

Simone Secchi*
 Patrizio Fausti **
 Bart Ingelaere ***
 María Machimbarrena ****
 Sean Smith *****
 Nicolò Zuccherini Martello *****

Le prestazioni acustiche di pareti: il confronto in Europa

Vengono evidenziate le principali differenze tra le soluzioni di pareti in laterizio utilizzate in Europa alla luce dei risultati di una ricerca europea sull'armonizzazione delle norme per la classificazione acustica degli edifici

KEYWORDS Prestazioni acustiche, Murature in laterizio, Classificazione acustica degli edifici

L'articolo trae origine dallo studio svolto nell'ambito del programma europeo COST Action TU 0901 [1] (Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions) tra il 2010 ed il 2013, che ha portato alla definizione di un repertorio di soluzioni costruttive e di regole di buona pratica per l'isolamento acustico degli edifici, a livello europeo.

In particolare, lo studio ha avuto come obiettivi la proposta di descrittori armonizzati delle prestazioni acustiche degli edifici, l'elaborazione di una bozza di classificazione acustica europea per gli appartamenti (WG1), la definizione di una possibile correlazione tra prestazioni acustiche degli edifici e disturbo acustico percepito dalla popolazione (WG2) e la definizione di un repertorio di soluzioni costruttive e di regole di buona pratica per l'isolamento acustico degli edifici (WG3), a livello europeo [2, 3]. L'articolo si compone di due parti; nella prima parte sono analizzate le norme sulla classificazione acustica degli edifici, sono poste a confronto le pre-

stazioni tipiche e sono descritte le soluzioni tecniche adottate per realizzare pareti in laterizio in Italia ed in Europa; nella seconda parte saranno descritte le opportunità di evoluzione delle pareti in laterizio realizzate in Italia sulla base delle risultanze della ricerca europea COST Action TU 0901.

I valori di riferimento per le prestazioni acustiche degli edifici in Italia e in Europa

L'Italia è dotata sia di una legislazione sulla protezione acustica degli edifici [4], in vigore dal 1998, che di una normativa tecnica [5] sulla classificazione acustica degli edifici, in vigore dal 2010. Quest'ultima costituisce ad oggi una procedura a carattere volontario che può essere adottata da un costruttore o da un progettista di un nuovo edificio per comunicare e garantire agli acquirenti la qualità acustica degli edifici realizzati.

In tabella 1 sono riportati i valori limite riferiti alle diverse classi di qualità acustica degli edifici con destinazione resi-

Acoustic performance of walls in Europe

KEYWORDS Acoustic performance, Brick walls, Acoustic classification of buildings

The study, carried out between 2009 and 2013 as part of the European COST Action TU0901, concerning the Integration and Harmonization of Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions, led to the definition of a database of construction solutions and guidelines of good practice for sound insulation of buildings, at the European level. The outcomes of the research were the definition of harmonized indicators of acoustic performance of buildings, the elaboration of a draft of a European acoustic classification for dwellings, the definition of the correlation between acoustic performance of buildings and acoustic disturbance perceived by the population and finally the set-up of a compendium of constructive solutions in the various

European countries for airborne and impact sound insulation in buildings. The article is organized in two parts, concerning the description of brick walls realized in different European countries (part 1) and the definition of the possibilities for improving the acoustic performances of brick walls mainly used in Italy (part 2).

In the first part, the Italian scheme of acoustic classification of buildings is compared with the new proposal for acoustic classification elaborated by COST Action TU 0901, which is part of a new proposal for an International standard. The acoustic performances of typical brick walls realized in European countries are compared. Finally, some brick walls frequently realized in Italy, Spain and Belgium are analyzed in detail.

Classe acustica	Isolamento acustico normalizzato di facciata	Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali fra ambienti di differenti unità immobiliari	Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari	Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo	Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo
	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	R'_w (dB)	L'_{nw} (dB)	L_{ic} (dBA)	L_{id} (dBA)
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

Tabella 1. Valori limite riferiti alle diverse classi acustiche degli edifici secondo la UNI 11367 [5].

Valori limite dell'isolamento acustico	$D_{nT,50}$ (dB) (1, 2)					
	A	B	C	D	E	F
Tra un appartamento e locali con attività rumorose (3)	≥ 68	≥ 64	≥ 60	≥ 56	≥ 52	≥ 48
Tra appartamenti o tra appartamenti e stanze fuori dall'appartamento	≥ 62	≥ 58	≥ 54	≥ 50	≥ 46	≥ 42

Note:
(1) $D_{nT,50} = D_{nT,w} + C_{50-3150}$
(2) In alternative a $D_{nT,50}$, la prestazione può essere stimata per tutti i tipi di strutture mediante il descrittore più comune $D_{nT,100} = D_{nT,w} + C$
(3) Locali con attività rumorose sono quelli adibiti a servizi comuni come lavanderie, centrali termiche, cucine comuni, attività commerciali come negozi, laboratori o caffetterie. In ciascun caso, devono essere stimati i livelli di rumore e conseguentemente deve essere determinato l'isolamento acustico richiesto, per es. nel caso di discoteche, sale per feste ecc. Gli uffici non devono normalmente essere considerati come locali rumorosi ed ad essi si applicano gli stessi criteri che per gli appartamenti.

