

Università degli studi di
Padova



ISOLAMENTO ACUSTICO

Corso di Acustica applicata

Renato Lazzarin

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei
Sistemi industriali

L'isolamento acustico si occupa della riduzione del suono da un ambiente ad un altro attraverso soffitti, pareti, pavimenti, porte, finestre, ecc, con la sorgente sonora che si trova al di fuori dello spazio considerato.

Questa trasmissione è dovuta alla vibrazione a diaframma dell'elemento separante. Qualora la vibrazione sia causata dalla pressione dell'onda sonora che colpisce l'altro lato della superficie interessata, si ha a che fare con un *rumore aereo*.

Se invece viene trasmesso dall'impatto di qualche oggetto con la struttura dell'edificio, si ha a che fare con un *rumore impattivo*.

Le tecniche di riduzione sono completamente diverse nei due casi e perciò vanno analizzate separatamente.

Trasmissione del rumore aereo

La riduzione del rumore in una stanza dipende da svariati fattori fra i quali:

- le perdite per trasmissione dovute alla vibrazione flessionale di ciascuno degli elementi di separazione, comprendendo porte e finestre;
- la porosità della partizione;
- fessurazione e aperture;
- l'assorbimento della stanza ricevente;
- la frequenza della sorgente sonora.

Si può cominciare ad analizzare la trasmissione del rumore attraverso una parete omogenea ideale (la muraglia cinese).

Si considera il passaggio del suono dal mezzo aria (1) al mezzo parete (2). Imponendo semplicemente per incidenza normale la condizione che le pressioni e le velocità delle particelle siano continue sulle due facce della parete, si ottiene una valutazione teorica della frazione di energia sonora trasmessa.

Sia t la frazione trasmessa, $\rho_1 c_1$ per l'aria = 415 kg/m²s e $\rho_2 l = M$, massa di parete per unità di area (kg/m²):

$$t = \frac{\rho_1^2 c_1^2 \lambda_2^2}{\pi^2 \rho_2^2 c_2^2 l^2} \quad \text{che diventa, sostituendo i valori numerici}$$
$$t = \frac{1,75 \times 10^4}{M^2 f^2}$$

La semplice relazione va sotto il nome di **legge della massa e della frequenza: la frazione di energia sonora trasmessa è inversamente proporzionale al quadrato della massa della parete e al quadrato della frequenza del suono incidente.**

La relazione è stata ricavata con alcune ipotesi restrittive, ad esempio l'incidenza normale dell'onda sonora che invece proviene da varie direzioni. Inoltre si hanno effetti particolari come la *coincidenza* e la *risonanza*.

Normalmente non si considera la frazione t , ma una sua funzione logaritmica, il potere fonoisolante R :

$$R = 10 \log \frac{1}{t}$$

Esso fornisce tendenzialmente la differenza in dB fra il livello del suono incidente e quello del suono trasmesso.

La legge della massa e della frequenza diventa:

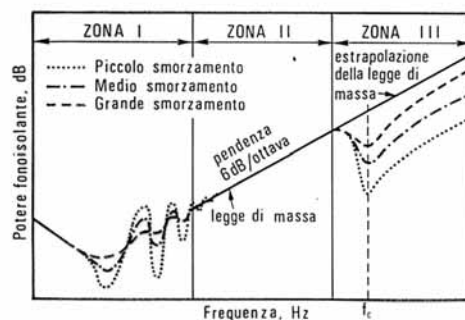
$$R = 20 \log(Mf) - 42,4$$

La legge suggerisce un aumento di R di 6 dB per ogni raddoppio della massa o della frequenza. Delle relazioni empiriche forniscono delle stime più attendibili.

Una possibile relazione empirica è la seguente:

$$R = 18 \log(M) + 12 \log(f) - 25$$

Le relazioni analitiche possono essere utilizzate solo per calcoli di prima approssimazione. L'esame sperimentale di una parete rivela infatti l'esistenza di tre zone:



Nella prima zona si ha un effetto dovuto alle risonanze per le frequenze proprie del pannello. Nella terza zona si ha l'effetto di coincidenza.

Per quanto riguarda il primo effetto, esso è importante nelle frequenze dell'udibile solo per pannelli di notevole rigidità e piccole spessore (lamiere di acciaio). Per le normali pareti edilizie si resta nel campo delle bassissime frequenze.

Nel caso semplificato di parete incernierata ai bordi, le frequenze di risonanza sono ricavabili da:

$$f_{xy} = 0,45hc'_l \sqrt{\frac{n_x^2}{l_x^2} + \frac{n_y^2}{l_y^2}}$$

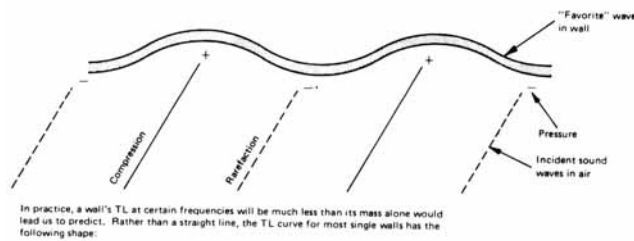
Lo spessore in metri della parete è h , n_x e n_y sono numeri interi, l_x e l_y sono le dimensioni della parete e c'_l è la velocità di propagazione del suono nel pannello (m/s). Valori caratteristici sono 5050 m/s per il vetro, 5300 per alluminio od acciaio, 3150 per mattoni pieni, 1350 per il piombo, 2500 per lastre di gesso.

