

Studio sull'incertezza delle misure di acustica edilizia

Elisa Nannipieri, Simone Secchi
Dip. TAD, Università di Firenze

La realizzazione di immobili conformi al DPCM 5/12/97 richiede in fase di agibilità dell'edificio un collaudo acustico dell'opera. Il mancato rispetto dei valori limite previsti dal decreto ha portato, negli ultimi tempi, a diversi casi di contenzioso tra il proprietario dell'immobile ed il costruttore determinando risarcimenti economici per la svalutazione dell'edificio o il ripristino dei requisiti previsti. È quindi di fondamentale importanza ridurre le incertezze nei risultati relativi alle misure da effettuare durante il collaudo acustico di un immobile, dovute ad influenze casuali e metodologiche. La normativa di riferimento (ISO 140-4, ISO 140-5 e ISO 140-7), infatti, lascia alla scelta dell'operatore alcuni particolari delle procedure di prova.

L'argomento è attualmente oggetto di ampio dibattito e di analisi teoriche da parte della Commissione Acustica dell'UNI e del Gruppo di Acustica Edilizia (GAE).

Secondo la norma UNI EN 20140-2, le influenze casuali possono essere determinate con l'ausilio di misurazioni indipendenti ripetute in condizioni essenzialmente identiche, mentre le influenze sistematiche sono determinate da misurazioni comparative in diversi impianti di prova.

L'articolo, presentato al 34° Convegno Nazionale di Acustica di Firenze lo scorso Giugno e pubblicato sia sugli atti del Convegno citato sia sulla rivista neo – EUBIOS dell'ANIT, riporta i risultati di una ricerca condotta allo scopo di valutare la ripetibilità e la riproducibilità di alcune misure di potere fonoisolante e di livello di rumore impattivo normalizzato, effettuate nello stesso locale di prova da operatori diversi con tecniche di misura e strumentazioni diverse.

La ripetibilità e la riproducibilità sono due importanti informazioni ottenibili da specifiche prove acustiche. Le condizioni di ripetibilità conducono a risultati di prova indipendenti con lo stesso metodo su materiali di prova identici nello stesso locale, con lo stesso apparecchio e con lo stesso operatore in brevi intervalli di tempo; mentre le condizioni di riproducibilità ottengono risultati di prova con lo stesso metodo su materiali di prova identici in diversi laboratori con diversi operatori utilizzando apparecchi differenti.

A questa prima fase del test interlaboratorio hanno partecipato il Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia dell'Università di Firenze, cinque diversi dipartimenti di Aziende Sanitarie Locali toscane ed uno studio professionale privato.

PROVE DI RIPETIBILITÀ PER LE MISURE IN OPERA DI POTERE FONOISOLANTE APPARENTE E DI LIVELLO DI RUMORE IMPATTIVO NORMALIZZATO

Simone Arrigucci (1), Gianni Calistri (2), Gianfranco Cellai (3), Lucia Bertuzzi (4), Cinzia Delucis (5), Manuel Gori (1), Elisa Nannipieri (3), Ceragioli Riccardo (6), Daniele Cavarra (7), Simone Secchi (3).

- (1) Studio ing. Arrigucci Gori
- (2) Azienda USL 3, Pistoia
- (3) Dip. TAD, Università di Firenze
- (4) Azienda USL 10, Firenze
- (5) Azienda USL 2, Lucca
- (6) Azienda USL 12, Viareggio
- (7) Azienda USL 7, Siena

1. Introduzione

L'affidabilità delle misure in opera delle prestazioni acustiche di edifici è attualmente oggetto di ampio dibattito e di analisi teoriche.

La memoria presenta i risultati di un test interlaboratorio che coinvolge il Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia dell'Università di Firenze, cinque diversi dipartimenti di Aziende

Sanitarie Locali toscane ed uno studio professionale di ingegneria per conto della Manifattura Maiano s.p.a.

Le verifiche sono state eseguite in due locali tipo che riproducono frequenti condizioni di edilizia residenziale, utilizzando le metodologie normalmente impiegate da ciascun operatore per le prove in opera ed hanno riguardato la misura del potere fonoisolante apparente di un divisorio interno e del livello apparente di rumore impattivo normalizzato di un solaio.