Tabella 2. Valori limite dell'isolamento acustico $D_{nT,50}$ per pareti tra appartamenti e tra appartamenti e locali rumorosi secondo la proposta ISO [8].

Classe	Generale	Isolamento acustico giudicato carente da:
A	Clima di quiete con alto livello di protezione dal rumore	Meno del 5 %
B	Buona protezione dal rumore in normali circostanze, anche senza troppe restrizioni da parte degli occupanti	Intorno al 5 %
C	Protezione contro i disturbi insopportabili con normale comportamento degli occupanti, attenti ai propri vicini	Intorno al 10 %
D	Normalmente disturbati dal rumore, anche con comportamento di normale vicinato	Intorno al 20 %
E	Quasi nessuna protezione offerta contro il rumore	Intorno al 35 %
F	Quasi nessuna protezione offerta contro il rumore	Più del 50 %

Nota: le indicazioni percentuali sono una stima di massima, basata su dati di letteratura. I dati reali delle risposte degli utenti dipendono molto dal tipo e dall'impostazione dei questionari.

Tabella 3. Rapporto tra classe acustica e stima del disturbo sonoro da parte degli occupanti secondo la bozza ISO di classificazione acustica [8].

denziale, direzionale ed ufficio, ricettiva (alberghi, pensioni e simili), ricreativa, di culto e commerciale. La descrizione più dettagliata della norma è riportata in [6, 7].

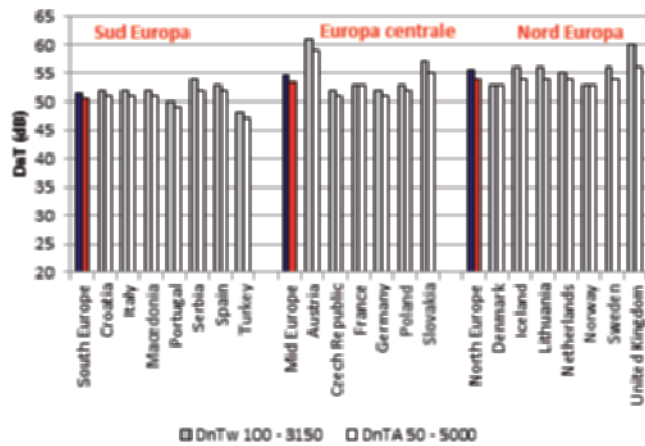
Si nota come i valori di soglia riferiti alla classe III corrispondano ai limiti del DPCM 5/12/97 [4] per quanto attiene il potere fonoisolante apparente delle partizioni interne ($R'_w \geq 50$ dB) ed il livello di rumore da calpestio ($L'_{nw} \leq 63$ dB). Il valore riferito a tale classe per l'isolamento acustico di facciata ($D_{2m,nT,w} \geq 37$ dB) è invece 3 dB inferiore al limite del medesimo decreto.

I valori limite per l'isolamento ai rumori aerei interni ed al rumore da calpestio si riferiscono, per l'edilizia ricettiva, anche alle partizioni interne alla medesima unità immobiliare (pareti e solai tra camere di albergo). In questo caso, però, la grandezza usata per l'isolamento ai rumori aerei interni è l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione ($D_{nT,w}$) al posto del potere fonoisolante apparente (R'_w). Recentemente, i risultati del programma di cooperazione europeo Cost Action TU 0901 [1] hanno portato alla formulazione, in ambito di Comitato Internazionale di Normazione (ISO), della proposta di uno schema di classificazione acustica

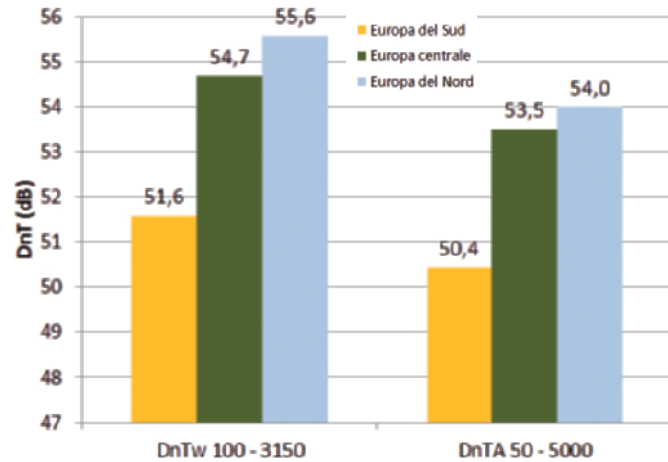
delle abitazioni che consenta di armonizzare i valori limite delle diverse classi di protezione acustica degli edifici [8].

