



# Progettare il silenzio

Tecniche di intervento per il benessere acustico

**Anna Magrini**

Stop al rumore. O, più precisamente, a quello che tecnicamente prende il nome di «inquinamento acustico». Un nemico «invisibile» ma che, non per questo, è meno insidioso per la nostra salute. Passo dopo passo, il manuale offre a tecnici e professionisti, a ingegneri e architetti, una vera e propria guida alla «progettazione del silenzio». Con l'obiettivo di creare ambienti confortevoli ex novo o di intervenire sugli edifici già esistenti per controllare o attenuare il rumore. Sempre nel rispetto delle prescrizioni di legge e delle normative in vigore nel nostro Paese.

Nel libro, l'autrice descrive gli elementi principali su cui concentrare l'attenzione per una buona progettazione dell'acustica. Suggestisce le misure

più idonee per ridurre il rischio-rumore negli ambienti che già esistono. E, infine, offre una ricognizione completa delle leggi e delle norme che fissano i criteri da rispettare sia per ridurre il rumore proveniente dall'esterno sia per quello sviluppato in ambienti fra di loro adiacenti. Un manuale da non perdere per realizzare ambienti confortevoli e «silenziosi».

## CONTROLLO DEL RUMORE NEGLI AMBIENTI CHIUSI

### 6.1 Generalità - la legge quadro sull'inquinamento acustico

Il benessere acustico all'interno degli edifici viene garantito dalla corretta progettazione e dalla successiva verifica delle prestazioni dei vari componenti che costituiscono la facciata e le partizioni interne orizzontali e verticali.

In particolare, per garantire protezione adeguata nei confronti dei rumori generati, sia dentro che fuori dall'edificio, devono essere soddisfatti requisiti minimi dei componenti in termini di:

- isolamento acustico delle facciate verso i rumori esterni;
- isolamento acustico delle partizioni interne orizzontali e verticali verso i rumori aerei interni;
- isolamento acustico delle partizioni interne orizzontali verso i rumori impattivi;
- isolamento acustico verso i rumori degli impianti.

Dal momento che la legislazione vigente pone delle precise condizioni in relazione a questi aspetti, è utile partire da alcune considerazioni su quanto viene prescritto, per poter poi stabilire quali siano i requisiti minimi da soddisfare nel campo della riduzione del rumore.

La legge quadro sull'inquinamento acustico n. 447/95 stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

Questa legge segna una significativa svolta nel settore dell'edilizia, modificando profondamente i criteri di progettazione, esecuzione e ristrutturazione delle costruzioni, a partire dai progetti delle grandi opere civili quali aeroporti, strade, discoteche, circoli e impianti sportivi, ferrovie ed altri sistemi di trasporto.

Ogni nuova realizzazione, ed anche ogni ristrutturazione o modifica di opere esistenti, deve essere accompagnata da documentazione sull'esame dell'impatto acustico; è necessaria inoltre una previsione del "clima acustico"



per le aree interessate alla realizzazione di scuole e asili nido, ospedali, case di cura e di riposo, parchi pubblici urbani ed extraurbani, nuovi insediamenti residenziali prossimi alle opere descritte precedentemente.

Una documentazione di previsione di impatto acustico deve essere presentata congiuntamente alla domanda di rilascio di concessione edilizia relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibite ad attività produttive, sportive e ricreative e a centri commerciali.

Per le costruzioni edilizie, con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, vengono fissati i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti.

L'intero corpo di decreti attuativi, a corredo della legge quadro sull'inquinamento acustico, non è ancora completato, ma numerosi decreti sono già stati emanati.

In base a questi, le normative tecniche regionali, i regolamenti d'igiene ed edilizio, i capitolati per l'appalto delle opere edili, i criteri di progettazione, le tecniche costruttive e le verifiche in opera dovranno essere completamente rivisti e rielaborati.

## 6.2 Le prescrizioni di legge relative agli edifici

Le prestazioni di isolamento acustico dei singoli componenti edilizi vengono in genere descritte mediante l'*indice di valutazione del potere fonoisolante*  $R_w$ , ottenuto dai singoli valori del potere fonoisolante  $R$ , rilevato in laboratorio nel campo di frequenze di terzi di ottava tra 100 Hz e 3150 Hz.

Questo parametro, da solo, non è tuttavia in grado di fornire una previsione attendibile delle reali prestazioni fornite in opera da un determinato componente, dato che una forte influenza è dovuta alle caratteristiche costruttive di installazione ed alla composizione in frequenza dello spettro della sorgente sonora che si vuole isolare.

Il decreto attuativo della legge quadro sull'inquinamento acustico, relativo ai requisiti acustici passivi degli edifici (D.P.C.M. 5/12/97 *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*), richiede di verificare le prestazioni dei componenti edilizi nelle loro reali condizioni di messa in opera, tenendo conto sia della trasmissione sonora che avviene direttamente attraverso la singola partizione che di quella che coinvolge le strutture laterali.

In tale decreto vengono indicati i livelli di prestazione minimi richiesti alle strutture edilizie e all'edificio nel suo insieme attraverso indici di valutazione di grandezze rilevate in opera.

In particolare si fa riferimento ai seguenti indici:



- $R'_{w}$ , indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni interne;
- $D_{2m,nT,w}$  indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione;
- $L'_{n,w}$  livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione;
- $L_{A,eq}$  livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A.

In tabella 6.1 vengono riportati i valori limite di tali grandezze.

**Tabella 6.1** - Requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti (D.P.C.M. 5/12/97)

Categoria	Isolamento partizioni interne	Isolamento di facciata	Livello di calpestio	Livello di rumore	
				discontinuo	continuo
	$R'_{w}$ *	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
Ospedali	55	45	58	35	25
Residenze	50	40	63	35	35
Scuole	50	48	58	35	25
Uffici	50	42	55	35	35

\* Valori riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Le grandezze devono essere valutate in opera: questa scelta permette di caratterizzare acusticamente i componenti edilizi tenendo conto delle reali condizioni di installazione e, quindi, garantisce una più corretta valutazione delle loro prestazioni finali.

La progettazione dell'edificio dovrà avere strumenti di calcolo in grado di prevedere gli effetti introdotti dalla messa in opera dei componenti. Per poter usufruire di una guida comune, il CEN (Comitato di normazione europea) sta predisponendo norme che forniscono codici di calcolo per la previsione delle prestazioni in opera a partire dalla conoscenza dei dati di laboratorio e delle modalità di installazione.

### 6.2.1 Isolamento delle partizioni interne

Si può osservare, dall'esame della Tabella 6.1, che i valori di  $R'_{w}$  variano con la categoria dell'edificio e presentano un minimo di 50 dB. Rispetto ai valori indicati nel Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 sull'edilizia scolastica

(indice di valutazione del potere fonoisolante apparente pari a 40 e 42 dB) essi risultano notevolmente più elevati. Rispetto a quanto prescritto dalle leggi nazionali di vari Paesi europei, gli indici stabiliti dal decreto risultano in genere inferiori (Tabella 6.2).

Tabella 6.2 - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente  $R'_w$  per partizioni interne in vari Paesi europei

$R'_w$ [dB]	DK	S	N	UK	F	D	A	NL	I
	52-55	52-55	52-55	51-54	54-57	53-57	54-59	55	50-55

### 6.2.2 Isolamento delle facciate

Le prestazioni di isolamento acustico delle facciate devono essere rilevate in opera (secondo la UNI 10708-2), valutando l'isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nT}$  definito dalla relazione seguente:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log (T/T_0) \quad [\text{dB}]$$

dove:

$L_{1,2m}$  è il livello esterno di pressione sonora rilevato a 2 metri dalla facciata, prodotto dal rumore del traffico o da un altoparlante con incidenza del suono di 45°;

$L_2$  è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente;

$T$  è il tempo di riverberazione dello stesso ambiente ricevente;

$T_0$  il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 s.

I valori limite di  $D_{2m,nT}$  (Tabella 6.1) sono relativamente elevati, ma sono paragonabili, o inferiori a quelli che vengono prescritti dalle leggi nazionali di vari paesi europei.

