera 2 (m)	4.8x5.84x3.05	6.0x4.05x3.35	4.15x5.0x3.25	4.85x4.0x3.70	4.1x4.3x3.46	4.12x5.0x3.45	4.7x4.4x3.50	sghemba	3.8x2.9x4.95
Volume camera 2 (m ³)	85.5	81.4	67.5	59.3	65	71.1	72	222	54.5
Dimensioni sez. prova (m)	2.5x2.54	4.05x2.7	2.0x2.2	3.31x3.0	3.6x2.8	3.1x2.96	3.6x3.0		3.6x2.74
Area sezione prova (m ²)	6.3	10.9	4.4	10	10.08	9.23	10.8	9.2	9.86
Pannelli diffondenti	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
Rw max (ISO 717)			56.5		61	60		58	56

RIFERIMENTI NORMATIVI

Le procedure di prova che i laboratori hanno seguito sono quelle previste dalla norma internazionale ISO 140-3 (1995) [2]. Tale norma introduce significative innovazioni rispetto alla precedente norma del 1978. E' stata estesa la gamma di frequenza di misura fino a 5000 Hz in terzi di ottava; è previsto l'uso dell'asta microfonica rotante oltre che delle posizioni fisse; vengono introdotte molte prescrizioni riguardo alla strumentazione utilizzata e alla qualificazione e posizionamento della sorgente sonora.

Per l'elaborazione dei risultati ottenuti dal confronto interlaboratorio e quindi per la determinazione dei valori di “r” e di “R” sono state seguite le norme internazionali ISO 140-2 (1991) [1] e ISO 5725 (1986) - UNI 9225 (1988) [3]. Per poter eseguire un confronto interlaboratorio la norma prevede un numero minimo di 8 partecipanti ed un numero minimo di 5 risultati indipendenti rilevati da ciascun laboratorio.

LE PARETI IN PROVA

Per il confronto sono stati utilizzati due tipi di pareti divisorie in gesso: una a lastra semplice ed una a lastra doppia (figure 1 e 2). La prima parete è stata realizzata con una lastra in gesso di 12,5 mm per ogni lato della struttura interna, costituita da profilati metallici di 75 mm. Nell'intercapedine è stato inserito un pannello in fibra minerale di 50 mm con densità di 40 kg/m³. La seconda parete è stata realizzata con due lastre di cartongesso di 12.5 mm per ogni lato ed è stata ottenuta aggiungendo la seconda lastra

alla prima parete. Le pareti sono state costruite in laboratorio utilizzando lastre di gesso rivestito fissate verticalmente ai montanti. I giunti sono stati trattati per garantire la continuità tra le lastre. La parete è stata poi sigillata con gesso su tutto il perimetro a contatto con il bordo delimitante l'apertura di prova. Il montaggio è stato eseguito in tutti i laboratori dalla stessa squadra di montatori che hanno seguito un'identica procedura di posa in opera utilizzando materiali provenienti dallo stesso lotto o con caratteristiche dichiarate identiche.

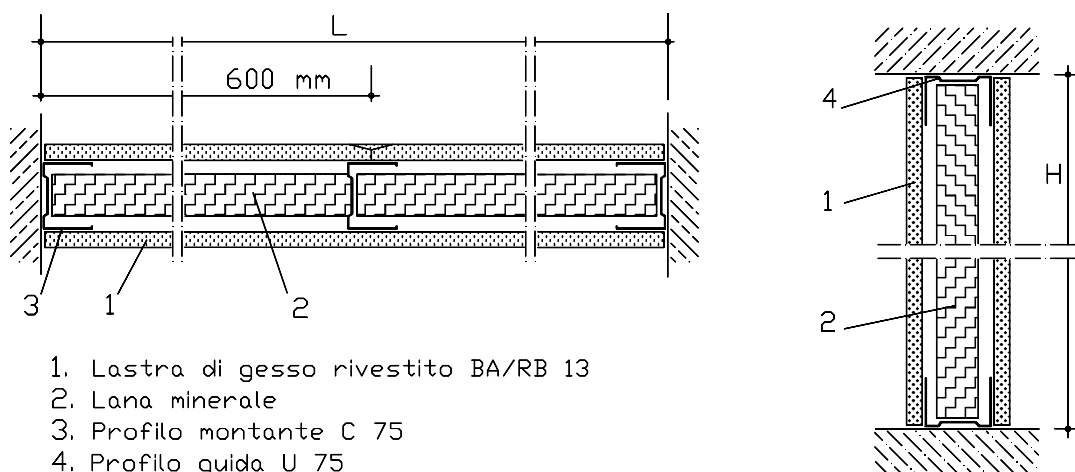


Figura 1: Sezioni schematiche, orizzontale e verticale, della parete 1.

