

ISOLAMENTO ACUSTICO DI ELEMENTI EDILIZI PREFABBRICATI: STIMA TEORICA E ANALISI SPERIMENTALE

F. Cotana (1), E. Moretti (1), E. Belloni (1), L. Mercati (2)

- 1) Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Perugia
- 2) Studio di Ingegneria, Città di Castello (PG)

1. Introduzione

La necessità di rispettare la legislazione vigente in merito ai requisiti acustici passivi degli edifici ha dato origine ad una crescente attenzione per la ricerca di nuovi sistemi costruttivi, capaci di garantire gli stringenti limiti imposti. In particolare, per le pareti perimetrali esterne l'attuale normativa impone l'impiego di soluzioni sempre più performanti, combinando tra loro materiali tradizionali come il legno e sistemi isolanti (polistirene, lane minerali, ecc.) e cercando, allo stesso tempo, di mantenere contenuti gli spessori. Il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di partizioni presenta un grado di incertezza non sempre definito; in Letteratura [1, 2, 3] esistono numerose equazioni empiriche (IEN, Istituto Normativo Tedesco DIN, ecc.) in grado di fornire tali valori con un certo grado di approssimazione; alcune di queste relazioni risultano valide per pareti in muratura (pareti pesanti monostrato), altre sono nate per pareti pluristrato. Esse si basano su dati sperimentali ottenuti in laboratorio e dipendono dalla massa superficiale dei campioni; tuttavia tali relazioni sono state messe a punto per soluzioni tipiche in muratura.

Recentemente, anche alla luce delle stringenti normative sulla certificazione energetica degli edifici che impongono prestazioni termiche sempre più elevate, si stanno diffondendo sul mercato soluzioni diverse, costituite da strutture di tipo prefabbricato con elementi in legno, abbinati a isolanti termici quali polistirene e lane di vetro e /o roccia e finitura in lastre di gesso rivestito. Per tali tipologie, la valutazione teorica del potere fonoisolante presenta tuttavia ancora un elevato livello di incertezza, poiché non esistono equazioni empiriche specificatamente dedicate e di cui sia nota l'accuratezza e la precisione, né sono disponibili un numero significativo di prove di laboratorio.

Il presente studio ha come obiettivo l'individuazione e la messa a punto della stratigrafia di una parete multistrato in legno, materiali isolanti e cartongesso, capace di garantire allo stesso tempo prestazioni termiche ed acustiche in linea con i requisiti di Legge e gli obiettivi del produttore. Nella prima fase si è cercato di stimare l'indice di valutazione del potere fonoisolante mediante l'impiego di formulazioni di Letteratura a

rigore non direttamente applicabili per strutture prefabbricate in legno, ma messe a punto per strutture multistrato in cartongesso. Nella fase finale si sono verificate le prestazioni acustiche della parete individuata, misurando il potere fonoisolante sia per la parete completa che per alcuni strati significativi.

2. Indagine bibliografica e prime considerazioni

In Letteratura sono disponibili relazioni empiriche [1-3] per la stima dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di partizioni verticali in muratura, che dipendono dalla massa superficiale dell'elemento considerato. Inoltre sono disponibili formulazioni specifiche per partizioni costituite da lastre di gesso rivestito con cartone e struttura portante in montanti di lamiera piegata, al cui interno sono inseriti pannelli di fibra minerale. Tali formule di previsione, valide per strutture ad una "unica ossatura" (singolo telaio in montanti di lamiera piegata), sono state ricavate alla fine degli anni '80 sulla base di dati sperimentali rilevati sia presso l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [4], relazione (1), che dei dati riportati all'interno della norma tedesca DIN 4109 [5], relazione (2):

$$(1) \quad R_w = 20 \log m' + 20 \log d + e - 6 \quad [\text{dB}]$$

$$(2) \quad R_w = 20 \log m' + 10 \log d + e + 6 \quad [\text{dB}]$$

dove:

m' è la massa superficiale totale [kg/m^2];

d è lo spessore dell'intercapedine [cm];

e è lo spessore del pannello in fibra minerale [cm].