Lo scopo della ricerca è di valutare l'incertezza nei risultati dovuta ad influenze casuali e metodologiche mediante misurazioni indipendenti eseguite dai diversi operatori in condizioni essenzialmente identiche.

2. Descrizione del laboratorio sperimentale

Il laboratorio, costruito all'interno di un capannone industriale dimesso della ditta "Manifattura Maiano spa", è costituito da due camere di prova (A e B) rispettivamente di volume pari a $40,5 \text{ m}^3$ e di $43,7 \text{ m}^3$, le cui strutture laterali sono rigidamente connesse alla parete di separazione in prova. Le caratteristiche costruttive e dimensionali delle due camere sono tipiche degli ambienti interni di edilizia residenziale (Fig. 1). Gli ambienti di prova, denominati "laboratorio sperimentale", sono stati costruiti nell'ambito di una ricerca volta a determinare le prestazioni offerte da diversi tipi di pareti e rivestimenti per solai in tipiche condizioni di posa in opera, ovvero in presenza di trasmissione laterale di media entità.

In figura 1 sono evidenziate in rosso le strutture costruite per la realizzazione del laboratorio sperimentale all'interno dell'edificio esistente. La natura delle diverse strutture è stata determinata al fine di creare una configurazione edilizia che desse luogo a risultati di misure influenzati da media trasmissione laterale strutturale e da minima trasmissione laterale di tipo aereo, quindi in grado di fornire indicazioni sui risultati ottenibili in tipiche condizioni di posa in opera in edifici reali.

In particolare, la parete laterale di nuova realizzazione (Fig. 2) è in muratura portante con blocchi spessi 20 cm (Fig. 3) intonacati su ambo i lati con 1 cm di malta di calce e cemento.

Su tale parete sono stati predisposti due fori del diametro di circa 7 cm per garantire il passaggio dei cavi degli apparecchi di misura nelle due camere di prova. Durante l'esecuzione delle prove, i due fori sono stati sigillati.

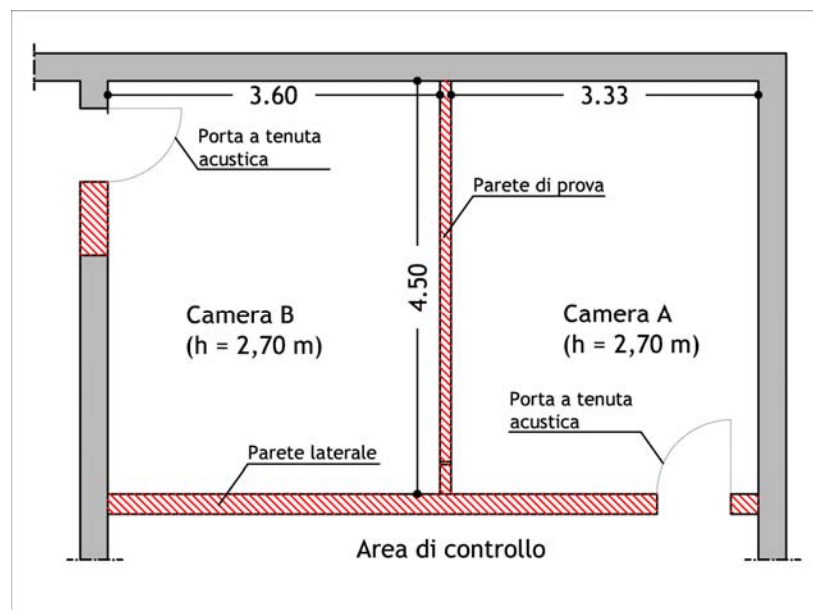


Figura 1 – Planimetria del laboratorio di prova



Figura 2 – Il laboratorio di prova

Le porte di accesso alle due camere hanno una dimensione di $0,9 \times 2,1$ (m) e si aprono verso ambienti distinti dell'edificio, in modo da rendere trascurabile il percorso di propagazione sonora per via aerea dovuto al rumore trasmesso dalle due porte. Ogni cavità presente tra telaio e muratura è stata sigillata e le battute sono state dotate di doppie guarnizioni.