In Tabella 6.3 è riportato un confronto tra i valori limite dell'isolamento acustico di facciate, per l'edilizia residenziale, definiti dai documenti normativi di vari Paesi europei.



**Tabella 6.3** - Isolamento acustico di facciata in diversi paesi europei

Paese	Grandezza	Sorgente disturbante	Valore limite	Note	
		Livello sonoro esterno [dBA]			
Austria	$R'_{res,w}$	Diurno	Notturmo	Valore limite riferito al livello sonoro sul fronte della facciata	
		$\leq 55$	$\leq 45$		33 dB
		56 – 65	46 – 55		38 dB
		66 – 70	56 – 60		43 dB
		71 – 75	61 – 65		48 dB
		76 – 80	66 – 70		53 dB
		81 – 85	71 – 75		58 dB
		$> 85$	$> 75$	63 dB	
Germania	$R'_{res,w}$	$\leq 55$		30 dB	Valore limite riferito al livello sonoro sul fronte della facciata
		56 – 60		03 dB	
		61 – 65		35 dB	
		66 – 70		40 dB	
		71 – 75		45 dB	
		76 – 80		50 dB	
		$> 80$		Dipende da condizioni locali	
Francia	$D_{nAT}$	Presenza di strade o ferrovie		$\geq 30-45$ dB(A)	Dipende dal tipo di strada/ferrovia
		Aeroporti		$\geq 35$ dB(A)	
<b>Italia</b>	$D_{2m,nT,w}$	Non indicato		40 dB	Indipendentemente dal livello esterno
Danimarca	$L_{A,eq,24h}$	Strade / ferrovie		$\leq 30$ dB	Valore limite riferito al livello sonoro all'interno
Svezia	$L_{A,eq,24h}$	Strade		$\leq 30$ dB	Valore limite riferito al livello sonoro all'interno (solo raccomandato)

Il confronto diretto è complesso, in quanto il parametro a cui si fa riferimento non è sempre lo stesso. In particolare, Germania e Austria utilizzano il potere fonoisolante risultante  $R'_{res}$ , che si ottiene dalla media pesata del potere fonoisolante dei vari componenti della facciata, e corrisponde all'isolamento acustico di facciata  $D_{2m,nT}$ , utilizzato dal decreto italiano, a meno di alcuni termini correttivi che tengono conto della dimensione dell'ambiente interno, della

forma della facciata e della trasmissione sonora laterale.

Per le usuali applicazioni i valori assunti dalle due grandezze differiscono poco, per cui si può considerare approssimativamente valido un confronto diretto tra le indicazioni dei vari Paesi.

Per Danimarca e Svezia il controllo viene fatto imponendo valori limite al livello sonoro equivalente in ambiente interno; la Francia adotta un parametro simile a quello italiano. Si possono evidenziare due principali elementi:

- alcuni Paesi specificano valori limite per gli edifici in funzione del livello di rumorosità dell'ambiente esterno (Austria e Germania).
- i valori limite definiti dalla maggioranza dei Paesi sono paragonabili o più restrittivi a quelli definiti dal decreto italiano.

La differenziazione dei requisiti di isolamento in funzione del clima acustico esterno contribuisce ad evitare sprechi di risorse per l'isolamento degli edifici quando questo non è necessario (è inutile imporre un isolamento di 48 dB ad una scuola o ad un ospedale che si trovano all'interno di una zona molto silenziosa), ma può costituire un problema in vista di eventuali cambiamenti d'uso del territorio (una zona silenziosa può essere attraversata da una nuova strada ad alto traffico che ne cambia completamente il clima acustico).

### 6.2.3 Livelli di rumore di calpestio

I limiti dell'indice di valutazione del livello di calpestio sono in linea di massima più elevati della maggior parte degli altri paesi europei. Si osservi che un più elevato valore di tale indice non presuppone una migliore qualità dell'elemento divisorio, ma piuttosto un livello di rumore maggiore consentito.

In riferimento alla Tabella 6.1 (D.P.C.M. 05/12/97) si evidenzia che paradossalmente è permesso un maggiore livello di calpestio nella residenza piuttosto che negli uffici, mentre per il disturbo che esso arreca, dovrebbe risultare il contrario.

In tabella 6.3 è riportato un confronto tra i valori del decreto con quelli proposti da altre legislazioni europee.

**Tabella 6.3** - Indice di valutazione del livello di rumore di calpestio  $L'_{n,w}$  in vari Paesi europei

$L'_{n,w}$ [dB]	DK	S	N	UK	F	D	A	NL	I
	58-53	58-53	58-53	64-57	63-60	53-48	50-43	61-54	63-55



### 6.2.4 *Livelli di rumore prodotti dagli impianti*

Per impianti a funzionamento discontinuo, il livello di rumore deve essere inferiore a 35 dB(A) ed a 25 dB(A) per quelli a funzionamento continuo; le misure vanno condotte negli ambienti più disturbati ma non in quelli che contengono la sorgente del rumore. Per la misura della rumorosità prodotta dagli impianti si fa riferimento alla norma UNI 8199 (1995) "Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione: valori contrattuali e modalità di misurazione".

## 6.3 Isolamento acustico di pareti divisorie in laterizio

Per realizzare un controllo ottimale della trasmissione del rumore attraverso le strutture, occorre conoscere con una buona approssimazione il potere fonoisolante della parete in opera. Nelle seguenti tabelle si indica il potere fonoisolante ottenuto da misure sperimentali per alcune tipologie di pareti semplici, doppie e di solai.

In linea di massima la previsione del potere fonoisolante potrebbe avvenire attraverso la legge di massa, ma questa nella maggioranza dei casi non risulta adeguata. Nell'ambito della ricerca in sviluppo su queste problematiche, vengono proposte correlazioni differenti dalla legge di massa, in relazione al tipo di parete, per poter offrire un mezzo per la valutazione del valore del potere fonoisolante, ma a tutt'oggi nelle norme e prescrizioni legislative non si hanno indicazioni in tale direzione.

In base ai dati riportati nelle Tabelle 6.4, 6.5, 6.6, ed ad alcune delle più recenti ricerche sull'argomento, si possono ottenere le seguenti considerazioni.

### 6.3.1 *Pareti semplici*

In linea di massima il potere fonoisolante di pareti monostrato cresce progressivamente con la frequenza. Questo tipo di pareti, a parità di indice  $R_w$ , permette un maggiore isolamento alle basse frequenze e può quindi essere utilizzato per la protezione dei rumori con maggiore contenuto di componenti a bassa frequenza, come ad esempio il traffico stradale.

Le migliori prestazioni sono fornite in generale da laterizi semipieni, data la massa più consistente.

La presenza dell'intonaco rappresenta un elemento importante per l'aumento del potere fonoisolante di una parete (fino a 8-13 dB, non rilevante a

basse frequenze). L'incremento di  $R_w$  dovuto ad uno spessore di 1.5 cm di intonaco sulle due facce di una parete è di circa 7÷8 dB.

La previsione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$  di una parete semplice in laterizio può essere stimata mediante la seguente relazione.

$$R'_w = 15.4 \log m + 8 \text{ dB [dB]} \quad \text{valida per } 100 < m < 700 \text{ kg/m}^2$$

Confrontata con altre relazioni di previsione disponibili per pareti in muratura, essa fornisce valori superiori per bassi valori di  $m$  ed inferiori per alti valori di  $m$ .

Nel caso di pareti in laterizio alleggerito, viene utilizzata la seguente relazione che fornisce, a parità di massa superficiale, valori inferiori di  $R'_w$ .

$$R'_w = 16.9 \log m + 3.6 \text{ [dB]} \quad \text{valida per } 100 < m < 500 \text{ kg/m}^2$$

La protezione acustica offerta da pareti semplici nei confronti di rumori di tipo "domestico" può essere stimata sottraendo 1 dB al valore di  $R_w$ ; nel caso di rumore da traffico occorre sottrarre 3 dB al valore di  $R_w$ . Per quanto riguarda l'isolamento acustico di una parete nei confronti della voce (naturale o amplificata), da recenti sperimentazioni, risulta che solo valori di  $R_w$  superiori a 47 dB possono assicurare una sufficiente riservatezza e contemporaneamente una buona intelligibilità di un messaggio sonoro (risultano quindi sufficienti i valori indicati dal DPCM 05/12/97 di  $R_w = 50$  dB per pareti divisorie di unità immobiliari, residenze ed aule scolastiche).