Come esempio si prenda una vetrata dello spessore di 4 mm e delle dimensioni di 1x1,5 m². Si può costruire la seguente tabella:

$n_x=1$	$n_y=0$	$n_x=0$	$n_y=1$	$n_x=1$	$n_y=1$
9 Hz		4 Hz		13 Hz	
$n_x=2$	$n_y=0$	$n_x=0$	$n_y=2$	$n_x=2$	$n_y=2$
36 Hz		40 Hz		53 Hz	

Come si vede si resta nel campo delle basse frequenze. Quindi la riduzione di fonoisolamento dovuta all'effetto di risonanza non comporta generalmente gravi riduzioni al fonoisolamento.

La seconda zona segue abbastanza fedelmente la legge della massa e della frequenza. Nella terza zona diventa prevalente l'effetto di coincidenza.



Se un'onda sonora incide su di una parete secondo un angolo θ , si forma un'onda flessionale nella parete che si propaga con velocità c' e presenta la lunghezza d'onda λ' :

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$c' = \lambda' \cdot f = \frac{\lambda \cdot f}{\sin \theta} = \frac{c}{\sin \theta}$$



Quando la lunghezza d'onda del suono incidente è pari a quella dell'onda flessionale propria del pannello, le vibrazioni flessionali risultano fortemente esaltate e vi è un indebolimento rilevante del fonoisolamento.

La velocità di propagazione dell'onda flessionale si può ricavare da:

$$c_f = \left| 2\pi f \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\sigma^2)}} \right|^{1/2} \approx \left| 2\pi f \sqrt{\frac{c_l^2}{12}} \right|^{1/2}$$

E è il modulo di comprimibilità del materiale e σ è il rapporto di *Poisson*, che vale circa 0,3. La velocità c_l è quella del suono nel materiale (onde di pressione longitudinali).

La coincidenza si ha quando $c_f = c'$; la frequenza critica f_c per la quale comincia a comparire il fenomeno della coincidenza si ha quando l'angolo di incidenza è tangenziale ($\theta = 90^\circ$):

$$f_{(\theta)} = \frac{c^2}{2\pi s \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\sigma^2)}{E}} \approx \frac{c^2}{2\pi s \sin^2 \theta} \sqrt{\frac{12}{c_l^2}}$$

Il valore della frequenza critica aumenta quando il modulo di comprimibilità E del materiale diminuisce (cioè quando la parete è meno rigida) e diminuisce proporzionalmente all'aumentare dello spessore di parete.

Si calcoli ad esempio la frequenza critica di una lastra di vetro dello spessore di 3 e di 5 mm:

$$f_c = \frac{343^2}{2\pi \times 0,003} \sqrt{\frac{12}{5050^2}} = 4281 \text{ Hz (2569 per 5 mm)}$$

L'effetto di coincidenza si verifica al di sopra della frequenza critica in una gamma di frequenze per incidenza casuale (con $\theta < 90^\circ$). Poiché il suono incide generalmente su di una parete secondo varie direzioni, l'energia complessivamente trasmessa dipende dai singoli contributi per ciascun angolo di incidenza.

Sperimentalmente si è verificato che la max riduzione di R rispetto alla legge della massa avviene in corrispondenza della frequenza di coincidenza relativa ad un angolo di incidenza di 75° e dal momento che la frequenza per un certo angolo dipende dalla frequenza critica secondo la:

$$f = \frac{f_c}{\sin^2 \theta}$$

Si ha che:

$$f_{\text{max rid}} = \frac{f_c}{\sin^2 75^\circ} \approx 1,071 f_c$$

Le frequenze critiche si possono segnare in diagramma in funzione dello spessore:

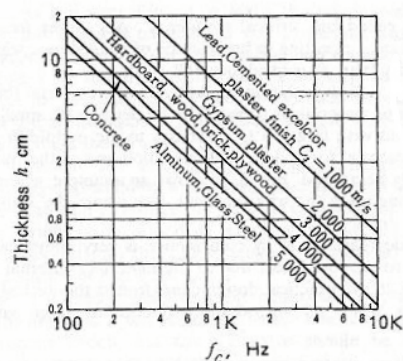


Fig. 5.26. Critical frequencies vs material thickness.

In alternativa si può ricorrere a delle tabelle che forniscono le frequenze critiche per un dato spessore, ad esempio per 1 cm:

Tabella 3.2: Valori delle frequenze critiche di alcuni materiali comunemente utilizzati per una parete (Adattato da Sacchi, 1996).

Materiale	Frequenza critica per uno spessore di 1 cm (Hz)
Gomma	85.000
Sughero	18.000
Polistirolo espanso	14.000
Acciaio	1.000
Alluminio	1.300
Piombo	8.000
Vetro	1.200
Mattone pieno	2.500-5.000
Calcestruzzo	1.800
Legno (abete)	6.000-18.000

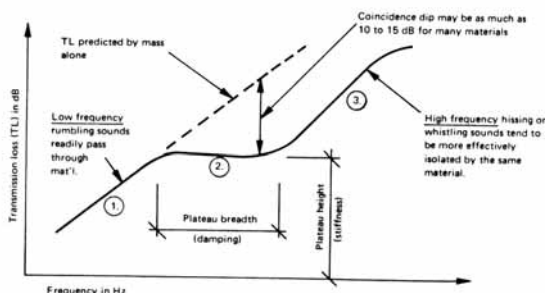
Il valore è inversamente proporzionale allo spessore, per cui per spessore doppio la frequenza critica è metà e per spessore metà la frequenza critica è doppia.