3. Descrizione dei componenti sottoposti a prova

La parete di separazione, oggetto delle misure di potere fonoisolante apparente, ha dimensioni $4,5 \times 2,7$ (m) ed è realizzata con mattoni di dimensioni $12 \times 25 \times 25$ (cm) a quindici fori orizzontali, murati nello spessore di 12 cm; la parete è intonacata su ambo i lati con 1,5 cm di malta di calce e cemento. I giunti verticali ed orizzontali di malta tra i mattoni sono stati correttamente sigillati con malta di intonaco (Fig. 4).



Figura 3 – I blocchi di laterizio usati per realizzare la parete laterale (a sinistra) e la parete in prova (a destra)



Figura 4 – La parete di prova e la parete laterale prima (a sinistra) e dopo l'intonacatura (a destra)

Il solaio di copertura, oggetto delle prove di livello apparente di rumore impattivo normalizzato, ha una struttura a pignatte rinforzate (tipo B, spessore 16 cm) e travetti con soprastante massetto in calcestruzzo spesso 5 cm (Fig. 5). All'intradosso il solaio è intonacato con malta di calce e cemento spessa 1 cm.

Il solaio è appoggiato alle pareti laterali, di cui una esistente ed una di nuova realizzazione (parete laterale) ed ha, perciò, un'orditura parallela alla parete in prova.



Figura 5 – Le pignatte usate per la realizzazione del solaio (a sinistra) ed il solaio prima del getto della soletta collaborante (a destra)

Per le prove di ripetibilità è stato misurato il livello di rumore da calpestio normalizzato del solaio posto sopra la camera più grande (B). In questo caso si stima che la trasmissione di rumore aereo attraverso la porta di accesso alla camera ricevente (B) sia trascurabile.

4. Gruppi partecipanti al test

Il test interlaboratorio ha coinvolto sette gruppi: il Laboratorio di Fisica Ambientale per la Qualità Edilizia dell'Università di Firenze, il laboratorio di Sanità Pubblica dell'area vasta nord afferente alla Azienda USL 2 di Lucca, il Dipartimento della Prevenzione della Azienda USL3 di Pistoia U.F. Igiene e Sanità Pubblica; il laboratorio Agenti fisici della Azienda USL7 di Siena, il laboratorio di Sanità Pubblica dell'area vasta centro afferente alla Azienda USL 10 di Firenze, il Dipartimento della Prevenzione della Azienda USL 12 Viareggio U.F. Igiene e Sanità Pubblica e lo studio professionale di ingegneria Arrigucci – Gori di Prato.

Le squadre partecipanti non sono state scelte sulla base di verifiche precedenti alla prova, ma hanno aderito spontaneamente in base alla propria disponibilità ed interesse all'argomento di studio.

In un primo momento era stato contattata un'altra squadra al fine di soddisfare i requisiti minimi stabiliti dalla norma UNI EN 20140-2 [1] che prevede confronti interlaboratorio con un numero minimo di 8 partecipanti; i risultati ottenuti da questo gruppo sono risultati statisticamente anomali (affetti da un errore di tipo procedurale) e perciò non presi in considerazione nei risultati finali dello studio.

5. Metodologia di misura

Ogni gruppo ha utilizzato il proprio abituale procedimento di misura ed ha eseguito la prova ripetendo le misurazioni più volte. In particolare, la serie di posizioni dei microfoni e di posizioni della sorgente sonora o impattiva, sulla quale si calcola la media per una misurazione, è stata scelta in maniera casuale per evitare la possibilità di errori sistematici.

I diversi gruppi hanno eseguito le misure di potere fonoisolante apparente in accordo alla norma UNI EN ISO 140-4 [2] e le misure di livello normalizzato di rumore di calpestio in accordo alla norma UNI EN ISO 140-7 [3]. Per le misure del tempo di riverberazione, necessarie per la normalizzazione delle grandezze di riferimento, invece, i gruppi hanno scelto in maniera autonoma se seguire le procedure dettate dal punto 6.5 della norma UNI EN ISO 140-4 [2] e dal punto 5.5

della norma UNI EN ISO 140- 7 [3] (numero minimo di punti di misura del tempo di riverberazione pari a 6) o in accordo al punto 5.2.2 della norma UNI EN ISO 3382 [4] (numero minimo di misure del tempo di riverberazione pari a 18).