Dalle relazioni si nota come il valore del potere fonoisolante dipenda dallo spessore dell'intercapedine, dal grado di riempimento della stessa e dal tipo di materiale isolante inserito all'interno; nonostante le masse tipiche di tali strutture siano relativamente contenute (al massimo $70\text{-}80 \text{ kg}/\text{m}^2$), l'applicazione delle equazioni mostra come si riesca ad ottenere valori piuttosto elevati di R_w , anche superiori a 60 dB.

Al fine di mettere a punto la stratigrafia del prototipo di parete da realizzare presso il Laboratorio di Acustica dell'Università degli Studi di Perugia, si è effettuata una ricerca sulle prestazioni acustiche di strutture similari, costituite da una parete di base in legno di diverso spessore e da rivestimenti realizzati combinando lastre in gesso rivestito e diverse tipologie di materiali isolanti. In tabella 1 si riportano le descrizioni e le prestazioni acustiche di tali strutture, determinate sia presso il Laboratorio suddetto (tipologia D) che presso altri Laboratori [6] (tipologie A, B, C).

Come risulta evidente, l'esigua massa superficiale della sola parete di base in legno, in genere minore o dell'ordine di circa $60\text{-}80 \text{ kg}/\text{m}^2$, pone tali pareti al di sotto dei valori limite di validità delle usuali formulazioni di stima dell'indice del potere fonoisolante relative alle pareti in muratura. La stima dell'incremento del potere fonoisolante ΔR_w , basata sul calcolo delle frequenze di risonanza di una parete rivestita con controparete in cartongesso [2], con intercapedine foderata con materiale poroso con resistività di aria $r > 5 \text{ kNs}/\text{m}^4$, non risulta inoltre di immediata applicazione; per queste strutture non è infatti sempre possibile realizzare una struttura autoportante completamente distaccata dalla parete di base in legno. Inoltre il modello in oggetto non tiene in considerazione lo spessore totale dell'isolante, ma solo dell'intercapedine.

Al fine di stimare per via teorica le prestazioni acustiche di tali strutture, non potendo impiegare le relazioni per pareti in muratura, si è pensato di applicare per una prima stima dell'indice del potere fonoisolante le formule previsionali relative alle strutture in cartongesso. Le formulazioni proposte (equazioni 1 e 2) da Brosio [4] e dalla norma Tedesca DIN 4109 [5] considerano la massa complessiva della parete multistrato, comprensiva delle lastre in cartongesso e delle lane minerali. La formulazione in oggetto è ritenuta valida per spessori di isolante non superiori ad 8-10 cm e densità minore di 30-40 kg/m³. Alcune delle pareti multistrato in legno esaminate presentano invece isolanti in lana di legno di abete, mineralizzata e legata con cemento Portland, con massa per unità di area dello stesso ordine di grandezza della parete in legno e cartongesso. Nell'applicazione delle relazioni previsionali (1) e (2) si è pertanto pensato di effettuare il calcolo sia considerando la massa totale (massa frontale complessiva della parete multistrato) che una massa cosiddetta parziale, ovvero la massa frontale della parete con esclusione della massa degli isolanti. Il confronto tra i dati stimati secondo le ipotesi suddette e le prestazioni effettivamente misurate in Laboratorio è mostrato in tabella 1.