### 6.3.2 Pareti doppie

Le pareti doppie presentano caratteristiche ottimali per isolare i rumori a frequenze medie ed alte, consentendo l'utilizzo di murature più leggere di quelle monostrate.

Per la previsione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante si può utilizzare la relazione seguente (per spessore dell'intercapedine inferiore a 5 cm):

$$R'_w = 20 \log m \quad \text{[dB]}$$

Per sfruttare al meglio le proprietà fonoisolanti delle pareti doppie, nel caso di strutture in laterizio, occorre però che l'intercapedine sia di almeno 10 cm. In queste condizioni il valore di  $R'_w$  può essere stimato con la seguente relazione ( $d$ =spessore dell'intercapedine [cm]):

$$R'_w = 20 \log m + 20 \log d - 10 \quad \text{[dB]}$$

**Tabella 6.4** – Potere fonoisolante di tramezzi semplici  
(valori sperimentali di pareti in opera)

Descrizione dei materiali (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	Indice di valutaz. R <sub>w</sub> (dB)
Tramezza 8x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco, ultimata da 12 giorni	11 (1,5+8+1,5)	136 (nom.105)	42,5
Blocco semipieno alveolato, 25x30x19, F/A=45%, fori verticali, appena intonacata	28 (1,5+25+1,5)	285	51,5
Mattone pieno UNI, 12x25x5,5, F/A=15%, montato di punta (2 teste)	28 (1,5+25+1,5)	477	51
Mattone pieno UNI, 12x25x5,5, F/A=15%, montato a 3 teste con intonaco	41 (1,5+38+1,5)	682	52,5
Mattone semipieno UNI, 12x25x5,5, F/A=32%, fori verticali, montato di punta (a 2 teste), con intonaco	28 (1,5+25+1,5)	440	51
Blocco semipieno alveolato, 25x30x19, F/A=45%, fori verticali, montato di testa, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	330	46,5
Laterizio normale forato, 12x25x25, 15 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	149	42,5
Mattone semipieno doppio UNI, fori verticali, 12x25x12, F/A=40%, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	176 (nom.203)	40
Blocco semipieno alveolato, 45x30x19, F/A=45%, montato di testa, fori verticali, con intonaco	48 (1,5+45+1,5)	428	49
Blocco forato alveolato, 30x25x19, F/A=55%, montato di testa, fori verticali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	285	44,5
Blocco forato in laterizio normale, 30x25x16, F/A=50%, fori verticali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	301	45
Foratino in laterizio normale, 8x12x24, 4 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	96	37
Tramezze alveolate, 8x45x22,5, F/A=45%, fori verticali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	112	38,5
Tramezze alveolate, 12x45x22,5, F/A=45%, fori verticali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	164	41,5
Forato alveolato, 30x19x25, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	33 (1,5+30+1,5)	268	43
Forato in laterizio normale, 8x24x12, 6 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	118	42,5
Forato in laterizio normale, 12x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	15 (1,5+12+1,5)	125	42
Forato in laterizio normale, 12x25x25, 10 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco + lisciatura con scagliola	15 (1,5+12+1,5)	129	42,5
Forato in laterizio normale, 8x30x15, 6 fori, F/A=60%, fori orizzontali, con intonaco	11 (1,5+8+1,5)	124	42



**Tabella 6.5** – Potere fonoisolante di pareti doppie (valori sperimentali di pareti in opera)

Descrizione dei materiali (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	Indice di valutaz. R <sub>w</sub> (dB)
Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	267 (nom.205)	47,5
Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria di 2 cm. Forato 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	30,5 (1,5+12+1,5+2+12+1,5)	268 (nom.225)	47,5
Doppio UNI 12x25x12, F/A=40%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm con lana vetro 100 kg/m <sup>3</sup> Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	27 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241 (nom.285)	48,5
Doppio UNI 12x25x12, F/A=40%, fori vertic., intonaco su due lati. Intercapedine aria di 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	27 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	257 (nom.281)	48
Sempipieno alveolato 25x30x19, F/A=45%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm lana vetro 100 kg/m <sup>3</sup> Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	41,5 (1,5+25+1,5+4+8+1,5)	302	49
Blocco Svizzero 25x18x13, F/A=55%, fori vertic., intonaco su due lati. Interc. 4 cm lana vetro 100 kg/m <sup>3</sup> Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	41,5 (1,5+25+1,5+4+8+1,5)	360	52
Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 5 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	25,5 (1,5+8+1,5+5+8+1,5)	198	47
Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 5 cm con argilla espansa sfusa. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	25,5 (1,5+8+1,5+5+8+1,5)	222	49,5
Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Intercapedine aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241	47,5
Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 4 cm con argilla espansa sfusa. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	260	50
Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. aria 4 cm. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, svinolata con SYLOMER, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	241	51,5
Tramezza 12x25x25, 15 fori orizz., F/A=60%, intonaco su due lati. Interc. 4 cm Vermiculite tipo M. Tramezza 8x25x25, 10 fori orizz., F/A=60%, intonaco esterno	28,5 (1,5+12+1,5+4+8+1,5)	244	48

Con intercapedini di spessore superiore a 10 cm, le pareti doppie in laterizio possono garantire un isolamento acustico superiore alla legge di massa; per valori inferiori, esse si comportano in pratica come pareti semplici di massa pari alla somma delle masse delle due pareti.

La presenza di materiale fonoassorbente nell'intercapedine aumenta la prestazione acustica di alcuni decibel (2÷3 dB), ma non influisce sensibilmente all'attenuazione del rumore da traffico stradale, caratterizzato da significativi contributi alle basse frequenze.

Per spessori fino a 60 mm, la riduzione del rumore che proviene dall'esterno può essere fino a 6 dB; per spessori superiori si può assistere ad un'inversione del fenomeno, in quanto il rumore può trovare percorsi preferenziali che rendono inutile la presenza di strati più spessi di materiale.

La capacità fonoassorbente dei materiali fibrosi aumenta in funzione della densità: considerando lana minerale, con densità di 20 - 50 kg/m<sup>3</sup>, si può valutare che, raddoppiando lo spessore, l'assorbimento aumenta del 35%, mentre, raddoppiando la densità, esso aumenta solo del 15%. Risulta quindi più utile intervenire sullo spessore.

**Tabella 6.6** – Potere fonoisolante di solai (valori sperimentali di pareti in opera)

Tipologia solaio (misure in cm)	Spessore (cm)	Densità superficiale (kg/m <sup>2</sup> )	Indice di valutaz. R <sub>w</sub> (dB)
Travetti a traliccio, interasse 50, laterizio tipo A 16+4, con intonaco all'intradosso	21,5 (1,5+16+4)	270	49
Travetti a traliccio, interasse 50, laterizio tipo A 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	340	50
Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo A 16+4, con intonaco all'intradosso	21,5 (1,5+16+4)	269	48,5
Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo A, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	284	47,5
Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo B, 16,5+4, con intonaco all'intradosso	22 (1,5+16,5+4)	273	47,5
Travetti in cls precompresso, interasse 50, laterizio tipo B, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	362	50
Solaio a pannelli ad armatura lenta, laterizio tipo B, 16,5+4, con intonaco all'intradosso	22 (1,5+16,5+4)	321	48,5
Solaio a pannelli ad armatura lenta, laterizio tipo B, 20+4, con intonaco all'intradosso	25,5 (1,5+20+4)	369	52,5
Lastre in cls precompresso, interasse 120, e polistirolo	24 (4+16+4)	261	50,5
Lastre in cls precompresso, interasse 120, e polistirolo	28,5 (4+20,5+4)	296	53,5
Lastre in cls precompresso, interasse 120, laterizio tipo B	24 (4+4+12+4)	419	51,5
Lastre in cls precompresso, interasse 120, laterizio tipo B	28,5 (4+4+16,5+4)	458	53,5



Per una parete in laterizio, considerata la differenza tra potere fonoisolante di una parete da 8 cm e una da 12 cm, si può considerare più vantaggioso aumentare lo spessore della lana di vetro, piuttosto che del laterizio.