Nella tabella 1 sono riportate le apparecchiature usate dai diversi operatori.

Per garantire l'anonimato, ogni partecipante è stato associato ad una lettera dell'alfabeto in maniera casuale.

Tabella 1 – Strumentazione utilizzata dai vari partecipanti al test

Gruppo	Analizzatore	Microfono/i	Sorgente sonora	Sorgente impattiva
A	01 dB mod. Symphonie 2 ch.	Campo diffuso ½ pollice	Peeker sound casse 40W 4 A con amplificatore Peeker sound 300+300 Watt	Norsonik omologata PTB
B	Bruel & Kjaer 2260 Investigator	4189 Bruel & Kjaer	Omnisource type 4295 Bruel & Kjaer amplificata da Lab Gruppen 300 Bruel & Kjaer	Tapping machine type 3207 Bruel & Kjaer
C	Larson & Davis mod. 824, Noise & Vibration Works	Campo diffuso Larson & Davis mod. 2541 da ½ pollice	Bruel & Kjaer sound surce HP 1001 amplificata da sound power source type 4205	01dB metravib MAC01
D	01 dB mod. Harmony 4 ch.	Campo libero	AVM Dodecahedral Loudspeaker Do12 600W con amplificatore InterM Mod.L800 300+300W	01dB metravib MAC01
E	01 dB mod. Symphonie 2 ch.	Campo diffuso ½ pollice	Brüel & Kjær mod. 4224	Brüel & Kjær mod. 3204
F	Larson & Davis mod. 824, Noise & Vibration Works	Campo libero Larson & Davis mod. 2541 da ½ pollice.	Dodecaedro omnidirezionale Look Line mod. DC 301.	Look Line mod. EM 50 NEW
G	01 dB mod. Harmony 4 ch.	Campo libero	AVM Dodecahedral Loudspeaker Do12 600W con amplificatore InterM Mod.L800 300+300W	01dB metravib MAC01

Il livello di pressione sonora è stato misurato impiegando filtri di banda di terzo di ottava in un range di frequenza compreso tra 100 e 3150 Hz. Al fine di ottenere informazioni aggiuntive alcuni

gruppi hanno allargato la gamma di frequenze di misurazioni alle bande di terzo di ottava di 4 000 e 5 000 Hz e solo un gruppo ha fornito informazioni nella gamma delle basse frequenze (50, 63 e 80 Hz).

6. Risultati

Nella figura 6 sono riportati a confronto i valori ottenuti dalla misurazione del potere fonoisolante apparente in funzione della frequenza, tra 100 e 3150 Hz.

In figura 7 sono, invece, riportati i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente calcolato secondo la metodologia definita dalla norma UNI EN - ISO 717-1 [5], a partire dai valori in frequenza riportati in figura 6.