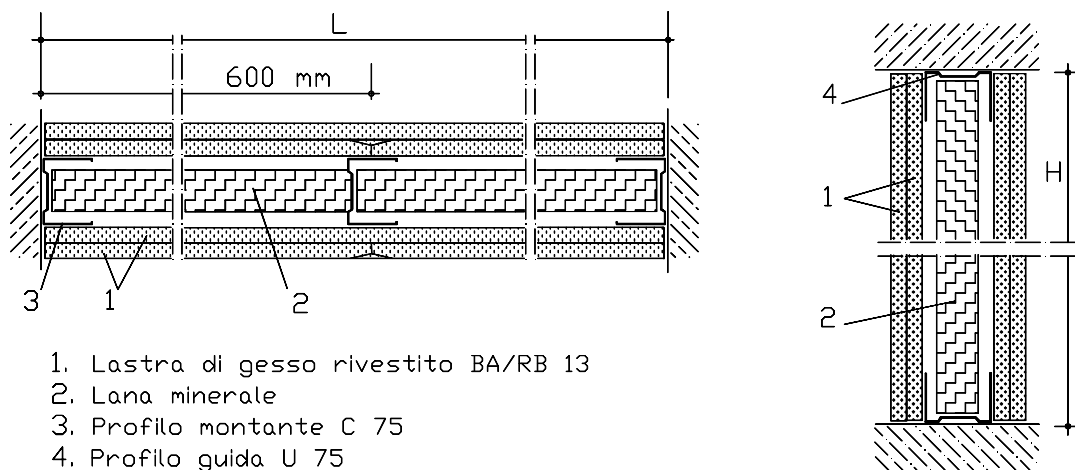


Figura 2: Sezioni schematiche, orizzontale e verticale, della parete 2.

RISULTATI

Le prove sono iniziate nell'autunno del 1993 e sono terminate nella primavera del 1995. Ad ogni laboratorio è stata assegnata una lettera di riferimento allo scopo di mantenere l'anonimato sui singoli risultati. Non tutti i laboratori hanno potuto fornire i 5 risultati ottenuti da prove ripetute indipendenti. In questi casi i valori dello scarto tipo di ripetibilità " s_{ri} " sono stati attribuiti sulla base di rilevazioni precedenti eseguite dal laboratorio stesso. Dall'analisi dei dati forniti dai nove laboratori è risultato che quelli

del laboratorio “I” erano statisticamente anomali e quindi non sono stati utilizzati per il calcolo di “r” e “R”.

Nella figura 3 sono riportati, per le due pareti in prova, i valori del potere fonoisolante sullo spettro di frequenze in terzi d'ottava compreso tra 100 Hz e 3150 Hz ottenuto in accordo con la ISO 140 per tutti i laboratori (il campo è stato limitato a 3150 Hz in quanto “H” ha effettuato le sue misure fino a questo valore). I valori riportati nel grafico corrispondono alla media aritmetica dei risultati di ogni singolo laboratorio che abbia eseguito più di una prova o ai risultati della singola prova dei laboratori che hanno eseguito una sola determinazione.

Nella figura 4 sono riportati, per entrambe le pareti, i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante, espresso in dB, calcolato come previsto dalla ISO 717 [4]. Sono altresì rappresentati altri due indici indicati con dB(A) rosa e dB(A) str. ottenuti applicando quanto previsto dall'ultima revisione della ISO 717.