La presenza di lana minerale nell'intercapedine può essere importante per evitare la propagazione longitudinale del rumore nell'intercapedine, che costituisce uno dei principali percorsi di fiancheggiamento. Questi riducono in alcuni casi drasticamente il valore dell'isolamento acustico, misurato in opera, rispetto al potere fonoisolante ottenuto in laboratorio. L'intercapedine dovrebbe essere sempre riempita di materiale fonoassorbente a pori aperti, anche quando la parete (se doppia) è interna all'edificio e non sottoposta a gradienti termici.

Per aumentare il potere fonoisolante di pareti in laterizio, o anche in calcestruzzo, si può adottare una tecnica detta a "pelle resiliente", che consiste nell'applicare alla parete uno strato di fibra minerale (o altro materiale, tipo sughero, gomma truciolare, etc) accoppiata ad una lastra in gesso rivestito. Ciò consente di contenere lo spessore e il peso della parete, pur aumentando in modo significativo l'isolamento, in quanto l'aria nell'intercapedine così realizzata smorza efficacemente le onde sonore.

Con tale soluzione tuttavia si ha un abbassamento dell'isolamento acustico in corrispondenza alla frequenza di risonanza del pannello. Se si riesce a rendere più indipendenti possibile i due strati (gesso-parete), si può abbassare la frequenza di risonanza fino a valori meno fastidiosi.

Occorre inoltre porre attenzione che, aumentando lo spessore dell'intercapedine (ma oltre i 15 cm), si possono verificare fenomeni di risonanza.

### 6.3.3 Solai

Una relazione che correla i dati sperimentali di  $R_w$  con la massa superficiale dei solai è la seguente:

$$R'_w = 22.4 \text{ Log } m - 6.5 \quad [\text{dB}]$$

Da essa si possono valutare le prestazioni dei solai, che risultano migliori di quelle ottenibili dalla legge della massa, applicata a pareti semplici di pari massa.



## 6.4 Confronto tra pareti divisorie in laterizio e in lastre di gesso

Due comuni tipologie di divisorio, pur avendo un pari valore di potere fonoisolante espresso con l'indice  $R_{wv}$ , possono fornire in opera prestazioni di isolamento acustico notevolmente differenti, a causa delle diverse modalità di montaggio e della diversa capacità di isolamento alle varie frequenze che caratterizzano il disturbo acustico. Si fa riferimento in particolare a strutture "pesanti", in laterizio, e pareti "leggere", in lastre di gesso.

Si vogliono quindi analizzare gli effetti della variazione dell'isolamento acustico con la frequenza e della sua riduzione, dovuta a perdite per fiancheggiamento.

### 6.4.1 Influenza dello spettro sonoro

I documenti legislativi non fanno riferimento all'influenza che ha lo spettro sonoro della sorgente disturbante sul comportamento acustico delle partizioni coinvolte, ma questa dipendenza può portare a risultati che devono essere tenuti presenti in una più attenta progettazione degli edifici.

Il comportamento acustico di pareti in laterizio e in lastre di gesso, nei confronti di rumori con diversa composizione in frequenza è differente: è interessante esaminare quale parete può assicurare il livello sonoro più basso nell'ambiente ricevente, a fronte di uguali livelli sonori esterni, ma con diverso spettro sonoro.

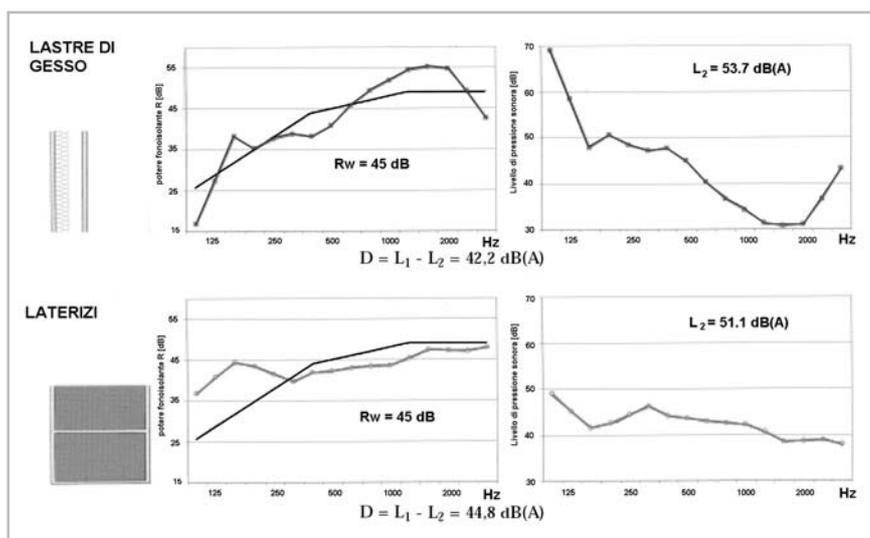
Da ricerche condotte recentemente, sulla base di osservazioni sperimentali, risulta che i valori dell'isolamento acustico in dB(A) per i due tipi di pareti non sono uguali, anche se le prestazioni dichiarate, in termini di *indice di valutazione del potere fonoisolante*  $R_{wv}$ , possano essere le stesse.

Da calcoli effettuati nell'ipotesi di superficie della partizione  $S_p = 10 \text{ m}^2$ , area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente  $A_o = 10 \text{ m}^2$ , costante in tutto il campo delle frequenze, ovvero a parità di  $D_w = R_{wv}$  si è potuto dimostrare che l'isolamento acustico  $D$  in dB(A) risulta più basso per le partizioni leggere.

In particolare questo fatto acquista maggiore importanza quando la sorgente sonora disturbante è caratterizzata da una forte presenza di basse frequenze, come nel caso di rumori prodotti dagli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione.

In Figura 6.1 sono riportati i dati relativi ad un caso esemplificativo: l'indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_{wv}$  è di 45 dB per entrambe le pareti.

**Figura 6.1**  
Confronto  
tra tramezzi  
in lastre di  
gesso ed in  
laterizi



Dall'andamento del potere fonoisolante, si può inoltre osservare che la parete in laterizio è caratterizzata da una perdita di isolamento a bassa frequenza (315 Hz), dovuta al fenomeno della coincidenza con le vibrazioni sonore, e da un successivo andamento del potere fonoisolante regolarmente crescente con la frequenza (circa 3 dB per raddoppio della frequenza). La parete in lastre di gesso presenta bassi valori del potere fonoisolante alle basse frequenze e cresce poi rapidamente nel campo delle medie e alte frequenze, dove però subisce un improvviso calo del potere fonoisolante a causa della frequenza di coincidenza che si colloca a 3150 Hz.

Nei grafici a destra è riportato lo spettro del livello di pressione sonora rilevato nell'ambiente disturbato ed è indicato il corrispondente valore in dB(A).

In linea di massima, le pareti leggere tendono a fornire una protezione acustica minore delle pareti pesanti di oltre 2 dB.

#### 6.4.2 *Influenza delle trasmissioni laterali*

Per quanto riguarda le caratteristiche costruttive, nella valutazione delle prestazioni acustiche in opera delle partizioni, occorre considerare, oltre alla

trasmissione diretta, quantificata dal valore di  $R_{wv}$ , il contributo fornito dalle trasmissioni laterali dell'intero sistema edilizio di cui fanno parte e che delimita l'ambiente ricevente che si desidera proteggere.

Queste trasmissioni sono dovute alla vibrazione delle strutture laterali (pareti e solai) dell'ambiente ricevente e sono funzione delle caratteristiche costruttive di tali elementi e delle modalità di esecuzione seguite per la loro messa in opera.

Il contributo delle trasmissioni laterali viene quantificato mediante l'indice di valutazione  $R'_w$  del *potere fonoisolante apparente*  $R'$ .

Il calcolo di  $R'$  richiede la valutazione di tutti i percorsi di trasmissione sonora, tra cui quelli, in alcuni casi dominanti, dovuti alla trasmissione per via aerea (prese d'aria, controsoffitti passanti, ecc.). Tralasciando questa, è possibile che, a parità di prestazioni della partizione e delle strutture laterali, si abbiano entità differenti della trasmissione laterale dovute alle modalità di costruzione.