La valutazione dell'indebolimento dovuto alla coincidenza si esegue calcolando il fonoisolamento con la relazione:

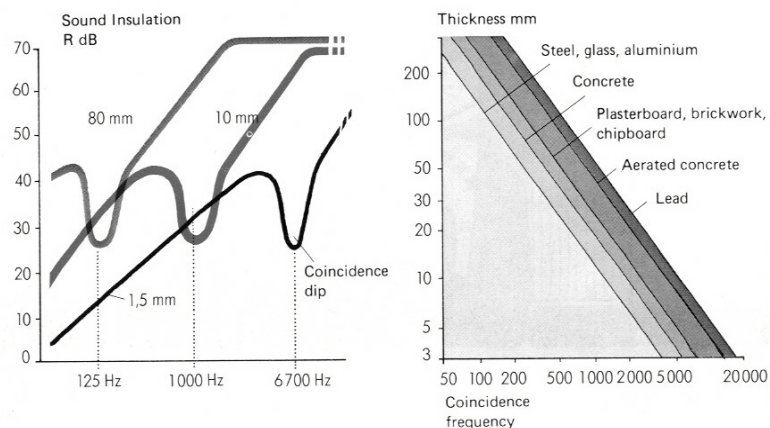
$$R = 18 \log(Mf) - 44$$

fino a raggiungere un valore di plateau legato al materiale, dopo il quale l'isolamento non cresce più per un numero di ottave dipendente dal materiale:

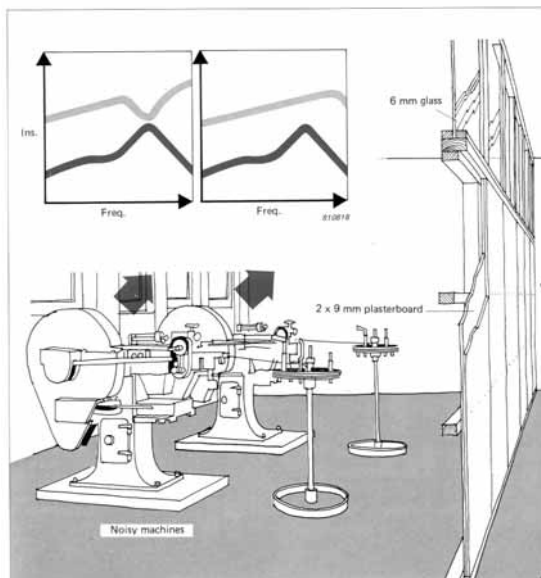
	Surface density kg/m ² /cm	Plateau height dB	Plateau breadth f ₀ /f ₀
Aluminum	26.6	29	11
Concrete, dense	22.8	38	4.5
Glass	24.7	27	10
Lead	112	56	4
Plaster, sand	17.1	30	8
Plywood, fir	5.7	19	6.5
Steel	76	40	11
Brick	21	37	4.5
Cinder block	11.4	30	6.5



All'aumentare dello spessore di un singolo pannello la sua rigidità aumenta relativamente più rapidamente del peso e la regione di basso potere fonoisolante capita a frequenze più basse. Può così accadere che un pannello più sottile presenti migliore isolamento di uno più grosso dello stesso materiale per certe frequenze:



Un esempio pratico è quello di un laboratorio dove gran parte del rumore era emesso attorno ai 1000 Hz, dove il pannello di separazione in compensato da 25 mm dove vi era proprio l'indebolimento dovuto alla coincidenza. Due strati di cartongesso con una rigidità della partizione pari a circa 1/4 della precedente hanno innalzato la frequenza critica al di sopra del max di emissione delle macchine:



Il comportamento appena descritto si può ritrovare nelle tabelle di fonoisolamento di diversi materiali:

Materiale	spessore totale	Peso per unità di area	Potere fonoisolante per ottava [dB]						potere fonoisolante medio [dB]
	mm	kg/m ²	125	250	500	1000	2000	4000	
Piombo	0,4	4,5	22	24	29	33	40	43	32
	3	34	31	27	27	37,5	44		35
Vetro	3	7,35	11	17	23	25	26	27	21,5
	6	14,7	17	23	25	27	28	29	25
Doppio vetro: vetri da 6 mm	62	34	22	29	34	41	45	53	36
	112	34	25	32	38	45	49	54	39
	197	34	28	35	41	48	50	57	42
Doppio vetro con intercapedine riempita da materiale fonoassorbente	197	34	30	38	43	48	50	57	43
Acciaio in lastre	0,71	5,4	12	17	22	25	26	25	20
	1,65	12,5	12	21	27	32	37	43	28
Conglomerato in legno (pannelli) intonacato	75	79	22	26	30	32	36	40	29
	25	16	0	2	6	6	8	8	5
Calcestruzzo	100	235	29	35	37	43	46	50	40
Cemento armato	127	290	36	41	46	50	55	59	45
	200	500	35	45	50	57	54,5	62	50,5
Pannello di fibra di vetro	50	26	27	23	27	34	39	-	30
Duralluminio	0,6	1,6	-	14	12,5	17,5	22,5	-	17
Plexiglas	12	14	21	23	26	32	32	37	28,5
Conglomerato di legno	6	3	17	15	20	24	28	27	22