Tabella 1 – Caratteristiche principali di pareti in legno rivestite: confronto tra indice del potere fonoisolante misurato e quello stimato

	Caratteristiche parete	Massa totale [kg/m ²]	R _w misurato [dB]	R _w stimato [dB]			
				Massa totale		Massa parziale	
				IEN	DIN	IEN	DIN
A1	Parete legno (135 mm), pannello lana di legno mineralizzata (40 mm) e doppia lastra in cartongesso (12,5 mm) ambo i lati	146,25	61	63,4	66,3	61,2	64,2
A2	Parete legno (135 mm), pannello fibra di cellulosa (40 mm) e doppia lastra in cartongesso (12,5 mm) ambo i lati	116,65	62	61,4	64,4	61,2	64,2
B1	Parete legno (85 mm), pannello fibra di cellulosa (40 mm) e doppia lastra in cartongesso (12,5 mm) ambo i lati	89,15	59	59,1	62,0	58,8	61,8
B2	Parete legno (85 mm), pannello lana di legno mineralizzata (40 mm) e doppia lastra in cartongesso (12,5 mm) ambo i lati	118,75	56	61,5	64,5	58,8	61,8
C1	Doppia lastra cartongesso (12,5 mm), pannello fibra di legno (40 mm), parete in legno (85 mm), pannello fibra di legno mineralizzata (80 mm), pannello lana di legno mineralizzata (25 mm), intonaco (2 mm)	127,55	55	73,8	74,2	72,0	73,2
C2	Doppia lastra cartongesso (12,5 mm), pannello fibra di cellulosa (40 mm), parete legno (85 mm), pannello fibra di legno mineralizzata (80 mm), pannello lana di legno mineralizzata (25 mm), intonaco (2 mm)	126,75	59	73,8	74,2	72,0	73,2
C3	Doppia lastra cartongesso (12,5 mm), pannello lana di legno mineralizzata (40 mm), parete legno (85 mm), pannello fibra di legno mineralizzata (80 mm), pannello lana di legno mineralizzata (25 mm), intonaco (2 mm)	141,55	54	74,7	75,1	72,0	73,2
C4	Doppia lastra cartongesso (12,5 mm), pannello lana di legno mineralizzata (40 mm), parete legno (85 mm), pannello fibra di legno mineralizzata (80 mm), pannello fibra di legno mineralizzata (40 mm), intonaco (3 mm)	110,95	53	75,0	74,9	71,2	72,3
D	Doppia lastra cartongesso (12,5 mm), intercapedine (5cm), pannello a scaglie orientate a base di legno (15 mm), sughero (140 mm), pannello a scaglie orientate a base di legno (15 mm), cappotto fibra di legno (60 mm), intonaco (8mm)	88,2	58	59,7	61,3	58,3	59,8

In figura 1 sono mostrate, al variare dello spessore dell'intercapedine, le differenze tra l'indice R_w calcolato e quello misurato; nel caso di strutture con identico spessore dell'intercapedine sono stati considerati i valori medi di R_w .