In particolare, le strutture leggere multistrato devono le loro elevate prestazioni acustiche principalmente al disaccoppiamento strutturale tra i due strati. La trasmissione laterale può essere resa molto rilevante da particolari configurazioni delle giunzioni tra la partizione e le strutture laterali.

Le pareti in laterizio, invece, per la loro struttura massiccia, sono caratterizzate da una trasmissione laterale meno sensibile alle modalità di messa in opera.

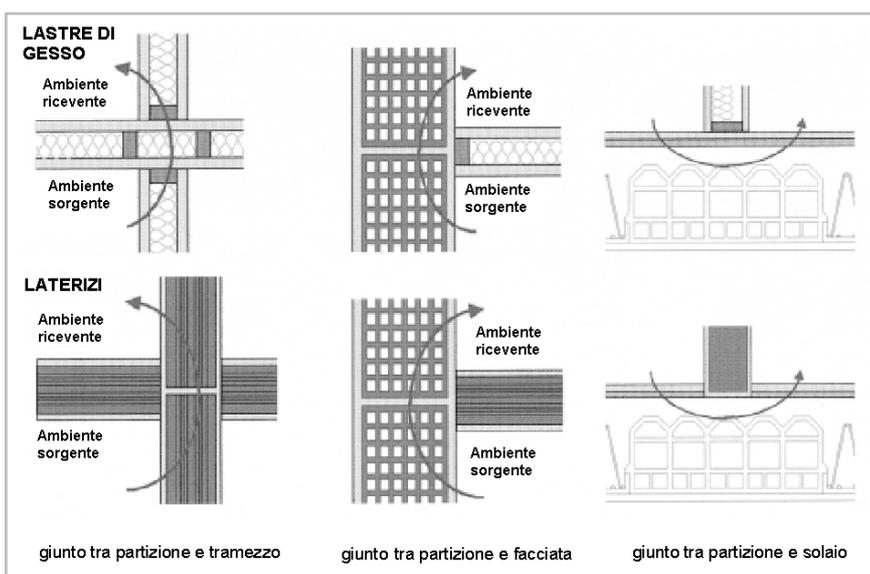


Figura 6.2  
Alcuni tipi di giunti tra la partizione e le strutture laterali

## 6.5 Isolamento acustico delle facciate – Metodo di calcolo

Il requisito di isolamento acustico delle facciate verso i rumori esterni deve essere misurato in opera (D.P.C.M. 5/12/97).

In fase di progettazione occorre pertanto poter fare riferimento ad un metodo di calcolo, che consenta di prevederne il valore con una certa precisione, in base alle caratteristiche acustiche dei singoli elementi che compongono la facciata e alle modalità del loro montaggio.

Nelle UNI EN 12354-1-2-3 vengono forniti metodi previsionali, a partire dalle prestazioni di prodotti, per l'isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti, per l'isolamento acustico al calpestio tra ambienti e per l'isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

Per quanto riguarda quest'ultimo, il procedimento può essere brevemente descritto nel modo seguente. L'isolamento acustico  $D_{2m,nT}$  viene calcolato a partire dal potere fonoisolante apparente di facciata  $R'$ , in base alla seguente relazione:

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \text{Log} \left( \frac{V}{6T_0 S} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove:

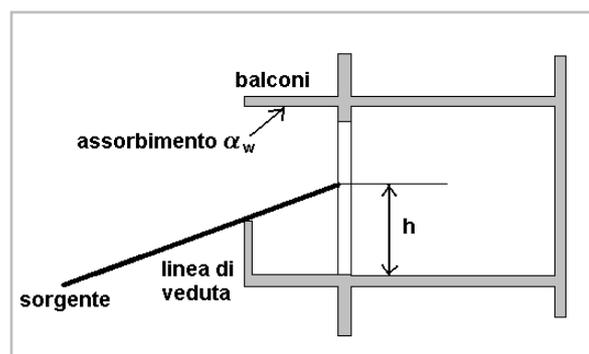
$\Delta L_{fs}$  = differenza di livello sonoro in facciata [dB]

$V$  = volume dell'ambiente ricevente [ $\text{m}^3$ ]

$T_0$  = valore di riferimento del tempo di riverberazione (0,5 s)

$S$  = superficie della facciata, vista dall'interno [ $\text{m}^2$ ]

**Figura 6.3**  
Schema di massima di una forma di facciata



Il termine  $\Delta L_{fs}$  dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro. I suoi valori vengono indicati in una tabella in funzione di  $h$  (Figura 6.3), dell'indice di valutazione dell'assorbimento sonoro (definito nella UNI EN ISO

11654), e della forma, che si individua su una sezione verticale della facciata, in cui le eventuali barriere (parapetti di balconi ecc.) sono indicate solo se a sezione piena.

Il potere fonoisolante apparente di facciata  $R'$  viene calcolato a partire dalle prestazioni acustiche dei singoli elementi di facciata, in base alla seguente relazione:

$$R' = -10 \operatorname{Log} \left( \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{ni}}{10}} \right) - K \quad [\text{dB}]$$

in cui il primo termine è relativo all'isolamento degli  $n$  elementi "normali" di facciata; il secondo termine all'isolamento dei  $p$  elementi "piccoli" di facciata.

In particolare:

- $R_i$  = potere fonoisolante dell'elemento "normale" di facciata  $i$  [dB],
- $S_i$  = superficie dell'elemento "normale" di facciata  $i$  [m<sup>2</sup>],
- $A_0$  = unità di assorbimento di riferimento (10 m<sup>2</sup>),
- $D_{ni}$  = isolamento acustico normalizzato del "piccolo" elemento di facciata  $i$  [dB], calcolato o risultante da misure di laboratorio effettuate secondo la ISO 140-10 [8],
- $S$  = superficie complessiva della facciata [m<sup>2</sup>], vista dall'interno (corrispondente alla somma della superficie di tutti gli elementi che compongono la facciata),
- $K$  = correzione relativa al contributo globale della trasmissione laterale ( $K = 0$  per elementi di facciata non connessi;  $K = 2$  per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi).

Per una valutazione più accurata della trasmissione laterale, si dovrebbe calcolare il potere fonoisolante  $R_{ij}$  relativo ad ogni percorso di trasmissione e quindi fare la somma energetica dei diversi valori di  $R$ .

## 6.6 Alcune osservazioni sulle prestazioni acustiche in opera

Una volta valutati, in linea di principio gli indici di valutazione con i metodi indicati dalla normativa, occorre avere chiaro cosa essi rappresentano in re-



lazione ai valori prescritti ed in relazione alla realtà costruttiva corrente.

Le modalità di posa in opera del componente sono spesso qualitativamente scadenti rispetto a quelle seguite per l'analogo componente realizzato in laboratorio: quindi, anche quando nelle prove di laboratorio viene tenuto conto degli effetti dovuti alla trasmissione sonora laterale (valutabile in media per le tipologie costruttive massicce in 3-5 dB), le prestazioni reali dei componenti possono essere ancora inferiori.

### **6.6.1 *Potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti***

Con tali premesse, la scelta di componenti che possano realizzare un indice del potere fonoisolante apparente tra ambienti  $R'_w$  pari a 55 dB (cat. D: ospedali, case di cura, etc) e 50 dB negli altri casi (D.P.C.M. 5/12/97) dovrebbe essere, in via cautelativa, indirizzata verso componenti che possano garantire un indice superiore.

Le prestazioni richieste sono difficili da ottenere dalle comuni pareti monostrato: ad esempio tipici tramezzi leggeri in laterizio (massa superficiale compresa tra 95-150 kg/m<sup>2</sup>) offrono valori di  $R_w$  compresi tra 37 e 43 dB.

Sensibili miglioramenti possono ottenersi con pareti multistrato (massa superficiale compresa tra 200 e 260 kg/m<sup>2</sup>) con interposta intercapedine (spessore di almeno 5 cm) riempita di materiale fonoassorbente (es. lana di roccia o di vetro): si raggiungono così valori di 47-52 dB.

Ponendo attenzione ai giunti perimetrali della parete, si possono ottenere ulteriori incrementi di  $R_w$  di circa 2-3 dB.