Pannello composto da: mm 4 lastra di lega di alluminio mm 30 poliuretano rigido mm 40 poliuretano spugnoso plastico mm 4 lastra in lega di alluminio	78	24,8	22	34	45	51	52	44,5	41,5
Pannello composto da: mm 30 poliuretano rigido mm 40 poliuretano espanso flessibile	70	2,3	5	9,5	17	18	25	28	17
Parete in laterizi forati da 8 cm intonacati (fori rettangolari)	95	113	29,5	33	37	41	49	55	41
Pannello in gesso stuccato e liscio	80	78,4	23	31	32,5	40	46	51	39
Parete in laterizi forati da 12 cm (fori circolari)	150	182	30,5	36,5	40,5	44	46	52,5	41
Parete in laterizi forati da 8 cm a matrice porosa tipo "poroton"	100	114	28,5	34	38	40,5	43	46,5	38,5
Pannello composto da uno spessore di 6 cm di Eraclit racchiuso tra due pareti in gesso da 1 cm. Incastri in gesso	80	60	29	31	33,5	33	37	47,5	35
Pannello composto da due strati esterni in truciolare di legno da 1,8 cm e due strati interni in fibra di vetro separati da carta Kraft Bitumata da 3 cm ciascuno	96	28,5	22,5	40,5	39,5	41	33	43	37
Pannello in conglomerato di gesso	80	60	26	29	28	35	38,5	44,5	34
Parete composta da due pannelli in conglomerato di gesso da 8 cm con intercapedine d'aria di 4 cm	200	120	35,5	38,5	39	41	47,5	53	42,5
Porta composta in rovere con interno in sughero con parti fisse in truciolare pyrelite ignifugo	55	37,5	28	28	27,5	32,5	30,5	33	30
Porta con copertura in fibra di legno ad alta riempita da resina sintetica autoestinguente	45	12	14	19,5	21,5	25	23,5	20,5	21

Indice di valutazione del potere fonoisolante

Le caratteristiche di fonoisolamento di un divisorio sono rappresentate dal valore dell'attenuazione acustica che il divisorio è in grado di garantire alle varie frequenze.

La normativa ISO sulle misure in laboratorio è finalizzata a definire le caratteristiche del divisorio, eliminando sia gli effetti di *flanking transmission* che gli effetti di assorbimento del locale disturbato.

Come verrà meglio descritto più avanti, il rilievo viene effettuato tramite la relazione:

$$D_n = D + 10 \log \frac{A_o}{A}$$

Dove D è la differenza dei livelli fra i due locali ($L_1 - L_2$), A è il potere fonoassorbente dell'ambiente ricevente e A_o è l'area del divisorio, pari nelle prove di laboratorio a 10 m^2 .

Più recentemente, secondo la UNI 8270, si ricorre direttamente al tempo di riverberazione:

$$D_n = D + 10 \log \frac{T}{T_o}$$

Con T tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente e T_o un tempo di riferimento pari a $0,5 \text{ s}$.

Per consentire un immediato confronto fra diversi divisori, la ISO ha introdotto la *Sound Transmission Class (STC)* che consente la classificazione tramite un solo indice.

Il punto di partenza è il profilo di isolamento acustico caratteristico di una parete in muratura considerata di buon esito e tipica dell'edilizia inglese.

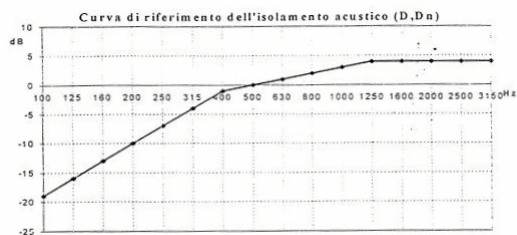


Figura 4.3: Curva di riferimento dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico in bande di terzo d'ottava.

La posizione assunta dal profilo a 500 Hz ne fornisce tramite il livello dato dal profilo l'indice STC:

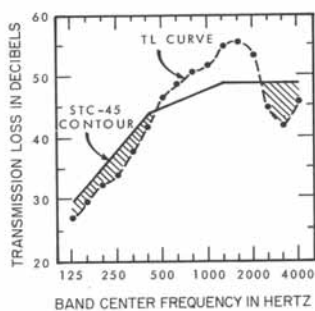


Fig. 22.2 Derivation of the sound transmission class (STC) of a partition from transmission loss (TL) data. The shaded portion lying between the TL curve and the matched STC contour must not exceed an average (over all bands) of 2 dB, and no individual TL should be more than 8 dB below the contour.

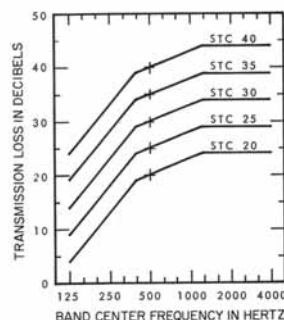


Fig. 22.1 Sound transmission class (STC) contours used for rating airborne sound insulation. Contour labels correspond to the transmission loss at 500 Hz, and are in increments of 1 dB.

La posizione del profilo che descrive la curva ottenuta dalla misura si ricava con delle regole precise. Nell'immagine sono indicate le regole valide fino a qualche anno fa.

Viene confrontata la curva ottenuta dalla misura facendo scorrere il profilo a step di 1 dB fintantoché la somma delle differenze sfavorevoli (cioè tali che il livello di riferimento sia maggiore del livello misurato) sia minore di 32 dB. R_w è il valore che si legge a 500 Hz sulla curva di riferimento spostata in alto.

Il valore dell'indice di valutazione corrisponde al livello in dB che la curva di riferimento presenta a 500 Hz.

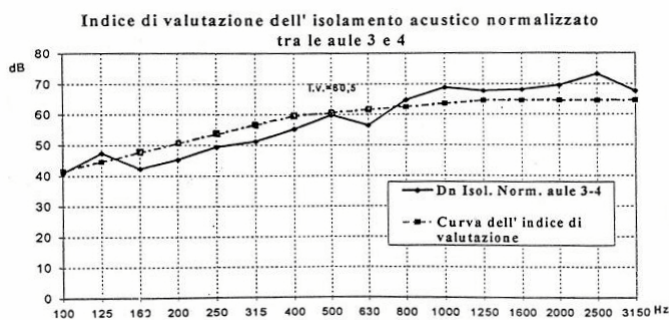


Figura 4.5: Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato (D_n).