Tale proposta lascia liberi i Paesi di stabilire la minima classe acustica ammissibile per i nuovi edifici ed eventualmente per quelli esistenti; ha inoltre il pregio di stabilire un linguaggio comune (in termini di grandezze acustiche usate e di valori limite tra le diverse classi) tra le norme dei vari paesi.

La proposta prevede sei classi acustiche indicate con le lettere dalla A (la classe migliore) alla F e riguarda i requisiti di isolamento acustico ai rumori aerei di partizioni interne tra appartamenti, isolamento ai rumori di impatto, isolamento acustico di facciata, livello di rumore da impianti, riverberazione acustica. Inoltre viene richiesto di calcolare le prestazioni acustiche nel campo di frequenze tra 50 e 3150 Hz, ammettendo comunque che possa essere valutato anche il campo più ristretto tra 100 e 3150 Hz, come avviene attualmente in Italia sia per la verifica dei requisiti acustici passivi degli edifici [4], sia per la classificazione acustica delle unità immobiliari [5]. Per tutti i requisiti, la differenza tra una classe e la successiva è di 4 dB e l'assegnazione della classe acustica viene effettuata sulla base di misurazioni in opera; il valore utile della presta-



1. Valori dell'isolamento acustico in opera dichiarato per partizioni tipiche dei vari Paesi europei.



2. Valore medio delle prestazioni di isolamento acustico delle partizioni verticali realizzate nei paesi del Sud, del Centro e del Nord Europa.

zione è quello ottenuto come media di almeno tre rilevazioni per ogni requisito e per ogni tipo di struttura. In ogni caso, la norma non ammette deviazioni negative di oltre 2 dB dal valore limite della classificazione acustica

A livello progettuale, prima della realizzazione dell'edificio, la proposta di norma consente la classificazione acustica degli appartamenti sulla base di stime teoriche. In questo caso viene comunque raccomandato un margine di sicurezza di almeno 2 dB al di sopra del valore limite della classe dichiarata.

In tabella 2 sono riportati i valori limite riferiti alle ipotesi di classi acustiche, per partizioni tra appartamenti e tra appartamenti e locali rumorosi esterni ad essi.

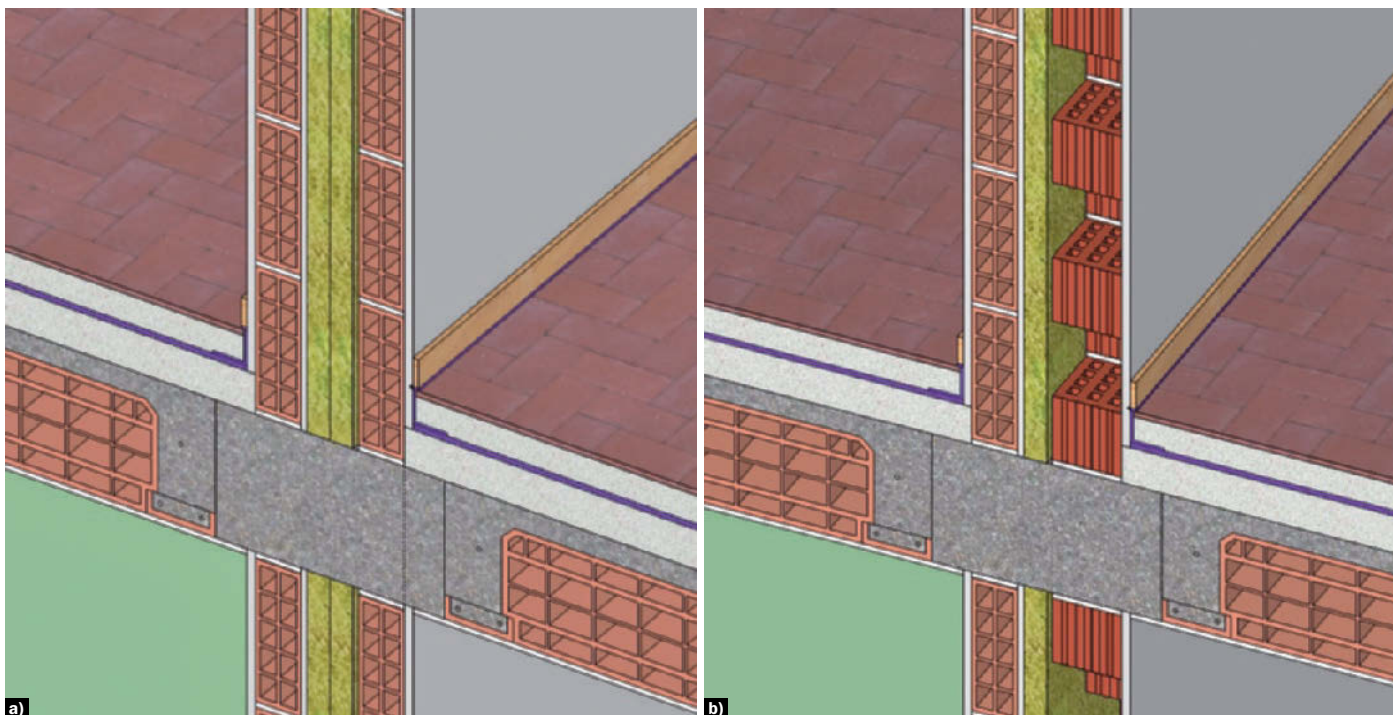
Per agevolare la comprensione del significato delle diverse classi acustiche, in tabella 3 è riportata la relazione tra classe e disturbo acustico percepibile dagli occupanti secondo la bozza di norma ISO [8].