Pareti multiple leggere, costituite da lastre in cartongesso, raggiungono prestazioni acustiche che, pur essendo in generale migliori di pareti monostrato più pesanti, sono dell'ordine di grandezza di quelle multiple in laterizio.

Per quanto attiene ai solai alcune ricerche condotte su alcune tipiche tipologie hanno messo in evidenza i seguenti aspetti;

- la maggioranza dei solai presentano valori di isolamento acustico ai suoni aerei abbastanza elevati ( $R'_w = 50 - 54$  dB per solai a lastra in calcestruzzo e laterizio), con valori che tendono a migliorare se il solaio è ordito secondo la luce minore (aumenta la rigidità).
- lo spessore della soletta del solaio è molto influente: più è elevato, più aumentano le prestazioni. L'applicazione della pavimentazione con relativo sottofondo aumenta le prestazioni di circa 2-3 dB rispetto al solaio grezzo.



### **6.6.2 Isolamento acustico standardizzato di facciata**

L'isolamento acustico di facciata, che in ogni caso deve essere superiore a 40 dB, tiene conto anche delle riduzioni di livello sonoro dovute a particolari configurazioni della facciata stessa (aggetti, balconi con funzione schermante): dovrebbe risultare più facile soddisfare i requisiti acustici richiesti per gli elementi di facciata, tenuto conto tuttavia dei problemi inerenti la presenza di aperture.

### **6.6.3 Livello di rumore di calpestio di solai normalizzato**

Per gli edifici residenziali si fa riferimento ad un valore indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato pari a 63 dB.

- la maggioranza dei solai al grezzo presentano prestazioni limitate, con valori molto elevati dell'indice  $L'_{n,w}$  (72 dB per quelli a lastra in cls e laterizio, 75 dB per quelli a lastra in cls e polistirolo, e pari a circa 84-85 dB per gli altri tipi);

Per i solai di comune applicazione si può osservare quanto segue:

- le prestazioni, al contrario dell'isolamento ai suoni aerei, migliorano se il solaio è ordito secondo la luce maggiore (diminuisce infatti la rigidità);
- in generale i solai pesanti e rigidi (es. soletta in cls) si oppongono bene alla trasmissione di rumori aerei ma viceversa risultano carenti nei confronti dei rumori da calpestio.

## **6.7 Osservazioni riassuntive sul miglioramento delle prestazioni acustiche di pareti e solai**

Una corretta progettazione deve prevedere la scelta delle soluzioni tecnologiche più adeguate ai fini del conseguimento delle prescrizioni di legge, soprattutto al fine di evitare errori la cui correzione a posteriori non sempre risulta agevole e a basso costo.

La scelta dei materiali e delle soluzioni costruttive per un buon isolamento acustico non è univoca, ma vi sono possibilità di scelta relativamente ampie.

### **6.7.1 Isolamento da rumori aerei**

Nei confronti dei rumori aerei, un analogo, e talora migliore, comportamento delle strutture di massa elevata può essere ottenuto con partizioni leg-

gere multistrato. Queste devono però essere costruite in modo tale che ciascuno strato possa vibrare in maniera più indipendente possibile dallo strato successivo (desolidarizzazione), e l'intercapedine tra strato e strato deve avere uno spessore sufficientemente elevato e deve essere riempita con materiale fonoassorbente.

E' anche possibile utilizzare strati di materiale diversi, oppure eguali, ma di spessore differente (ad es. forati di 8 e 12 cm, cartongesso a semplice e doppio strato, ecc.), al fine di esaltare gli effetti di barriera acustica in una gamma maggiore di frequenze, mentre, contemporaneamente, si può evitare che i vari componenti abbiano una riduzione di isolamento acustico alle stesse frequenze di coincidenza.

Un altro aspetto da considerare è la presenza di partizioni eterogenee con elementi di scarsa capacità fonoisolante (porte, finestre, fori per il passaggio di dotazioni tecnologico-impiantistiche quali cavedi, condotte dell'aria, ecc): ai fini dell'isolamento acustico è inutile l'impiego di una partizione muraria dotata di elevate capacità fonoisolanti se poi nella stessa si realizzano delle discontinuità.

Si tenga presente che un'apertura di  $1 \text{ m}^2$ , in una parete di  $10 \text{ m}^2$ , caratterizzata da  $R_w = 40 \text{ dB}$ , produce una riduzione d'isolamento di circa  $30 \text{ dB}$ ; se l'apertura è solamente di circa  $1 \text{ dm}^2$ , la riduzione d'isolamento risulterà ancora notevole essendo pari a circa  $10 \text{ dB}$ ; questo dimostra l'elevata influenza di discontinuità, quali fessure, aperture di ventilazione, ecc. sull'isolamento acustico.

Di conseguenza è anche poco efficace installare un serramento dotato intrinsecamente di buone prestazioni fonoisolanti (ad esempio un doppio vetro), ma che presenta scarsa tenuta lungo le battute con il controtelaio, o scarsa tenuta del cassonetto (da questo punto di vista la presenza delle persiane consente certamente minori problemi). Infatti le prestazioni acustiche dei serramenti sono influenzate sensibilmente dalle modalità di battuta, dalla presenza di guarnizioni sigillanti, dalla giunzione muratura controtelaio oltreché, ovviamente, dal tipo di serramento.

Come regola generale è poco proficuo agire sul componente a maggior isolamento acustico per migliorare le prestazioni complessive di una partizione, mentre, al contrario, è certamente vantaggioso agire sul componente acusticamente più debole, anche se di dimensioni relativamente più ridotte (porte, finestre, prese d'aria per la ventilazione, ecc.).



### 6.7.2 *Isolamento da rumori impattivi*

Per quanto attiene l'isolamento da rumori impattivi, la maggiore efficacia si ottiene con pavimenti galleggianti costituiti da un massetto su uno strato di materiale elastico, in grado di attenuare la trasmissione delle vibrazioni causate dall'energia meccanica d'impatto: il principio è quello di svincolare la struttura portante vera e propria dal massetto sottopavimento; occorre considerare che il tipo di finitura superficiale esercita una grande influenza sulle prestazioni acustiche (piastrelle in ceramica, legno, moquette, ecc.).

Per quanto riguarda i solai esistenti si può ricorrere a controsoffitti, affidando parzialmente a questi il compito di soddisfare i requisiti richiesti dalla normativa.

### 6.7.3 *Effetto dei rivestimenti*

Il miglioramento delle prestazioni acustiche di partizioni verticali o orizzontali a cui venga aggiunto un rivestimento (contropareti o pavimenti galleggianti) si può valutare mediante misurazioni di laboratorio, ma anche mediante metodi teorici.

Le grandezze acustiche a cui si fa riferimento sono le seguenti:

- incremento di potere fonoisolante  $\Delta R$  per le contropareti, corrispondente alla differenza tra la protezione acustica offerta dalla parete rivestita e quella offerta dalla parete non rivestita.
- riduzione di livello di rumore da calpestio  $\Delta L$  per i pavimenti galleggianti, corrispondente alla differenza tra il livello di rumore da calpestio prodotto con solaio non rivestito e quello prodotto dal solaio rivestito.

I valori di tali grandezze [dB] possono assumere anche segno negativo e devono essere rispettivamente sommati ( $\Delta R$ ) o sottratti ( $\Delta L$ ) ai valori della prestazione acustica della struttura di base, per ottenere il valore relativo alla presenza di rivestimento.

#### **Contropareti**

Il sistema costituito da parete e controparete si comporta secondo il meccanismo massa-molla-massa, in cui le masse sono quelle delle due pareti e la molla è l'intercapedine. Tale sistema è caratterizzato da una frequenza di risonanza a cui corrisponde una forte riduzione della prestazione acustica.

Per evitare la risonanza, controparete e intercapedine devono essere rea-

lizzate in modo che questa possa avvenire ad una frequenza sufficientemente bassa (possibilmente < 80 Hz), e comunque al di fuori di frequenze di pratico interesse (100 - 3150 Hz). Al di sopra della frequenza di risonanza, la crescita di isolamento è teoricamente di circa 12 dB ogni ottava di frequenza, ovvero il doppio della legge di massa.