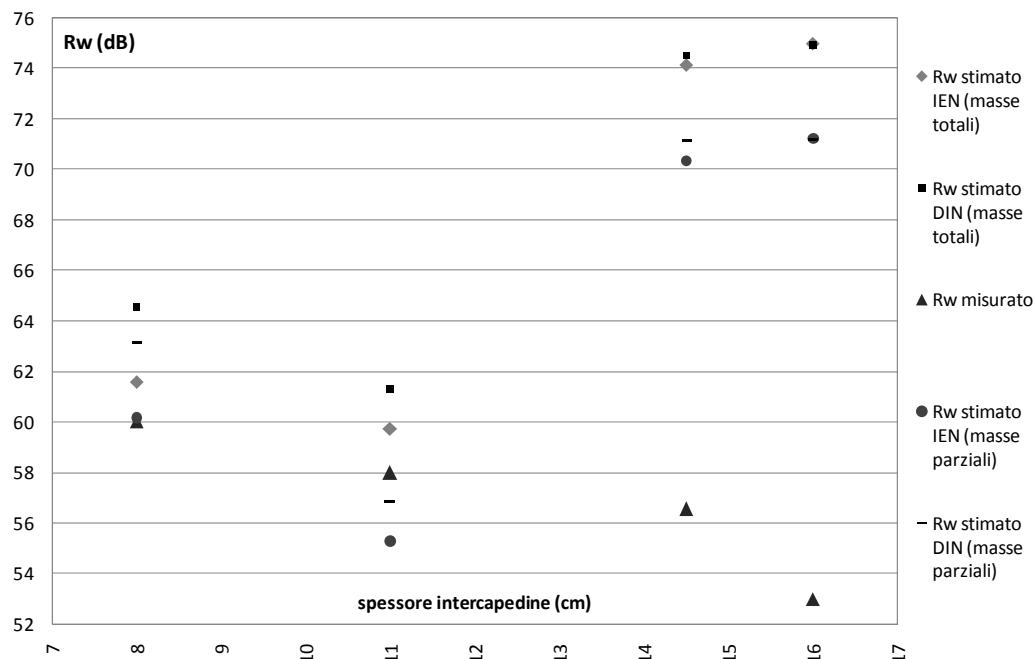


Figura 1 – Valori medi dell'indice del potere fonoisolante stimato e misurato al variare dello spessore dell'intercapedine della parete

Dall'analisi dei valori sperimentali dell'indice R_w e dal confronto con i valori dell'indice del potere fonoisolante stimato si evince quanto segue:

- il limite di validità delle relazioni individuate è definito da spessori del pannello in fibre minerali compresi tra 6 e 8 cm; per valori superiori entrambe le espressioni tendono a sovrastimare notevolmente i risultati (Fig. 1);
- la relazione del DIN fornisce una stima peggiore del potere fonoisolante in tutti i casi rispetto alla relazione dello IEN, sovrastimando R_w anche di 3 dB per spessori contenuti; per spessori maggiori, invece, le due formulazioni tendono a dare risultati coincidenti e comunque molto superiori a quelli reali;
- entrambe le relazioni risultano approssimare con maggior precisione l'indice del potere fonoisolante R_w , nel caso si consideri nel calcolo la massa parziale, anziché la massa totale; tuttavia, seguendo tale approccio, non vengono tenute in considerazione le diverse tipologie di materiale isolante impiegato in termini di densità;
- la formula fornita dall'IEN, in generale, può fornire, nei limiti sopraesposti, una prima stima dell'indice R_w che si avvicina maggiormente al valore effettivamente misurato.

3. Definizione della stratigrafia di prova

Al fine di individuare una stratigrafia ottimale per una parete multistrato in legno e materiali isolanti rivestita in cartongesso, in accordo con il produttore, è stata messa a punto una parete da testare presso il Laboratorio di Acustica dell'Università degli Studi di Perugia, capace di garantire elevate prestazioni termiche ed acustiche.

Il sistema sottoposto a prova è una parete portante in legno di abete (32 mm), con termocappotto in polisterene ed intonaco sul lato esterno; sul lato interno è presente una

controparete in lana di roccia e una lastra di cartongesso (fig. 2). In base all'applicazione delle relazioni sopra riportate (Tab. 2), le scelte progettuali individuate darebbero luogo ad un potere fonoisolante atteso di 57 dB, tenendo conto che l'equazione più attendibile risulta quella dell'IEN, considerando le sole masse parziali.