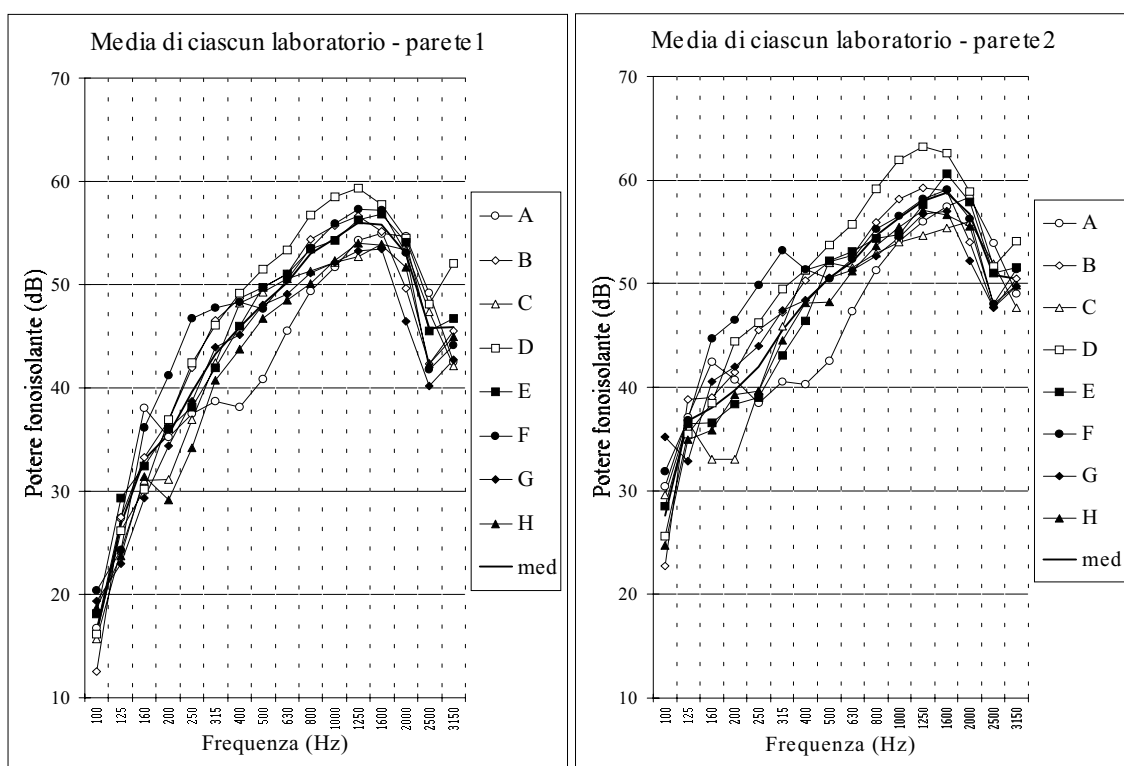


Figura 3: valori del potere fonoisolante ottenuto da tutti i laboratori per le pareti 1 e 2.

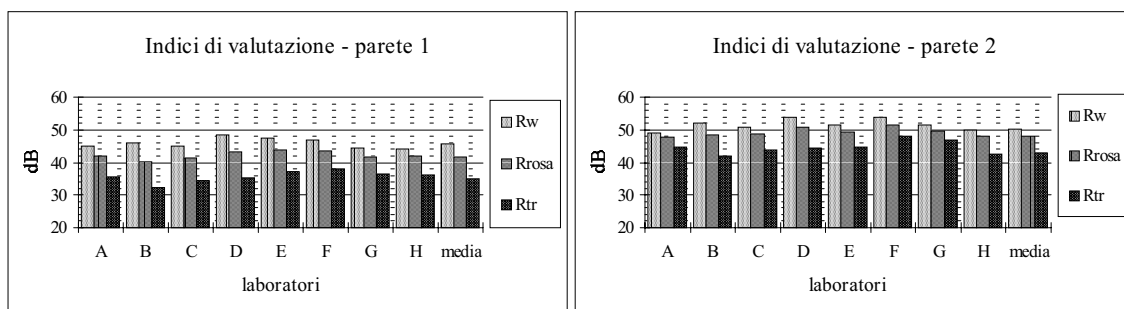


Figura 4: valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante e degli indici dB(A) rosa e dB(A) stradale ottenuti da tutti i laboratori per le pareti 1 e 2.