### **Calcolo della frequenza di risonanza**

La rigidità dell'intercapedine è funzione del materiale elastico inserito o, in assenza di riempimento, dello strato d'aria, e delle modalità di connessione dei due tavolati. Per contropareti fissate alla struttura base mediante montanti, con intercapedine riempita di materiale fonoassorbente (resistenza al flusso d'aria > 5 kPa s/m<sup>2</sup>), si considera la rigidità dell'aria, data da:

$$s' = 0.111 / d \quad \text{MN/m}^3$$

dove d = spessore [m] dell'intercapedine, e 0.111 MN/m<sup>2</sup> = modulo elastico dinamico dell'aria. In questi casi, la frequenza di risonanza del sistema massa - molla - massa si calcola in base alla seguente relazione:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad [\text{Hz}]$$

dove s' è la rigidità dell'aria e m'<sub>1</sub> e m'<sub>2</sub> sono rispettivamente le masse superficiali (kg/m<sup>2</sup>) della parete di base e quella della controparete.

A parità di condizioni al contorno, la frequenza di risonanza si abbassa al diminuire della rigidità dell'intercapedine, ovvero all'aumentare dello spessore d. Tale comportamento è valido solo se i due strati sono connessi solo attraverso l'intercapedine, cioè nell'ipotesi di lastre di dimensione infinita.

### **Trasmissione sonora attraverso gli elementi di connessione**

Nei casi reali deve essere valutata anche l'entità della trasmissione sonora che avviene attraverso gli elementi di connessione.

Questi possono essere rappresentati da:

- a) strato elastico (nei casi in cui il rivestimento, ad esempio una lastra di gesso, sia incollata direttamente allo strato elastico e questo alla muratura di base);
- b) elementi puntuali o lineari di irrigidimento a supporto dei due strati (ad esempio montanti metallici, o in legno, e tiranti metallici);
- c) bordi della parete (giunzioni con altre pareti e solai).

Esaminando separatamente i diversi elementi di connessione, si possono fare le seguenti osservazioni.

- a) Ci si può ancora ricondurre ad un sistema ideale massa - molla - massa, se lo strato di rivestimento (ad esempio la lastra di cartongesso) è connesso unicamente allo strato elastico e non alle strutture laterali; ciò può essere realizzato curando di interrompere lo strato di rivestimento appena prima del contatto con le strutture laterali e sigillando la fessura. Le prestazioni del sistema possono essere buone ma deve essere valutata la rigidità dinamica superficiale dello strato elastico al fine di evitare fenomeni di risonanza. Rimane valida l'espressione già vista per la frequenza di risonanza: in questo caso  $s'$  rappresenta la rigidità dinamica superficiale dello strato elastico ( $\text{MN}/\text{m}^3$ ) misurata in laboratorio (secondo UNI EN 29052). La frequenza di risonanza, a parità di condizioni al contorno, si riduce se diminuisce la rigidità dinamica  $s'$ .

Nell'ipotesi di impiegare uno strato elastico con  $s' = 10 \text{ MN}/\text{m}^3$ , un rivestimento in lastre di gesso con  $m'_1 = 10 \text{ kg}/\text{m}^2$  ed una parete di base caratterizzata da  $m'_2 = 120 \text{ kg}/\text{m}^2$  (es. una parete in laterizio forato), la frequenza di risonanza del sistema è circa 166 Hz.

Tale valore risulta piuttosto elevato: per ridurlo, sarebbe necessario triplicare il valore della massa dello strato di rivestimento (ad esempio usando un tavellone per divisori oppure tre strati sovrapposti di lastre di cartongesso), ovvero diminuire il valore della rigidità dinamica superficiale (ad esempio raddoppiando lo spessore dello strato elastico). L'impiego di due strati elastici dalle medesime caratteristiche comporta una riduzione della frequenza di risonanza a circa 100 Hz.

- b) Nel caso di connessione mediante elementi puntuali o lineari di irrigidimento o supporto, deve essere valutata l'entità della trasmissione delle vibrazioni attraverso gli elementi di connessione.

Le contropareti in laterizio vengono spesso giuntate attraverso sottili fili o trecce in acciaio per assicurarne la tenuta statica. Tali elementi costituiscono dei "ponti sonori" che riducono le prestazioni di isolamento acustico delle pareti.

Per determinare la frequenza di risonanza della parete, è necessario conoscere anche la spaziatura tra gli elementi di connessione e determinare la rigidità dinamica superficiale. Nei casi più comuni, si osserva che le connessioni in acciaio a farfalla garantiscono valori della frequenza di risonanza della parete doppia sufficientemente bassi ( $< 80 \text{ Hz}$ ).

- c) La riduzione di isolamento dovuta alla trasmissione di vibrazioni ai bordi



delle contropareti riguarda prevalentemente le tipologie massicce in quanto, per esigenze statiche, i due tavolati della parete base e della controparete devono essere rigidamente connessi ai solai ed alle pareti laterali.

Un aumento di isolamento si può ottenere con l'impiego di strati elastici di desolidarizzazione che riducono la trasmissione delle vibrazioni ai giunti.

L'efficacia degli strati elastici di disconnessione è maggiore alle medie ed alte frequenze; a bassa frequenza l'intercapedine d'aria si comporta come una connessione rigida tra i due strati che quindi vibrano come una sola massa.

Il comportamento della parete sconnessa ai bordi sarà migliore alle medie ed alte frequenze e non alle basse. Questo potrebbe comportare una riduzione di guadagno acustico quando la prestazione viene espressa in termini di indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$

### **Calcolo dell'incremento di potere fonoisolante**

L'incremento  $\Delta R$  di potere fonoisolante dovuto ad una controparete può essere calcolato in funzione della frequenza mediante la seguente equazione:

$$\Delta R = 40 \text{ Log } (f / f_o) \quad [\text{dB}]$$

dove  $f_o$  è la frequenza di risonanza (Hz).

Per il calcolo dell'incremento di potere fonoisolante mediante indici di valutazione, si possono trovare i valori di  $\Delta R_w$  dalla Tabella 6.7, valida per parete di supporto con  $20 \leq R_w \leq 60$  dB (UNI EN 12354-1). Per frequenza di risonanza inferiore a 200 Hz, il valore di  $\Delta R_w$  dipende anche dal potere fonoisolante  $R_w$  della struttura di base.

**Tabella 6.7** - Indice di valutazione dell'incremento di potere fonoisolante  $\Delta R_w$  per pareti di supporto con  $20 \leq R_w \leq 60$  dB

Frequenza di risonanza $f_o$ [dB]	$\Delta R_w$ [dB]
$f_o \leq 80$	$35 - R_w / 2$
$80 < f_o \leq 125$	$32 - R_w / 2$
$125 < f_o \leq 200$	$28 - R_w / 2$
$200 < f_o \leq 250$	-2
$250 < f_o \leq 315$	-4
$315 < f_o \leq 400$	-6
$400 < f_o \leq 500$	-8
$500 < f_o \leq 1600$	-10
$f_o > 1600$	-5



### ***Pavimenti galleggianti***

La prestazione acustica di un rivestimento per solai, al fine di ridurre il rumore impattivo, analogamente a quanto visto per le contropareti, è funzione della rigidità dinamica superficiale  $s'$  dello strato elastico inserito sotto la pavimentazione e dipende dalla frequenza di risonanza del sistema pavimento-strato elastico-solaio.

Il metodo di calcolo dipende dalla posizione dello strato isolante, che può essere applicato superiormente al solaio (pavimento resiliente) o essere interno ad esso (pavimento galleggiante).

### ***Calcolo della frequenza di risonanza***

La frequenza di risonanza dei pavimenti galleggianti si calcola nell'ipotesi che i due strati rigidi siano connessi attraverso lo strato elastico. Quindi può essere impiegata la stessa relazione vista per le contropareti, in cui le due masse superficiali  $m'_1$  e  $m'_2$  sono rispettivamente quelle del rivestimento (massetto e pavimentazione) e del solaio.