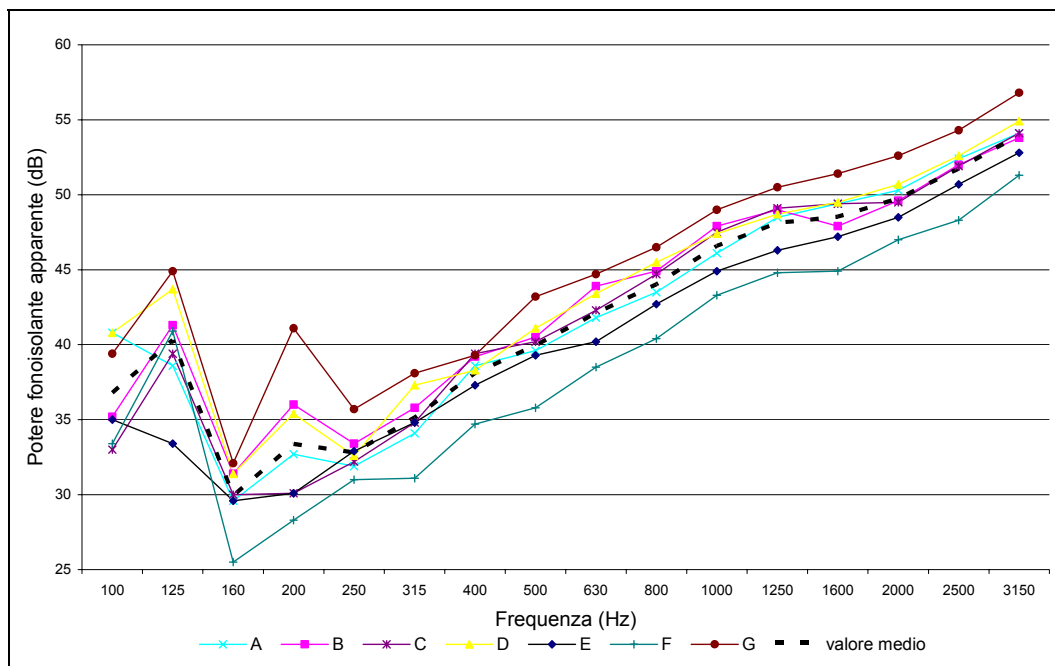


Figura 6 – Confronto tra i valori di potere fonoisolante apparente ottenuti dai diversi operatori; la linea a tratti indica il valore della media aritmetica tra i diversi risultati.

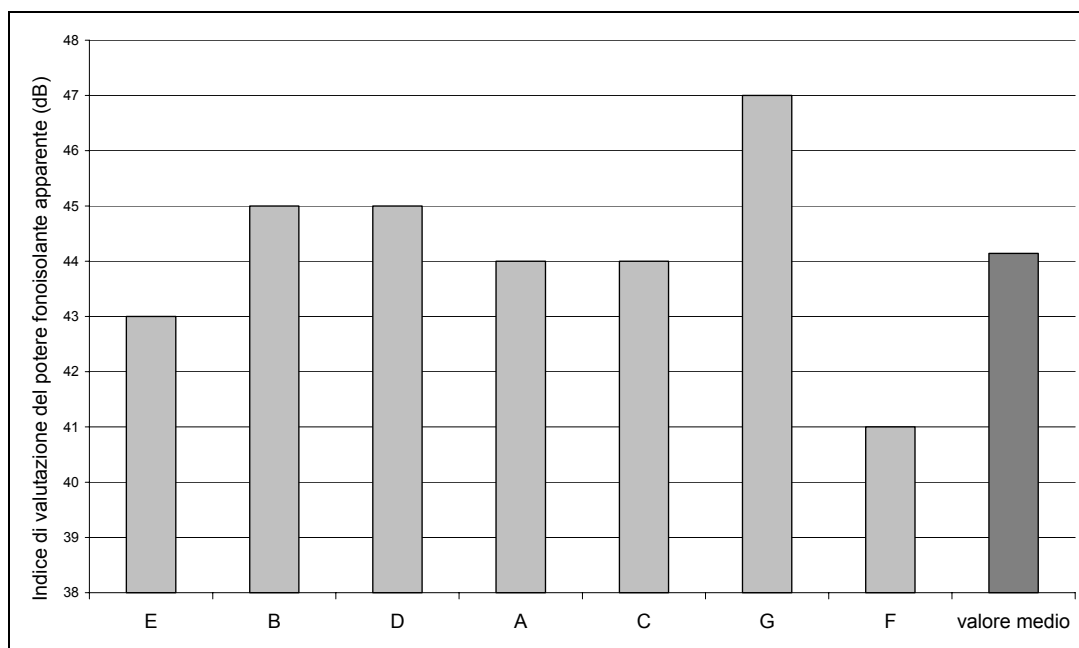


Figura 7 – Confronto tra i valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante; in grigio scuro il valore della media aritmetica tra i diversi risultati ottenuti.