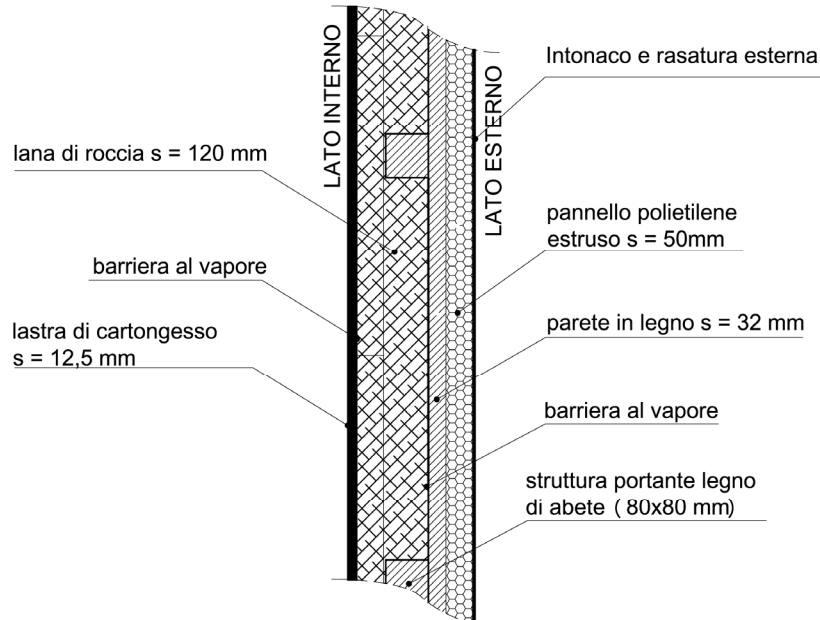


Figura 2 – Stratigrafia della parete di prova: sezione orizzontale

Tabella 2 – Caratteristiche parete in legno esaminata e R_w stimati

	Caratteristiche parete	Massa totale [kg/m ²]	R_w stimato [dB]			
			massa totale		massa parziale	
			IEN	DIN	IEN	DIN
E	Lastra in cartongesso (12,5 mm), lana di roccia (120 mm), parete in legno (32 mm), polistirene (40 mm), intonaco (4 mm)	36	58,6	59,8	57,4	58,6

4. Verifica in laboratorio delle prestazioni acustiche

Le prestazioni acustiche della parete esaminata sono state misurate presso le camere riverberanti del Laboratorio di Acustica dell'Università di Perugia, in conformità con quanto previsto dalla normativa tecnica UNI EN ISO 140-3:2006 [7]. Nell'installazione del campione sono stati accuratamente simulati i normali collegamenti e le condizioni di sigillatura lungo il perimetro e alle giunzioni della parete (Fig. 3). Il calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante è stato eseguito ai sensi della UNI EN ISO 717-1 [8]. Per poter valutare il contributo dei singoli strati che compongono la parete, sono state eseguite una serie di prove parziali, al fine di comprendere l'effetto di ciascuna componente sulle prestazioni complessive. Il primo sistema sottoposto a prova (P1) è costituito dalla struttura portante in legno di abete, costituita da un reticolato di travi di supporto e da un assito di legno di tamponatura (spessore complessivo 32 mm). L'isolamento tra la muratura il tavolato è stato realizzato mediante silicone. Poi è stato realizzato il termocappotto sul lato esterno, costituito da un pannello in polistirene estruso monostrato con intonaco e rasatura esterna, a cui è seguita la seconda sessione di prova (P2). Infine, sul lato interno, è stata costruita la controparete (lana di roccia e rive-

stimento in pannelli di gesso rivestito); infine il campione di parete completo è stato testato in laboratorio (prova P3) per valutare l' R_w complessivo.

I dati relativi alle tre prove eseguite in Laboratorio e l'indice del potere fonoisolante R_w ottenuto dalle rispettive misure sono riportati in tabella 3.

In figura 4 è riportato il grafico di confronto dell'andamento del potere fonoisolante relativo alle tre prove.



Figura 3 – Fasi di installazione della parete di prova: a) struttura di base in legno, b) rasatura del termocappotto esterno, c) installazione della controparete interna

Tabella 3 – Caratteristiche principali ed indice R_w delle singole prove di laboratorio eseguite sul campione

<i>Prove di laboratorio</i>	$R_w (C, C_w) [dB]$
P1 – parete in legno di abete, spessore 32 mm, densità 400 kg/m ³	24 (0,0)
P2 – parete in legno + termocappotto sul lato interno, spessore 87 mm	28 (-1,-2)
P3 – parete in legno + termocappotto sul lato interno + controparete in lana di roccia e cartongesso, spessore totale 240 mm	56 (-5,-12)