La figura 5 mostra, per ciascuna delle due pareti, i valori di “r” e di “R” ottenuti con le prove interlaboratorio. Tali valori sono confrontati con quelli riportati nel prospetto A1 della ISO 140-2.

La figura 6 riporta i valori del tempo di riverberazione (TR) misurato nei diversi laboratori e i valori del termine correttivo calcolato sulla base delle misure di TR stesso.

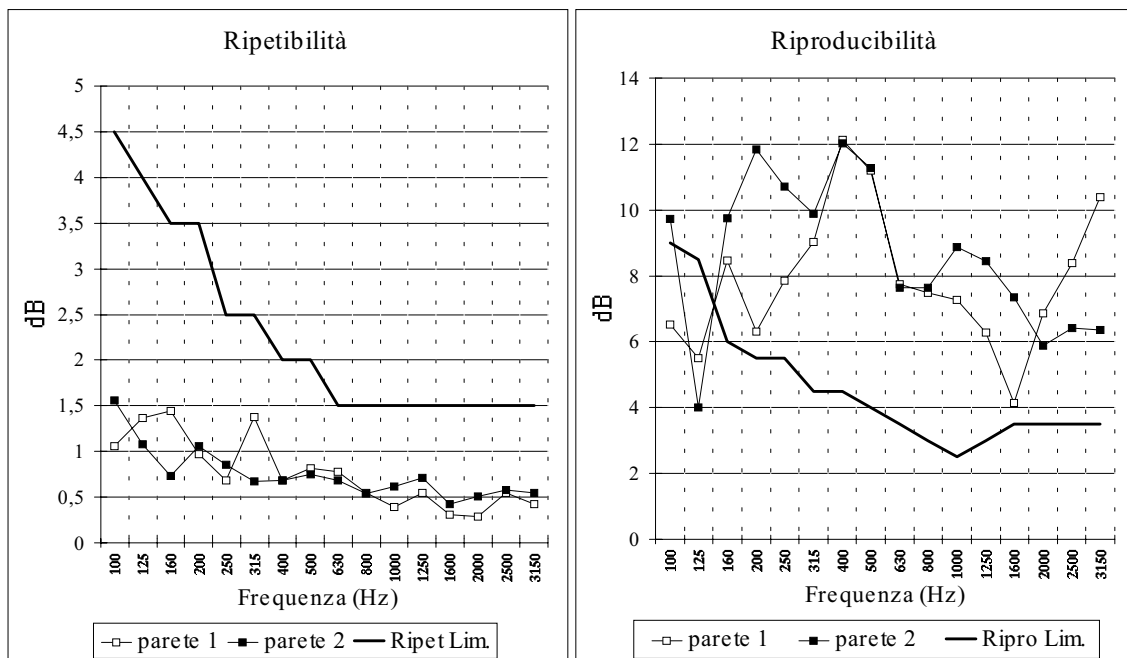


Figura 5: valori della ripetibilità e della riproducibilità ottenuti con le prove interlaboratorio e confronto con i valori limite riportati nella norma ISO 140-2.