Il confronto dei dati del potere fonoisolante misurato dalle varie squadre mostra una deviazione standard media di 2 dB, anche se tale valore aumenta sensibilmente alle basse frequenze. Nelle bande a bassa frequenza, infatti, le condizioni di campo diffuso negli ambienti di prova sono difficilmente verificate, specialmente se l'ambiente ha un volume minore di 50 m³ come nel caso studio. Il basso numero di modi nelle bande di frequenza è la causa della generazione di onde stazionarie nello spazio di misura e dell'incertezza delle prove a dette frequenze.

Il gruppo F ed il gruppo G presentano valori che si discostano maggiormente dalle misure effettuate dalle altre squadre.

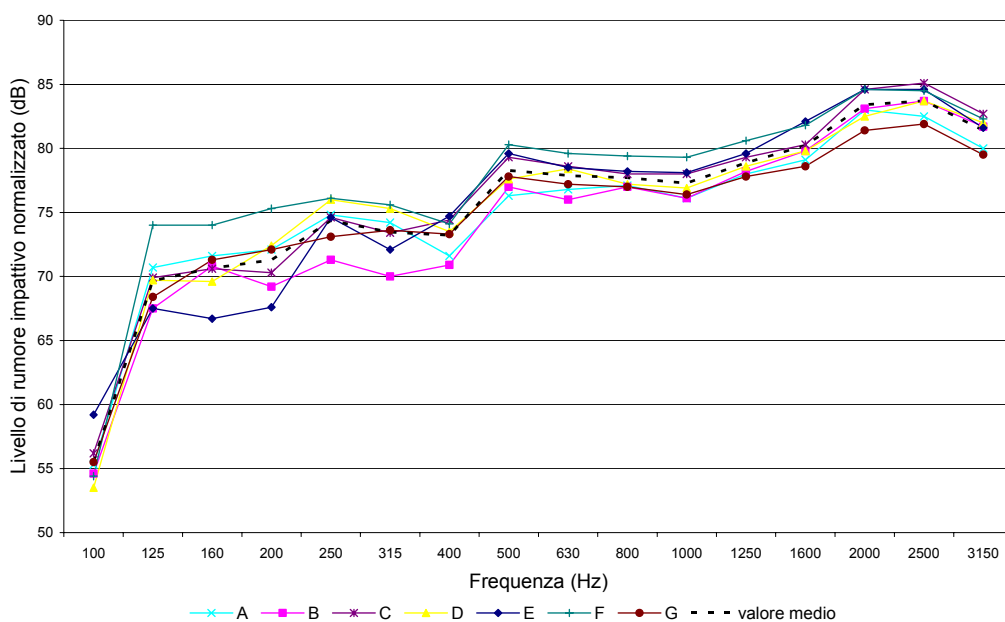


Figura 8 – Confronto tra i valori di livello di rumore impattivo normalizzato; la linea a tratti indica il valore della media aritmetica tra i diversi risultati.