Il rispetto dei vincoli della norma è più agevolmente controllabile con foglio elettronico. Si determina anzitutto il potere fonoisolante normalizzato:

f (Hz)	Aula 4	Aula 3	BG (dB)	L2' (dB)	RT (s)	D (dB)	D con BG (dB)	D _{nT} (dB)
	L1 (dB) emesso	L2 (dB) ricevuto						
100	70,4	32,3	28,6	29,8	0,94	38,1	40,6	43,3
125	79,5	35,2	23,7	34,9	1,01	44,3	44,6	47,6
160	81,4	40,8	24,6	40,7	0,74	40,6	40,7	42,4
200	83,5	39,4	19,7	39,4	0,66	44,1	44,1	45,3
250	87,2	38,7	19,1	38,6	0,61	48,5	48,6	49,4
315	85,5	35,6	16,8	35,6	0,67	49,9	50,0	51,2
400	85,4	32,1	15,2	32,1	0,79	53,3	53,3	55,3
500	85,4	28,3	14,2	28,1	0,93	57,1	57,3	60,0
630	87,5	33,7	13,2	33,7	0,91	53,8	53,8	56,4
800	91,0	28,7	13,3	28,6	0,89	62,2	62,4	64,9
1000	90,7	24,4	12,7	24,1	0,90	66,2	66,5	69,1
1250	88,9	23,9	13,3	23,5	0,95	64,9	65,3	68,1
1600	88,8	24,0	12,8	23,6	1,05	64,9	65,2	68,5
2000	89,1	22,7	11,5	22,4	1,02	66,4	66,7	69,8
2500	87,6	18,3	10,6	17,5	0,98	69,3	70,1	73,0
3150	88,0	22,9	10,1	22,7	0,89	65,1	65,3	67,8
4000	84,7	20,0	9,6	19,5	0,84	64,8	65,2	67,5
5000	80,4	11,9	9,1	-	0,72	68,6	-	-
dB(A)	99,1	38,9	23,9				I.V.	I.V.
dB Lin	99,5	46,4	32,3				58,5	60,5

f (Hz)	Curva dell'indice di D _{nT} (dB)	misurazioni di D _{nT}	Scarti
100	41,5	43,3	0,0
125	44,5	47,6	0,0
160	47,5	42,4	5,1
200	50,5	45,3	5,2
250	53,5	49,4	4,1
315	56,5	51,2	5,3
400	59,5	55,3	4,2
500	60,5	60,0	0,5
630	61,5	56,4	5,1
800	62,5	64,9	0,0
1000	63,5	69,1	0,0
1250	64,5	68,1	0,0
1600	64,5	68,5	0,0
2000	64,5	69,8	0,0
2500	64,5	73,0	0,0
3150	64,5	67,8	0,0
somma scarti sfavorevoli		29,4	

Come si vede, la somma degli scarti è pari a 29 dB. L'indice STC è 60,5 dB.

Pareti multiple

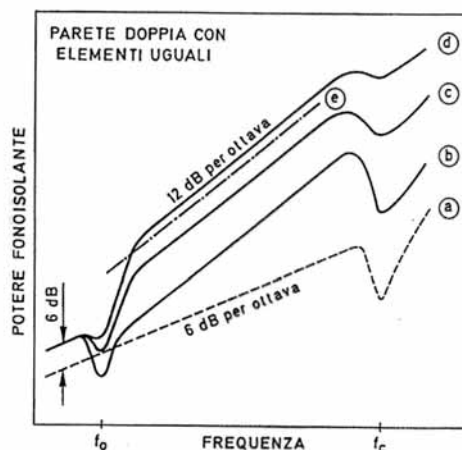
La legge della massa e della frequenza indica nell'aumento della massa una via per migliorare il fonoisolamento. Non appena si vogliono valori apprezzabili di isolamento, ci si scontra con spessori incompatibili con le moderne tecniche edilizie.

Si ricorre allora alla parete doppia o multipla. Fra le due partizioni vi deve essere uno strato d'aria di spessore abbastanza elevato, altrimenti alle basse frequenze si avrebbero risultati piuttosto modesti fino al comportamento di una sola parete omogenea di massa pari alla somma (vibrazione comune della partizione).

Il limite superiore (mai raggiunto) del potere fonoisolante è dato dalla somma di R per le pareti costituenti.

Le due facce della parete non vanno collegate rigidamente e, se non è possibile la separazione netta, bisogna unirle tramite supporti in gomma o in legno tenero. E' di grande aiuto il riempimento dell'intercapedine con lana di vetro.

Indicativamente una crescita possibile è di 12 dB/ottava, anche se le risonanze possono introdurre degli indebolimenti a volte gravi.



- a - un solo pannello
- b - parete doppia - intercapedine con aria
- c - parete doppia - intercapedine parzialmente riempita con lana di vetro
- d - parete doppia - intercapedine totalmente riempita con lana di vetro

L'aria nella parete doppia agisce come un accoppiamento elastico fra le due masse ed il sistema presenta una caratteristica frequenza di risonanza. Questa dà luogo all'indebolimento più preoccupante nel fonoisolamento. Un altro indebolimento è dovuto all'effetto di coincidenza, meno preoccupante perché tende a comparire a frequenze elevate quando il fonoisolamento è già forte. La frequenza di risonanza è tanto più alta quanto più piccole sono le masse (M_1 ed M_2 in kg/m^2) delle due pareti e lo spessore s dell'intercapedine

$$f_{ris} = 60 \sqrt{\frac{1}{s} \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)}$$

Per questo non è detto che la parete doppia possa risolvere ogni problema. Il caso tipico di ridotte prestazioni è quello della vetrocamera.