Le prestazioni acustiche di pareti in laterizio in Europa

Nell'ambito della ricerca sopra citata [1] sono stati raccolti dati sulle prestazioni acustiche di pareti massicce (prevalentemente in laterizio) in 29 paesi europei sulla base dell'esperienza propria degli esperti di ciascun Paese partecipante al progetto. In alcuni casi, come per l'Italia, i dati forniti si basano su valori medi delle prestazioni acustiche misurate in un numero elevato di partizioni esaminate; in altri casi, sono stati forniti valori sulla base di un numero minore di rilevazioni o su valutazioni teoriche basate su rilievi di laboratorio.

In tutti i casi era stato richiesto agli esperti di fornire i valori tipici delle prestazioni di isolamento acustico delle soluzioni tecniche adottate nel proprio Paese, al fine di soddisfare i valori limite imposti dalla normativa nazionale.

Non si tratta pertanto delle prestazioni acustiche medie della produzione edilizia corrente nei vari Paesi (dove si trovano



3. Tipiche partizioni italiane con tramezze forate in laterizio, a fori orizzontali, con intercapedine riempita con lana minerale (a); con blocchi semipièni in laterizio, a fori verticali e intercapedine riempita con lana minerale (b).

spesso anche non conformità ai limiti normativi), ma delle prestazioni attese da edifici rispondenti ai dettami della normativa tecnica corrente. Dal momento che le prestazioni acustiche vengono misurate nei vari Paesi con riferimento a differenti descrittori, al fine di ottenere grafici comparativi, sono state imposte condizioni al contorno uniformi per poter mettere in relazione tra loro questi diversi parametri. In particolare, è stato ipotizzato che il volume dell'ambiente ricevente fosse $V = 53,5 \text{ m}^3$ e che il rapporto tra il suddetto volume e la superficie, S , della partizione verticale misurata fosse $V/S = 2,5 \text{ m}$, valori tipici di ambienti residenziali nei paesi Europei. Sono stati inoltre ipotizzati valori di riferimento per i termini di adattamento spettrale tipici di soluzioni tecniche usate come pareti e solai tra appartamenti.

Maggiori dettagli su queste modalità di conversione possono essere reperiti [9].

In figura 1 sono riportati i valori dei due descrittori dell'isolamento acustico ai rumori aerei ($D_{nT,w}$ e $D_{nT,50}$) dichiarato dagli esperti dei vari Paesi Europei come riferimento medio per le partizioni verticali in muratura (laterizio, calcestruzzo ecc.) correntemente adottate per rispondere ai propri regolamenti nazionali. È evidente una grande differenza tra i valori dichiarati che variano, in termini di $D_{nT,w}$, dai 48 dB della Turchia ai 61 dB dell'Austria.

Tali differenze devono probabilmente essere poste in relazione ai prodotti ed alle modalità realizzative delle partizioni interne in uso nei vari Paesi, dove si risente di tradizioni e cultura costruttiva ben differenti, come conseguenza anche della maggiore disponibilità di determinati materiali costruttivi e di condizioni climatiche differenti.