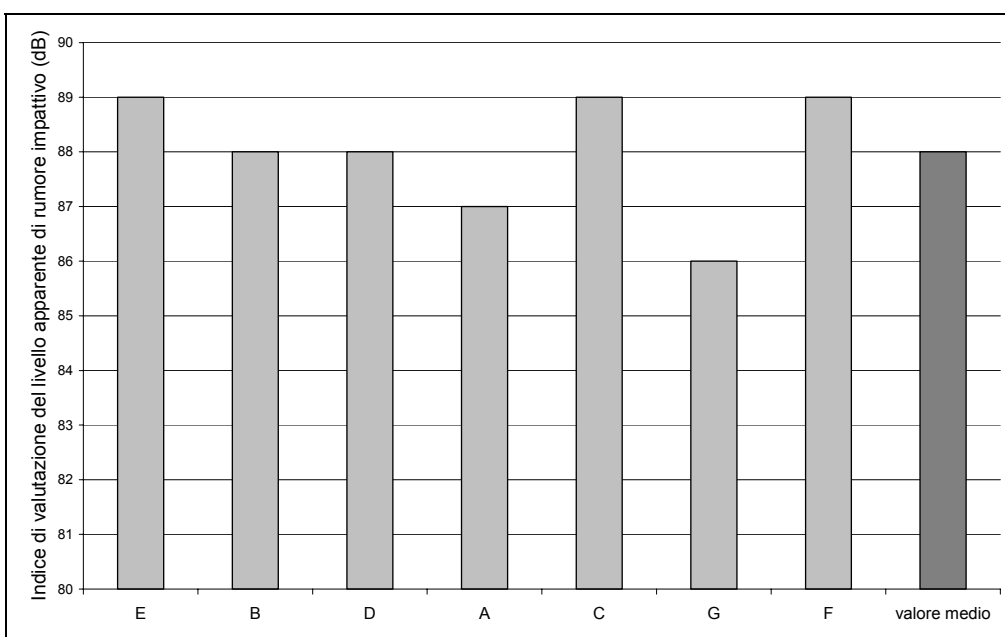


Figura 9 – Confronto tra i valori dell'indice di valutazione del livello apparente di rumore impattivo; in grigio scuro il valore della media aritmetica

In figura 8 sono posti a confronto i valori misurati dalle diverse squadre del livello apparente di rumore impattivo normalizzato in funzione della frequenza, tra 100 e 3150 Hz.

In figura 9 è riportato il confronto tra gli indici di valutazione del livello apparente di rumore impattivo normalizzato calcolato secondo la metodologia definita dalla norma UNI EN -ISO 717-2 [6], a partire dai valori in frequenza riportati in figura 8.

Il confronto tra i dati del livello apparente di rumore impattivo normalizzato misurato dalle varie squadre mostra una deviazione standard media di circa 1 dB; anche in questo caso la deviazione aumenta sensibilmente alle basse frequenze di analisi.

7. Conclusioni

I risultati delle prove di ripetibilità effettuate hanno posto in evidenza significativa deviazione nei risultati ottenuti soprattutto per quanto attiene la misura del potere fonoisolante apparente e soprattutto alle basse frequenze di analisi.

Allo stato attuale sono state individuate alcune possibili cause della deviazione nei risultati. In merito a ciò non è però possibile fornire risultati certi.

Una fase successiva di sviluppo dello studio riguarderà l'esecuzione di prove in condizioni di misura uniformi e potrà coinvolgere un maggior numero di operatori.

8. Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare alla Manifattura Maiano che ha messo a disposizione il laboratorio costruito per i test dei propri prodotti.

Si ringraziano sia coloro che attivamente si sono impegnati nell'esecuzione delle prove sia chi, da dietro le quinte ne ha favorito la realizzazione ed in particolare: il Tecnico della Usl 2 Morena Battistoni ed il responsabile del laboratorio di Sanità Pubblica dell'area vasta nord dott. Marco Vicentini; i Tecnici della Usl 3 Enrico Goti, Davide Migliacci e Nicola Cipriani che hanno partecipato attivamente alle misure nonché il responsabile dell'Unità funzionale ISP dott.ssa Wanda Wanderlingh; il Tecnico della prevenzione Daniele Machetti ed il responsabile del laboratorio Agenti Fisici della az. USL 7 di Siena dott.ssa Iole Pinto; il Tecnico della prevenzione Riccardo Sabatini ed il responsabile del laboratorio di Sanità Pubblica dell'area vasta centro dott. Paolo Bavazzano; i Tecnici della Usl 12 di Viareggio Paolo Lucchesi e Antonio Cosci nonché il responsabile dell'Unità funzionale ISP dott. Stefano Pieroni.

Bibliografia

- [1] UNI EN 20140-2: 1994, Acustica, Misura dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio. Determinazione, verifica e applicazione della precisione dei dati.
- [2] UNI EN ISO 140-4: 2000, Acustica, Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio, Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti
- [3] UNI EN ISO 140-7: 2000, Acustica, Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai;
- [4] UNI EN ISO 3382: 2001, Acustica, Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici;
- [5] UNI EN ISO 717-1: 1997, Acustica, Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio, Isolamento acustico per via aerea;
- [6] UNI EN ISO 717-2: Acustica, Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio, Isolamento del rumore di calpestio

[7] Farina A., Fausti P., Pompoli R., Scamoni F., “Intercoparision of laboratori measurements of airborne sound insulation of partitions”.