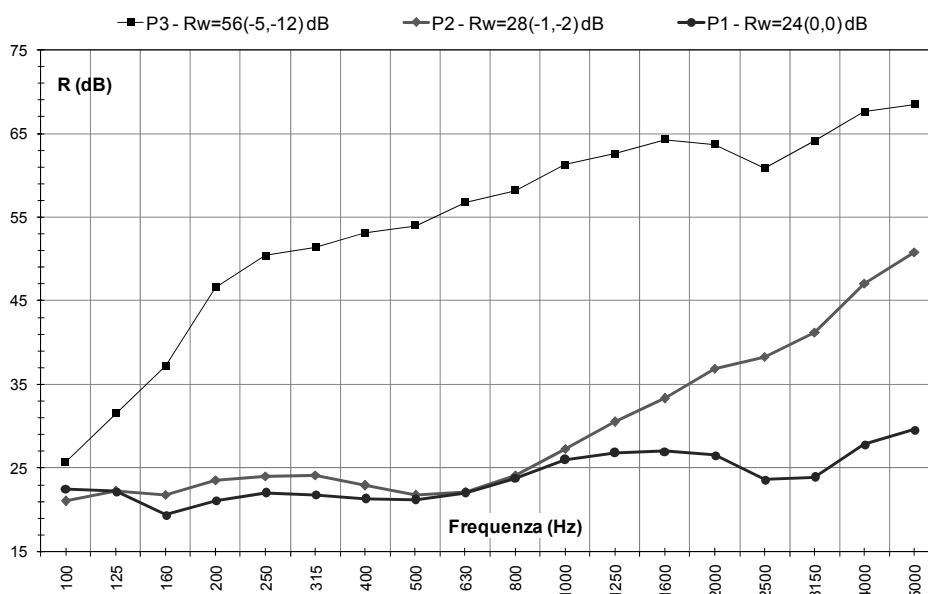


Figura 4 – Andamento in frequenza del potere fonoisolante ottenuto per le prove eseguite sulla parete con struttura base in legno

In linea con le previsioni, il potere fonoisolante complessivo della parete cresce con pendenza molto ripida al crescere della frequenza, mentre alle basse frequenze i valori sono piuttosto modesti.

Dai risultati ottenuti si nota come il cappotto fornisca alla parete in legno un contributo significativo in termini di potere fonoisolante soltanto al di sopra della frequenza di 1000 Hz ($\Delta R_w=4$ dB). L'incremento più significativo è, invece, fornito dalla controparete, per effetto della quale l'indice del potere fonoisolante aumenta di 28 dB ($P_3 - R_w=56$ dB). La parete completa, di spessore pari a 240 mm e massa superficiale complessiva di $35,6 \text{ kg/m}^2$, risulta essere molto performante nonostante il suo peso modesto, ma risulta parzialmente penalizzata dal punto di vista dei termini di adattamento C e C_{tr} , proprio a causa della non elevata massa del materiale impiegato. Osservando l'andamento del potere fonoisolante in frequenza, si può notare come l'installazione del pannello in gesso rivestito sia la causa della perdita di isolamento alla frequenza di 2500 Hz, per effetto del fenomeno della coincidenza.

5. Conclusioni

Gli stringenti requisiti in materia di isolamento termico ed acustica e la necessità di ottimizzare i costi ed i tempi di costruzione stanno facendo emergere sul mercato pareti di tamponatura prefabbricate leggere in legno, in luogo di soluzioni convenzionali in muratura. Nasce quindi l'esigenza di poter stimare in via previsionale le prestazioni acustiche di tali soluzioni, al fine di ottimizzarne la stratigrafia e poter determinare l'isolamento acustico offerto dalla facciata nell'ambito della progettazione acustica degli edifici. La memoria si è proposta di indagare i metodi di stima del potere fonoisolante di tali strutture, con l'obiettivo di mettere a punto la stratigrafia di una parete in legno, cappotto esterno, isolamento in lana di roccia e finitura in gesso, capace di garantire elevate prestazioni acustiche nonché termiche.