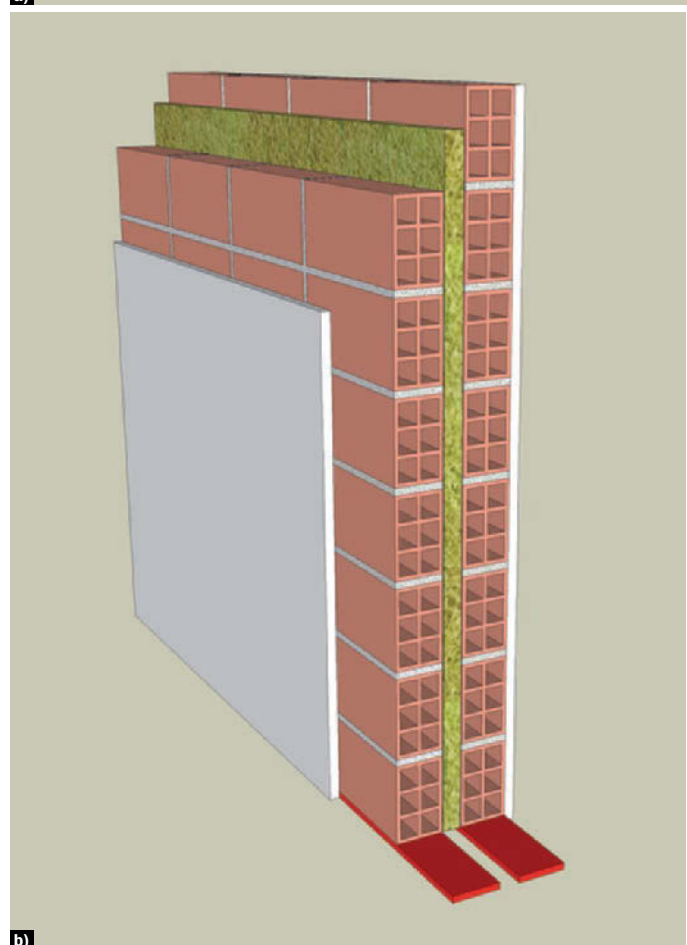
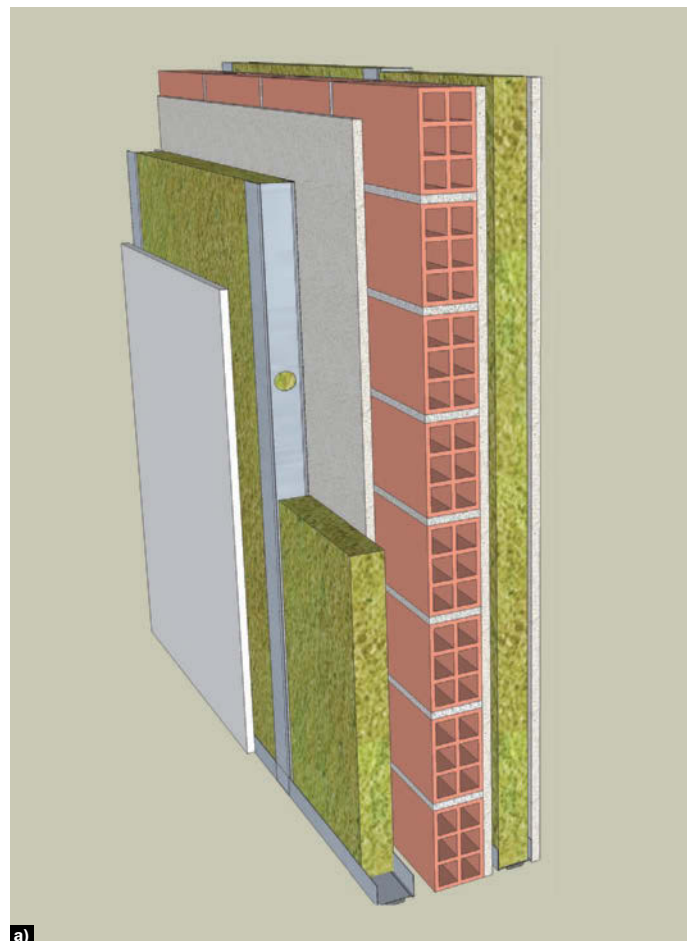
In particolare, dall'esame più accurato delle soluzioni costruttive e delle relative prestazioni acustiche (fig. 1), sembra emergere una differenza di fondo tra i Paesi dell'area mediterranea e quelli del Nord dell'Europa.

Sono stati pertanto calcolati (fig. 2) i valori medi delle prestazioni di isolamento acustico dichiarati per i paesi del Sud (Croazia, Italia, Macedonia, Portogallo, Serbia, Spagna, Turchia), del Centro (Austria, Repubblica Ceca, Francia, Germania, Polonia, Slovacchia) e del Nord dell'Europa (Danimarca, Islanda, Lituania, Olanda, Norvegia, Svezia, Regno Unito).