Si abbiano ad esempio due lastre di vetro da 4 mm separate da un intercapedine di 10 mm. Il sistema fornisce un buon isolamento termico, ma un cattivo isolamento acustico. Infatti le masse sono pari a circa 10 kg/m^2 e a quel punto si ha:

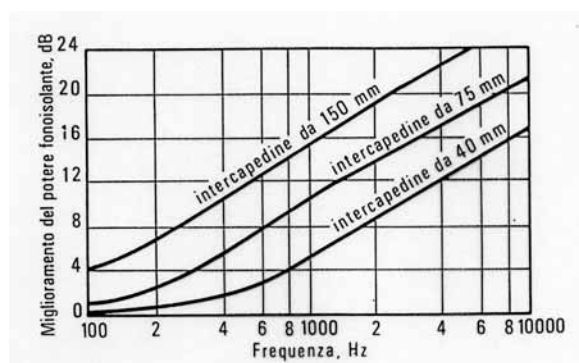
$$f_{ris} = 60 \sqrt{\frac{1}{0,010} \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)} = 268 \text{ Hz}$$

L'indebolimento ha luogo nell'ambito delle frequenze di udibilità dell'orecchio. Capita così che spesso in una parete i punti più deboli dell'isolamento siano proprio le finestre.

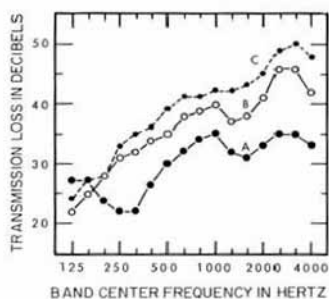
Delle valutazioni mostrano come la vetrocamera possa essere equivalente ad un vetro di spessore doppio dal punto di vista acustico e che per avere un miglioramento tangibile dalle vetrate bisogna ricorrere alle controfinestre.

Tipo di vetro	M_s [kgm^{-2}]	Indice ISO [dB]
Cristallo 3 mm	7,5	26
Cristallo 4 mm	10	27,5
Cristallo 5 mm	12,5	28,5
Cristallo 6 mm	15	30
Cristallo 8 mm	20	32
Doppia vetrata 4+4 mm	20	32
Cristallo 10 mm	25	33
Stratificato 11/12 mm	27	37

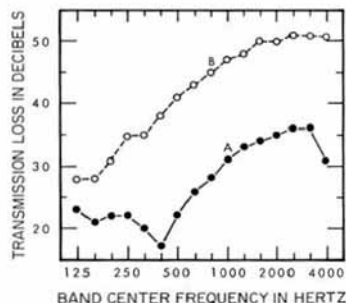
L'effetto dell'intercapedine a lama d'aria è evidenziato dal seguente diagramma:



Il comportamento dell'intercapedine migliora notevolmente con l'inserzione di materiale fonoassorbente anche solo ai suoi bordi:



Influenza sull'isolamento acustico della spaziatura fra le lastre ed il materiale fonoassorbente sui bordi: A - vetro da 3 mm/12 mm spaziatura/ vetro da 8 mm (STC 31); B - vetro da 3 mm/100 mm spaziatura/ vetro da 8 mm (STC 38); C - vetro da 3 mm/100 mm spaziatura, materiale fonoassorbente ai bordi/vetro da 8 mm (STC 41).



Perdita per trasmissione di vetrate doppie sigillate in fabbrica con lastre poco spaziate: A - vetro doppio sigillato in fabbrica (vetro 3 mm/6 mm spaziatura/vetro 3 mm) (STC 26); B - vetro doppio della curva A/spaziatura 65 mm/vetro 6 mm (STC 44).

Nella seconda figura si riconosce un effetto simile a quello di una controfinestra. Dati confermati dall'applicazione sperimentale delle prossime diapositive.

Prima sessione di misura

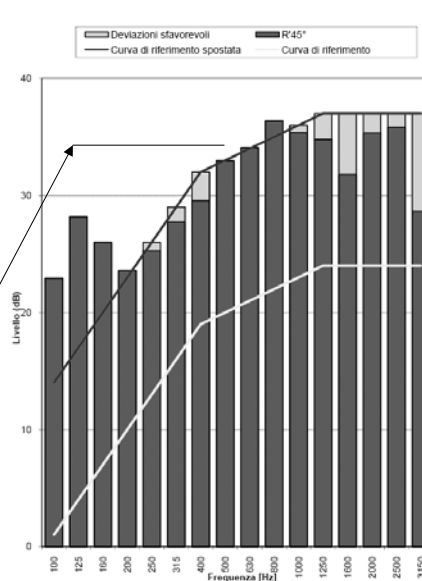
- Potere fonoisolante del serramento interno



Nota il livello spettrale di R'_{45° è utile valutare l'indice di valutazione del potere fonoisolante $R'_{45^\circ, w}$ in accordo con la norma UNI EN ISO 717-1.



$$R'_{45^\circ, w} = 33 \text{ dB}$$



Prima sessione di misura

- Potere fonoisolante del doppio serramento

Si considera :