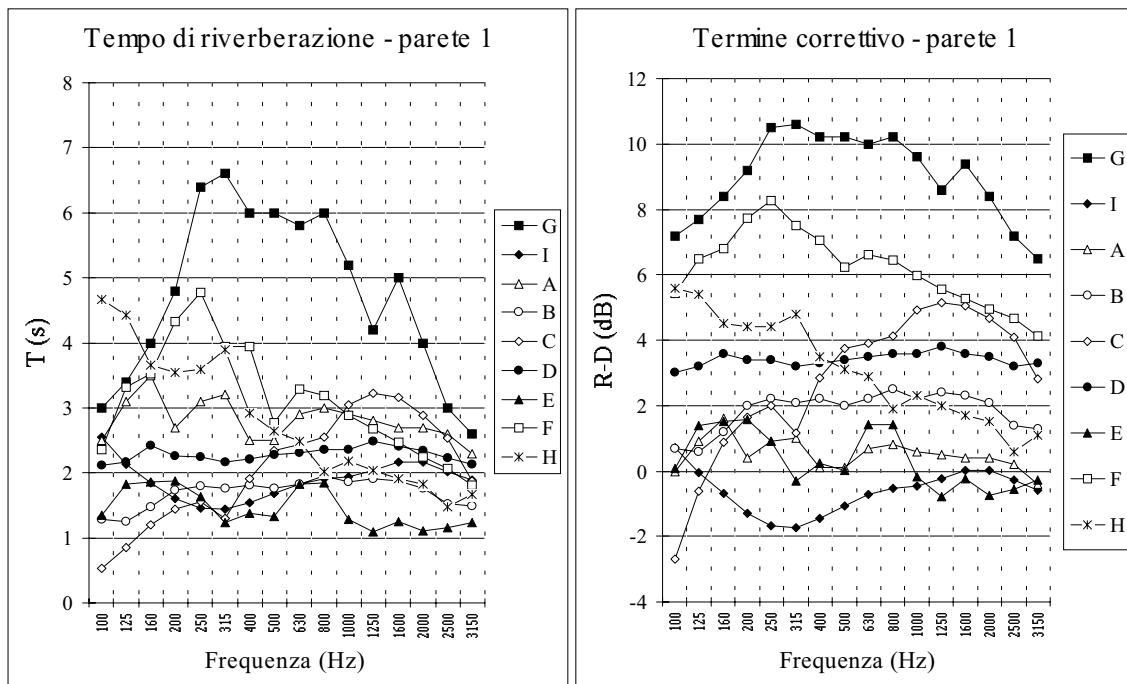


Figura 6: valori del tempo di riverberazione TR misurato nei diversi laboratori e del termine correttivo calcolato sulla base delle misure di TR.

CONSIDERAZIONI

Osservando le curve di ripetibilità “r” nella figura 5, seppure ottenute con alcuni dati di scarto tipo non direttamente desunti da questo confronto, si possono notare valori notevolmente inferiori a quelli di tentativo indicati nel prospetto A1 della ISO 140-2. Questo risultato è sicuramente dovuto alle procedure automatiche di misura, rese possibile dalla moderna strumentazione, che riducono notevolmente le cause di variabilità di risultati ottenuti all’interno dello stesso laboratorio che opera sotto le condizioni di ripetibilità.

I valori della riproducibilità “R” risultano invece notevolmente superiori a quelli indicati nello stesso prospetto A1 come risulta evidente osservando la figura 5. A questo proposito occorre tuttavia osservare che i valori di “R” indicati nella norma sono di tentativo non essendo stato condotto, sino ad ora, un confronto interlaboratorio in grado di soddisfare le procedure richieste dalla norma ISO 140-2. Questi valori di tentativo, relativi alle misure del potere fonoisolante condotte secondo la ISO 140-3, rappresentano la media di valori di “R” ottenuti da tre diverse campagne di prove interlaboratorio condotte negli anni 1983 in Germania (5 laboratori), nel 1982-85 in Belgio e Olanda (7 laboratori) e nel 1985-86 nell’ambito di un progetto finanziato dalla Commissione Europea (8 laboratori). I provini impiegati sono stati: per la prima campagna una lastra di vetro, per la seconda un divisorio leggero e due pareti di laterizio, per la terza un doppio vetro. La norma non fornisce indicazioni sulla dispersione dei valori di “R” utilizzati per il calcolo dei valori medi del prospetto A1. La mancanza di dati e la diversità di queste esperienze non permette, di fatto, un confronto attendibile e significativo con i risultati ottenuti con queste prove interlaboratorio. Un’analisi critica dei dati deve ancora essere completata; tuttavia si possono sin d’ora avanzare alcune osservazioni e formulare ipotesi per interpretare i risultati ottenuti.