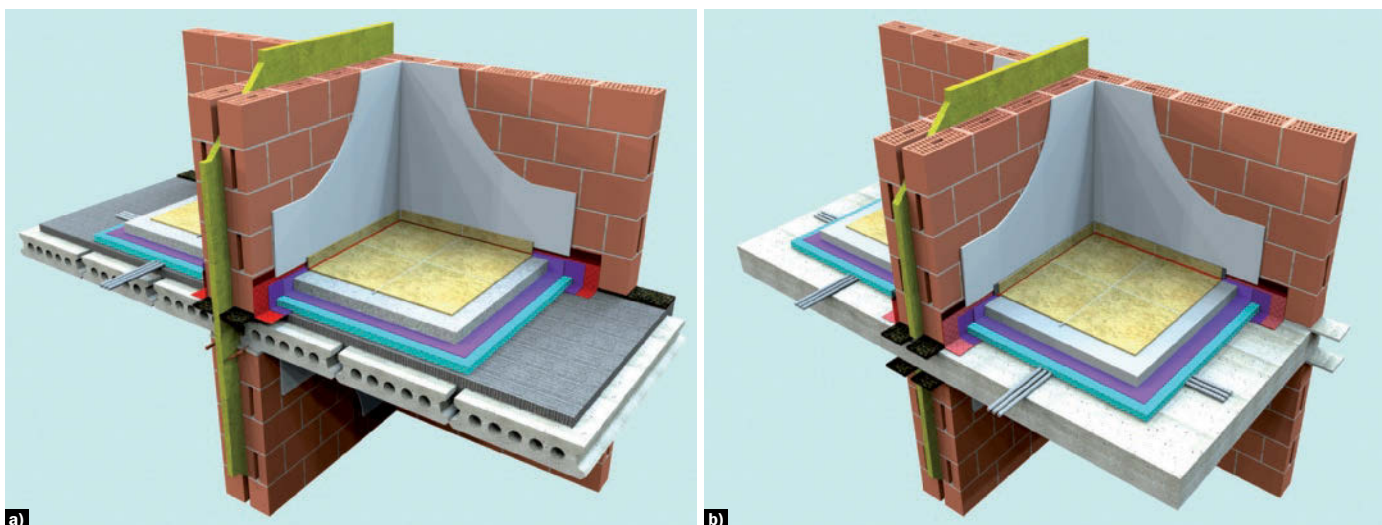
In figura 2 è evidente come in media le partizioni verticali interne realizzate nei Paesi del Nord Europa offrano prestazioni acustiche in opera maggiori di circa 4 dB rispetto a quelle dei Paesi del Sud Europa.

L'indice $D_{nT,A50-5000}$, richiesto dalla proposta di norma internazionale, fornisce valori inferiori di circa 1 dB rispetto all'indice $D_{nT,w 100-3150}$, maggiormente usato in Italia, poiché considera anche le basse frequenze (tra 50 e 80 Hz) dove tipicamente le pareti offrono minori prestazioni acustiche. È interessante notare comunque come le pareti dell'area mediterranea siano meno penalizzate nell'uso di tale indice.

Le differenze evidenziate dai grafici di figure 1 e 2 sono re-



4. Tipica parete realizzata in Spagna tra alloggi distinti [9] in elementi di laterizio rivestita in cartongesso (a); in elementi di laterizio (b).



5. Tipica parete in elementi di laterizio realizzata in Belgio per separare alloggi distinti di case a schiera con solaio interrotto nel giunto (a); tipica parete in elementi di laterizio con solaio continuo [10] (b).

lative a pareti realizzate con elementi in laterizio o in calcestruzzo, normali o alleggeriti, semplicemente intonacate o rivestite con lastre di gesso sulle facce esterne.

In generale, è noto come nei Paesi del Sud Europa siano impiegate maggiormente soluzioni tecniche per pareti tra appartamenti composte da materiali massivi come laterizio e calcestruzzo, normale o alleggerito, di solito semplicemente intonacata sulle facce esterne.

Nei Paesi del Nord Europa sono invece maggiormente diffuse soluzioni basate sull'uso di rivestimenti in legno o in pannelli di cartongesso.

In particolare, in Italia, secondo recenti dati del CRESME (Centro Ricerche Economiche, Sociali, di Mercato per l'Edilizia e il Territorio), quasi l'80% delle pareti divisorie tra appartamenti nuovi è realizzato in elementi di laterizio e oltre il 10% in elementi di calcestruzzo alleggerito. In minima parte, per quanto riguarda le partizioni tra alloggi, sono impiegate pareti leggere in legno o gesso rivestito, sebbene tale tecnologia sia attualmente in fase di maggiore diffusione.

Diversa è la situazione per quanto riguarda il settore dell'edilizia per il terziario, dove l'uso dei materiali è molto più differenziato anche in Italia.