L'indagine bibliografica ha suggerito per tali strutture l'impiego, nella fase previsionale, di relazioni empiriche messe a punto per pareti in gesso; la fattibilità di tale procedimento è stata valutata grazie all'applicazione di tali relazioni a strutture similari di cui era noto il potere fonoisolante. L'analisi dei risultati ha evidenziato che tali relazioni, in particolar modo quella fornita dall'IEN, seppur a rigore applicabili per strutture con singolo telaio montante, consentono una prima stima delle prestazioni attese della parete, a condizione che l'intercapedine sia contenuta (minore di 10-12 cm); inoltre la stima fornita è tanto più attendibile quanto più il comportamento del materiale isolante risulta simile in termini di assorbimento acustico a quello di una fibra minerale.

L'impiego delle relazioni empiriche suddette è stato quindi di ausilio per la messa a punto della stratigrafia di una parete multistrato in legno, per la quale il valore di R_w stimato è risultato pari a 57 dB, andando a considerare le sole masse parziali. La verifica delle prestazioni in Laboratorio ha evidenziato come tale valore sia prossimo a quello misurato ($R_w=56$ dB). Questo ha confermato che, fino ad intercapedini di poco superiori a 10 cm di spessore, le relazioni empiriche forniscono valori sostanzialmente in buon accordo anche per tali tipologia di pareti, sovrastimando tuttavia il valore effettivo di circa 1 dB considerando le sole masse parziali e di circa 2 dB tenendo conto della massa totale.

Tali relazioni possono essere quindi impiegate in prima approssimazione per prevedere l'ordine di grandezza delle prestazioni acustiche di strutture analoghe, non fornendo tuttavia una stima a favore di sicurezza. Sarebbe quindi interessante e opportuno, partendo dalle relazioni sovraesposte, introdurre dei coefficienti correttivi che consenta-

no di tener conto delle peculiarità sovraesposte; in ogni caso la formulazioni di relazioni più appropriate richiederebbe un set di dati più ampio di quello attualmente disponibile.

Bibliografia

- [1] Cellai G., Secchi S., Busa L., *La progettazione acustica degli edifici – Soluzioni tecniche e informazioni progettuali per il rispetto del DPCM 5/12/97*, Alinea Editrice, 2005.
- [2] UNI/TR 11175: 2005, *Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale*.
- [3] Spagnolo R., *Manuale di Acustica Applicata*, Città Studi Edizioni, Milano 2008.
- [4] Brosio E., *Esempi di progettazione e realizzazione. Mezzi di previsione delle prestazioni acustiche di materiali e componenti*, in Atti del seminario annesso al convegno AIA 86, L'acustica nell'edilizia destinata ad attività del terziario, Sorrento, 9 aprile 1986.
- [5] DIN 4109:1989, *Sound insulation in buildings; requirements and testing*, Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard).
- [6] Di Bella A., Granzotto N., Ferro A., *Analisi sperimentale del potere fonoisolante di pareti in legno*, in Atti del 35° Congresso Nazionale AIA, Milano, 11-13 luglio 2008.
- [7] UNI EN ISO 140-3:2006, *Acustica – Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio*.
- [8] UNI EN 717: 2007, *Acustica – Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Isolamento acustico per via aerea*.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano sentitamente ringraziare l'azienda LAIKA di Roberto Spacone con sede in località Forcelle - Pozzuolo - 06061 - Castiglione del Lago (PG), ed in particolare l'ing. Leonardo Spacone, per la collaborazione nella realizzazione del campione di prova e l'azienda CELENIT S.p.A. con sede in via Bellinghiera, 17 - 35019 Onara di Tombolo (PD), in particolare l'arch. Eddy Tiozzo, per aver messo a disposizione degli autori i rapporti di prova relativi alle pareti tipo A, B, C.