### ***Calcolo della riduzione di livello di rumore da calpestio***

Per valutare la riduzione di livello di rumore da calpestio si utilizza la seguente equazione dove  $f$  = frequenza e  $f_0$  = frequenza di risonanza [Hz]:

$$\Delta L = A \text{ Log } (f / f_0) \quad [\text{dB}]$$

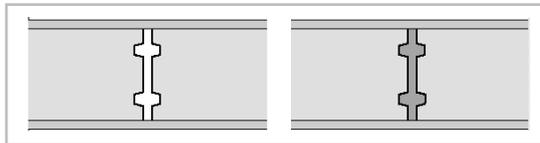
valida nel campo di frequenze  $f_0 < f < 4f_0$ . Per pavimenti galleggianti con massetto in calcestruzzo,  $A = 30$ , per massetto in asfalto o posati a secco,  $A = 40$ .

In definitiva l'attenuazione dipende essenzialmente dal peso del massetto ripartitore e dalle caratteristiche elastiche del materiale di interposizione con il sottostante solaio. Infatti l'isolamento cresce a partire dalla frequenza di risonanza  $f_0$ : a maggior peso del massetto, e a minore rigidità dinamica superficiale, corrispondono valori più bassi di  $f_0$ , ovvero una migliore attenuazione dei rumori impattivi.

## **6.8 Accorgimenti costruttivi**

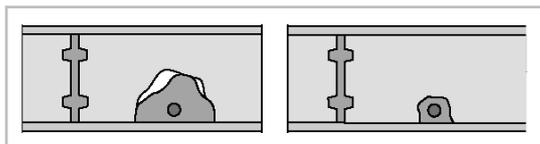
Per evitare la riduzione dell'isolamento acustico o la presenza di percorsi preferenziali per la propagazione del rumore, si possono tener presente alcune semplici indicazioni sia in fase di progettazione che di realizzazione.

►  
**Figura 6.4**  
 Malta di riempimento tra blocchi della muratura (assente nell'immagine a sinistra)



Nella realizzazione della muratura, il mancato riempimento con malta dei giunti verticali tra blocchi, anche se in presenza di intonaco, costituisce una via preferenziale di trasmissione del rumore (Figura 6.4).

►  
**Figura 6.5**  
 Tracce di impianti (troppo estese a sinistra)

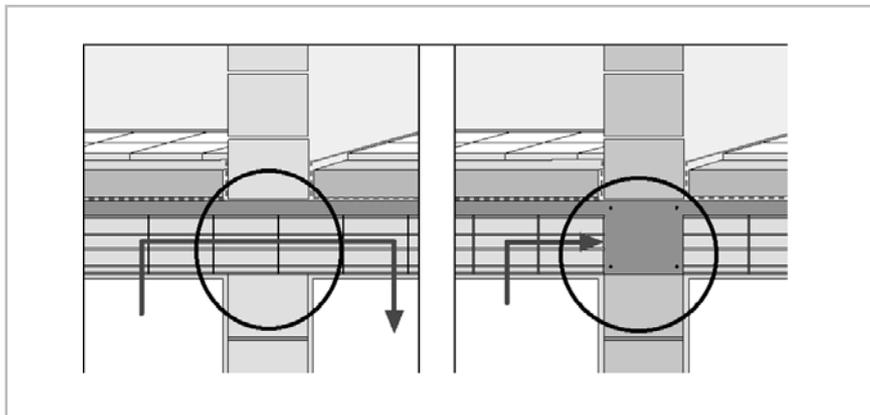


Gli impianti possono essere annegati nella muratura, senza produrre effetti significativi, se le dimensioni delle tracce siano limitate e ben riempite di malta (Figura 6.5).

Il pavimento ed il relativo sottofondo devono essere separati dalla parete divisoria, con l'interposizione di materiale elastico. Spesso nei solai interpiano si realizzano pavimenti galleggianti.

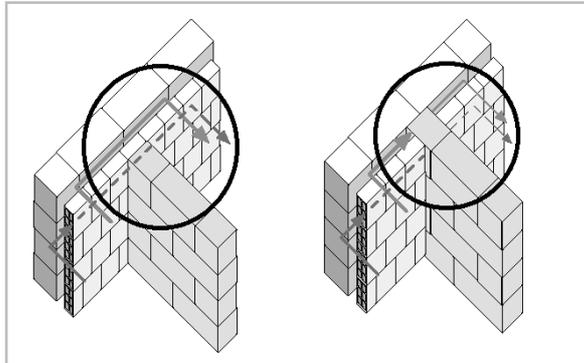
Percorsi preferenziali di trasmissione del rumore si possono presentare anche nel caso di pareti divisorie al di sotto di solai realizzati con pignatte forate sistemate con travetti ortogonali rispetto al tramezzo: i fori delle pignatte, se non interrotti, formano una via di trasmissione del rumore (Figura 6.6 a sinistra).

►  
**Figura 6.6**  
 Trasmissione del rumore attraverso il solaio

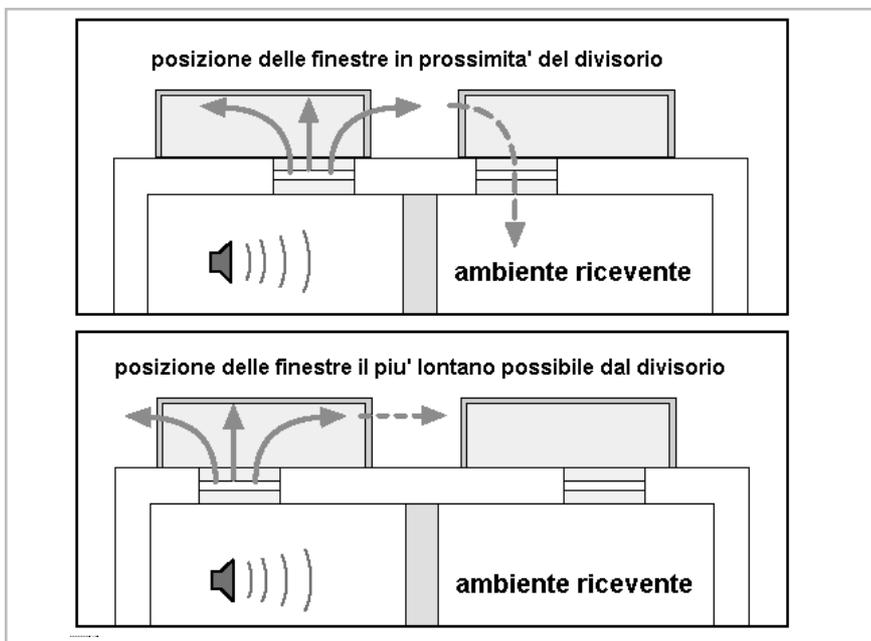
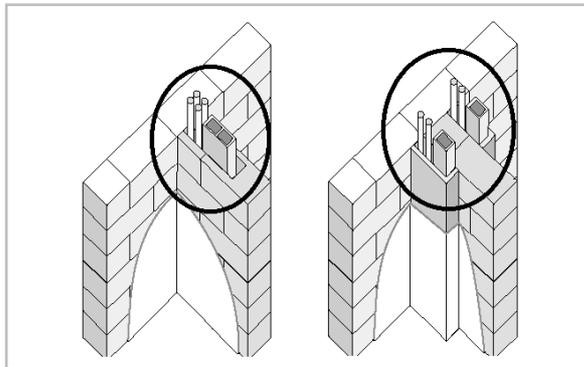


Nelle pareti perimetrali, in corrispondenza dei tramezzi, occorre interrompere la continuità dell'intercapedine (Figura 6.7); è necessario prestare molta attenzione in queste realizzazioni, in quanto, attuando accorgimenti che permettano di aumentare le prestazioni acustiche delle pareti, si potrebbero diminuire quelle termiche, dato che si possono realizzare ponti termici e quindi vie preferenziali di trasmissione del calore.

L'inserimento di canalizzazioni per gli impianti nelle pareti divisorie altera le prestazioni di isolamento acustico, dato che costituiscono un vero e proprio ponte acustico (Figura 6.8).



La posizione di aperture, quali finestre o porte, nelle strutture laterali rispetto al divisorio può facilitare la trasmissione di rumore (Figura 6.9).



▲ **Figura 6.7**  
Interruzione  
di percorsi  
laterali

◀ **Figura 6.8**  
Inserimento  
tubazioni  
nei divisori

◀ **Figura 6.9**  
Posizionamento  
delle finestre