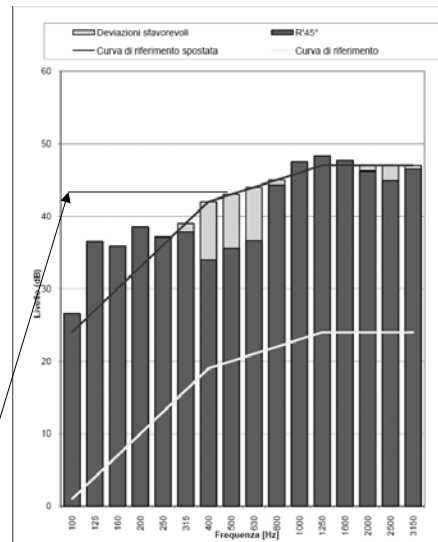
- Stesso spettro di L_1 (livello emesso)
- Stesso spettro del tempo di riverberazione

Dalle misurazioni effettuate chiudendo il contro serramento si ottengono:

- Spettro di L_2 medio (ricevuto)
- Spettro del rumore di fondo

Si calcola il potere fonoisolante apparente spettrale e l'indice di valutazione $R'_{45^\circ, w}$

$$R'_{45^\circ, w} = 43 \text{ dB}$$

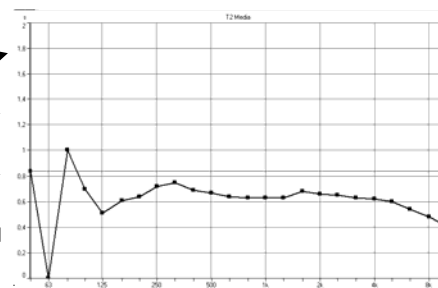


Seconda sessione di misura

- Potere fonoisolante del sistema composto dal doppio serramento e dal materiale fonoassorbente

Si considera :

- Spettro di L_1 medio
- Spettro di L_2 medio
- Spettro del rumore di fondo
- Spettro del tempo di riverberazione

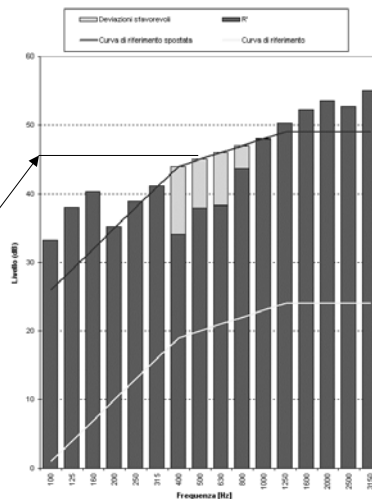


Seconda sessione di misura

- Potere fonoisolante del sistema composto dal doppio serramento e dal materiale fonoassorbente

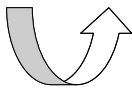
Si calcola il potere fonoisolante apparente spettrale e l'indice di valutazione $R'_{45^\circ, w}$

$$R'_{45^\circ, w} = 45 \text{ dB}$$



Analisi del miglioramento

	SERRAMENTO INTERNO	DOPPIO SERRAMENTO	DOPPIO SERRAMENTO+MATERIALE FONOASSORBENTE
$R'_{45, w}$	33 dB	43 dB	45 dB



- Miglioramento ottenuto dopo il primo intervento

$$R_1 = 10 \log \frac{I}{t_1} \quad R_2 = 10 \log \frac{I}{t_2}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = 10^{\left(-\frac{R_1}{10} + \frac{R_2}{10}\right)} = 10$$

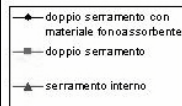
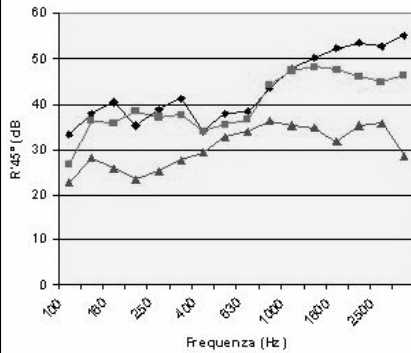
- Miglioramento ottenuto dopo il secondo intervento

$$R_3 = 10 \log \frac{I}{t_3} \quad \frac{t_2}{t_3} = 10^{\left(-\frac{R_2}{10} + \frac{R_3}{10}\right)} = 1,58$$

$$\frac{t_1}{t_3} = \frac{t_1}{t_2} \frac{t_2}{t_3} = 15,8$$

Soluzioni a confronto

Confronto del potere fonoisolante apparente spettrale delle tre soluzioni



Serramento interno

- Effetto di risonanza a 200 Hz
- Effetto di coincidenza a 1600 Hz

Doppio serramento

- Elimina gli effetti di risonanza a 200 Hz e di coincidenza a 1600 Hz
- Introduce effetto di risonanza tra i 400 e 600 Hz

Doppio serramento

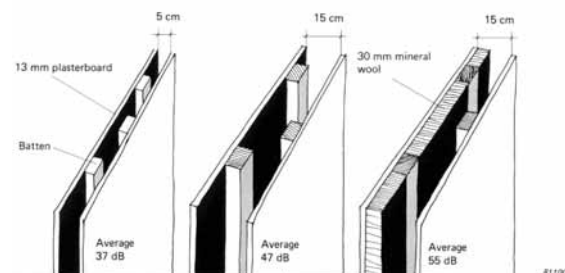
+materiale fonoassorbente

- Migliore fonoassorbimento alle alte frequenze

Nella scelta dell'intercapedine non si deve dimenticare l'effetto di risonanza di cavità che determina onde stazionarie ad una frequenza pari a:

$$f = \frac{nc}{2d}$$

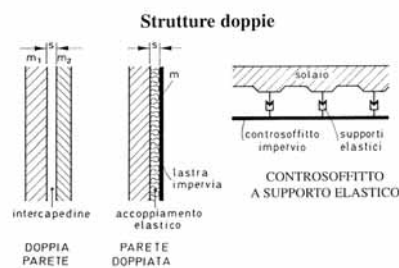
Con n numero intero, c velocità del suono e d spessore in cm dell'intercapedine. Anche quest'effetto di indebolimento può essere limitato con l'inserimento all'interno dell'intercapedine di materiale fonoassorbente.