Nelle figura 3a e 3b sono rappresentate due tipiche pareti in elementi di laterizio realizzate in Italia per separare alloggi distinti. Le soluzioni basate sull'utilizzo di blocchi a fori orizzontali (tipo "a" e sue varianti) vengono utilizzate sempre meno poiché hanno mostrato criticità dal punto di vista della posa in opera, soprattutto per quanto riguarda il corretto posizionamento della malta sui giunti verticali.

Molto più utilizzate sono le soluzioni che prevedono l'utilizzo di blocchi semipieni a fori verticali (tipo "b" e sue varianti). Uno dei probabili punti di debolezza dal punto di vista acustico delle pareti illustrate nelle figure 3a e 3b è il nodo con il solaio del pavimento, dove la continuità tra il massetto

di integrazione impiantistica (posto sotto lo strato elastico del pavimento galleggiante) e la parete in blocchi comporta un significativo irrigidimento della giunzione a terra dei due paramenti della parete doppia, inficiandone in parte il comportamento a lastra doppia.

Nelle figure 4a e 4b sono rappresentate due tipiche pareti realizzate in Spagna per separare appartamenti.

La parete di 4b è molto simile a quelle realizzate in Italia, fatta eccezione per la desolidarizzazione che viene creata alla base della parete attraverso i due strati di materiale resiliente (fig. 4b, in rosso).

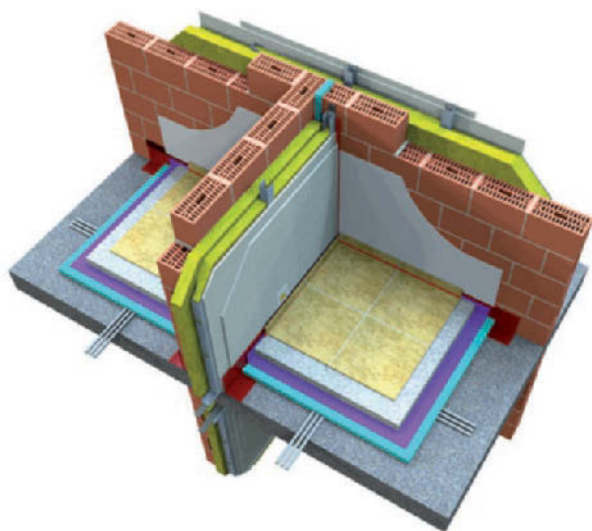
Del tutto analoghe a quelle italiane sono anche le soluzioni tipicamente impiegate nel Portogallo.

Nelle figure 5a e 5b sono invece rappresentate due tipologie di pareti in elementi di laterizio portante realizzate in Belgio, tra appartamenti con solaio discontinuo (fig. 5a) e continuo (fig. 5b).

In generale la soluzione con solaio interrotto (fig. 5a) è raccomandata per case a schiera e permette di ottenere alte prestazioni di isolamento acustico avendo di fatto eliminato la trasmissione laterale tra i solai e la trasmissione strutturale tra i due paramenti della parete doppia.

Nel caso di solai continui (fig. 5b), migliori prestazioni di isolamento acustico tra appartamenti in direzione orizzontale (appartamenti allo stesso piano) si ottengono mediante l'uso di solai di massa pari ad almeno 500 kg/m^2 . Ciò richiede normalmente strutture in calcestruzzo armato prive di blocchi di alleggerimento. Con questa soluzione viene significativamente ridotta la trasmissione sonora laterale sia in direzione orizzontale che verticale.

Si noti il dettaglio dell'attacco a terra delle pareti doppie con il giunto di desolidarizzazione che separa la muratura dal solaio. Come in Spagna (fig. 4a), anche in Belgio si impiegano soluzioni leggere in laterizio e un rivestimento con doppia lastra di



6. Parete in elementi di laterizio con rivestimento in lastre di gesso realizzata in Belgio per separare alloggi distinti [11].

gesso rivestito, completamente disconnesso dalla parete di base (fig. 6). In questo caso, per incrementare l'inerzia termica della parete si utilizza talvolta il rivestimento leggero da un solo lato della parete e giunti elastici per ridurre le trasmissioni sonore laterali tra ambienti adiacenti.

In questo caso si nota il giunto elastico tra la parete laterale di facciata e la parete divisoria.

È interessante infine analizzare le soluzioni costruttive usate in Austria, uno dei Paesi con maggiori livelli di isolamento acustico rilevato in opera e prescritto dai regolamenti nazionali. Come nei Paesi dell'area mediterranea, anche in Austria le soluzioni costruttive che usano tecnologie pesanti (laterizio, calcestruzzo) sono quelle maggiormente diffuse per le partizioni tra appartamenti. Tuttavia, nel 2008 il 13% delle costruzioni plurifamiliari era realizzato in Austria con partizioni in legno [12].