La distribuzione di “R” al variare della frequenza mostra un andamento irregolare con valori massimi e minimi particolarmente pronunciati (fig. 5). La parete 1, quella meno isolante, presenta un massimo a 400 Hz ($R = 12$ dB) ed un minimo a 1600 Hz ($R = 4$ dB); a bassa frequenza i valori di “R” sono inferiori a quelli del prospetto A1. Il valore della riproducibilità dell’indice di valutazione R_w risulta di 4 dB. La parete 2, più isolante, presenta due massimi a 200 Hz e a 400 Hz con “R” = 12 dB, e un minimo a 2000 Hz con $R = 6$ dB. I valori di “R” sono in genere più elevati di quelli della parete 1, come si evidenzia anche osservando il valore della riproducibilità dell’indice di valutazione R_w che in questo caso risulta uguale a 4,5 dB. L’incremento dei valori di riproducibilità con l’aumentare delle prestazioni di isolamento acustico del provino fa pensare ad una possibile influenza delle trasmissioni laterali tra le camere di prova nei laboratori che hanno partecipato a questo confronto. Esistono anche altri fattori che possono aver determinato valori così elevati della riproducibilità: innanzitutto le disuguaglianze dei provini montati nei laboratori dovute alle diverse dimensioni delle sezioni di prova e alle inevitabili differenze di montaggio, seppure limitate dal fatto di essere state montate sempre dalla stessa squadra di operai. Le condizioni di diffusione del campo acustico nelle camere di prova erano sicuramente diverse tra i laboratori, come dimostra la variabilità dei tempi di riverberazione rilevati per la misura dell’area equivalente di assorbimento acustico della camera ricevente (figura 6). In alcuni laboratori i tempi di riverberazione sono risultati notevolmente superiori ai valori consigliati nella norma ISO 140-1 [5] che definisce le caratteristiche delle camere di prova.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE E PROGETTI FUTURI

Dall'analisi dei risultati si è visto che le misure possono essere fortemente influenzate da molti fattori, tra i quali il montaggio e le caratteristiche del provino, le dimensioni e la forma dei laboratori e dell'apertura di prova, le caratteristiche acustiche dei laboratori (trasmissioni laterali, diffusione del campo acustico, tempo di riverberazione), le procedure di misura e la strumentazione utilizzata. Il numero limitato di laboratori partecipanti non ha permesso di effettuare dei confronti incrociati raggruppandoli per caratteristiche geometriche e acustiche simili. Il confronto è stato tuttavia utile per individuare i parametri che devono essere strettamente controllati e fornire indicazioni per la futura attività di revisione delle norme nazionali ed internazionali.

Sulla base dell'esperienza acquisita con lo svolgimento di queste prove interlaboratorio è stato organizzato un confronto tra laboratori europei, finanziato dalla CE nell'ambito del programma "Measurements and Testing". Il confronto, iniziato nel 1995 è ancora in corso e si prevede di concluderlo nella primavera del 1997. Al progetto prendono parte 24 laboratori europei appartenenti a 11 nazioni diverse.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano tutti coloro che hanno partecipato e collaborato all'organizzazione dell'iniziativa, ed in particolare: Giuseppe Baffoni (Istituto Giordano), Franco Bertellino (Modulo Uno), Romano Bianchetti (Istedil), Michele Bianchi (Simpa), Ermenegildo Brosio, Angelo Chiatella (Iengef), Andrea Ferrazzi (Bpb Italia), Gianni Gaddoni (Csr), Paolo Emilio Giua (Istituto Corbino), Giancarlo Villa (Csi). Un particolare ringraziamento alla BPB Italia per la fornitura ed il montaggio di tutte le pareti in prova.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 140/2 (1991), "Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Determination, verification and application of precision data", UNI EN 20140-2 (1994), "Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati".
- [2] EN ISO 140/3 (1995), "Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements" (Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Misura in laboratorio del potere fonoisolante di elementi di edifici).
- [3] ISO 5725 (1986), "Precision of test methods - Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests". UNI 9225-1988, "Precisione dei metodi di prova - Determinazione della ripetibilità e della riproducibilità di un metodo di prova normalizzato mediante esperimenti interlaboratorio".
- [4] ISO/DIS 717/1-2 (1994), "Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. Part 1: Airborne sound insulation in buildings and of interior building elements. Part 2: Impact sound insulation", (Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici e di componenti di edificio. Parte 1: Isolamento al rumore aereo di edifici e di elementi interni di edifici. Parte 2: Isolamento al rumore di calpestio).
- [5] ISO/DIS 140/1 (1994), "Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Requirements for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission", (Misura dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Requisiti dei laboratori senza trasmissioni laterali).