Come in altri Paesi europei, è frequente che le pareti in laterizio vengano finite con rivestimenti in cartongesso per ottenere prestazioni acustiche in linea con i livelli massimi richiesti dalla normativa nazionale.

Prime considerazioni

Sulla base dello studio effettuato, è evidente che le soluzioni tecniche utilizzate nei Paesi Europei e le conseguenti prestazioni acustiche in opera sono molto differenti.

Ciò è conseguenza sia di tradizioni costruttive differenti che di valori limite specificati dalle normative tecniche nazionali molto diversi.

In questo quadro, i Paesi del Sud Europa mostrano generalmente valori prestazionali inferiori, sebbene l'eventuale introduzione della valutazione delle prestazioni anche a bassa frequenza (50 – 80 Hz) penalizzi in misura minore le partizioni massicce realizzate in questi Paesi.

Nell'ottica del recepimento degli standard europei di qualità

acustica degli immobili, le soluzioni costruttive in laterizio adottate in Italia per realizzare partizioni tra unità immobiliari distinte potranno adeguarsi al nuovo quadro. In questo contesto, alcune modifiche alle modalità realizzative delle pareti in laterizio potranno essere apportate per raggiungere i livelli più elevati della classificazione acustica. In particolare, dall'esame delle soluzioni costruttive in laterizio realizzate in altri Paesi, si può dedurre che ci sono ancora molti margini per incrementare le prestazioni acustiche delle pareti in laterizio realizzate in Italia, che già ora consentono comunque il rispetto dei valori limite dettati dalla legislazione nazionale.

Nella parte seconda di questo articolo verranno illustrate alcune soluzioni tecniche in grado di migliorare significativamente le prestazioni acustiche delle pareti in laterizio correntemente realizzate. ¶

Ringraziamenti

Il lavoro trae origini dalle conclusioni della COST Action TU 0901 [1] e pertanto è debitore verso tutti gli esperti che hanno fornito contributi nell'ambito di questa ricerca.

- * *Simone Secchi*
Ricercatore, Dipartimento di Ingegneria Industriale,
Università di Firenze
- ** *Patrizio Fausti*
Professore associato, Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara
- *** *Bart Ingelaere*
Head of Department of Acoustics, Energy and Climate, BBRI,
Brussels, Belgium
- **** *María Machimbarrena*,
Professor, Dpto. Física Aplicada, ETS Arquitectura,
Universidad de Valladolid, Spain
- ***** *Sean Smith*
Professor & Director of Institute for Sustainable Construction,
Edinburgh Napier University, Great Britain
- ***** *Nicolò Zucherini Martello*
Architetto e Dottorando, Dipartimento di Ingegneria,
Università di Ferrara

Bibliografia

- [1] <http://www.costtu0901.eu/> (ultimo accesso: Maggio 2015).
- [2] B. Rasmussen, M. Machimbarrena (editors), COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 2: Housing and construction types country by country, available at <http://www.costtu0901.eu/tu0901-e-books/volume-2/Volume-2.pdf/view> (ultimo accesso: Maggio 2015).
- [3] P. Fausti, T. Carrascal García, B. Ingelaere, M. Machimbarrena, C. Monteiro, A. Santoni, S. Secchi, S. Smith, Design and Acoustic Performance of Building Constructions for Multi-Storey Housing: Compendium, in "Building acoustics throughout Europe - Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe", B. Rasmussen & M. Machimbarrena (editors), COST Action TU0901.
- [4] DPCM 5/12/97, Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, in G. U. Serie generale n. 297 del 22/12/97.
- [5] UNI 11367, Acustica in edilizia. Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera (2010).
- [6] S. Secchi, E. Nannipieri, La classificazione acustica degli edifici, Costruire in laterizio, 137, (2010), 58 – 64.
- [7] A. Di Bella, P. Fausti, F. Scamoni, S. Secchi, Italian experiences on acoustic classification of buildings, in Proceedings of Inter Noise 2012, New York City, August 19-22, (2012)
- [8] ISO/TC 43/SC 2 N 1218 – TU0901 Proposal for Acoustic classification scheme for dwellings, WG1-N74, (2013)
- [9] S. Secchi, Repertorio delle soluzioni costruttive nazionali in Europa: esperienze a confronto, in Rivista Italiana di Acustica, 38/1 (2014) 1 – 13, available at: http://www.acustica-ai.it/wp-content/uploads/2014/11/ria_vol38_2014_n1_pp001-013_secchi.pdf
- [10] T. Carrascal García, M. Machimbarrena, C. Monteiro, Chapter 25 – Spain, in ref [2]
- [11] B. Ingelaere, Chapter 2 – Belgium, in ref [2]
- [12] J. Lang, H. Mellner, Chapter 1 – Austria, in ref [2]