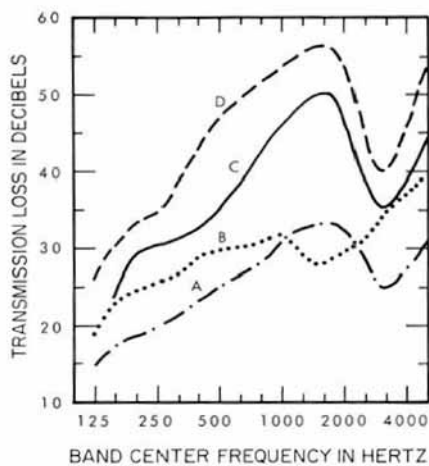
Il potere fonoisolante di un divisorio può essere notevolmente migliorato con l'inserimento di una controparete che dovrebbe essere flessibile, impermeabile e montata in modo resiliente sul divisorio.



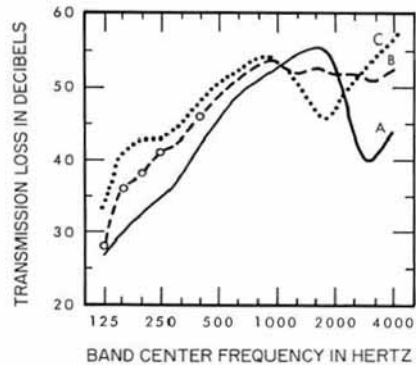
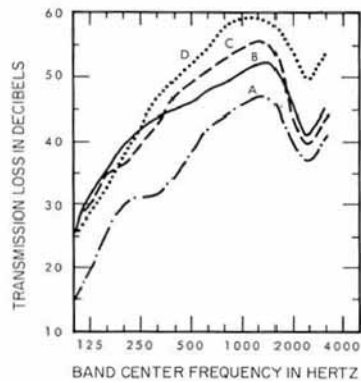
Miglioramento di una parete esistente mediante aggiunta di un foglio di cartongesso montato su supporti resilienti. Notare che i profilati sono installati sopra il materassino di lana di vetro



Queste curve sperimentali confermano le indicazioni fin qui date:

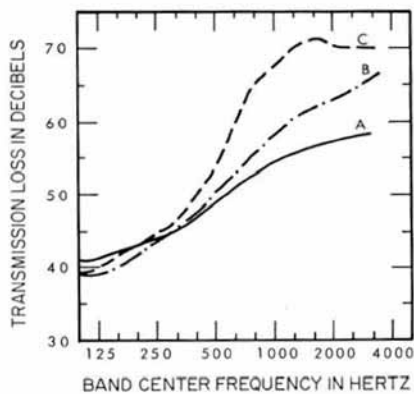


Perdita per trasmissione di contropareti a foglio singolo e doppio: A - singolo cartongesso da 12 mm, STC 28; B - 2 fogli di cartongesso come in A, saldati rigidamente assieme come un foglio singolo (notare lo spostamento della riduzione per coincidenza), STC 31; C - due fogli come in A in ambo i lati di un'intercapedine da 90 mm con supporti in acciaio, STC 38; D- come in C, ma con l'aggiunta di 50 mm di fibra di vetro nello spazio dei supporti, STC 45.

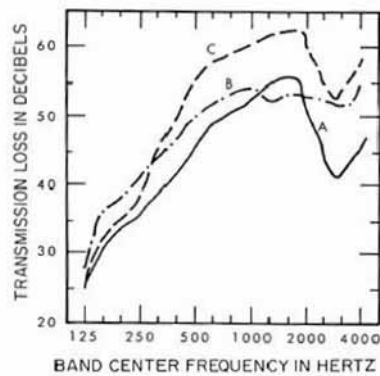


Perdite per trasmissione di due fogli di cartongesso con vari sistemi di sostegno. Tutte le contropareti sono realizzate con fogli da 12 mm con 50 mm di materiale fonoassorbente nella cavità. Tutte le cavità sono spaziate 92 mm [eccetto D, 108 mm]; Parete A – tasselli in legno 41 mm x 92 mm centrati a 406 mm, STC 37; parete B – senza tasselli, STC 45; parete C – profilati metallici da 92 mm distanziati 600 mm, STC 44; Parete D – tasselli in legno distanziati di 406 mm con rivestimento resiliente dei profilati metallici distanziati 600 mm, STC 48.

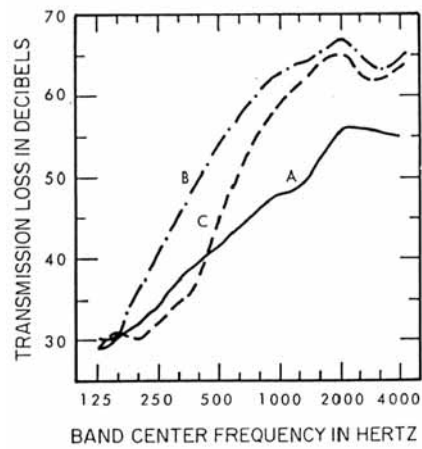
Perdite per trasmissione confrontate con la massa della controparete con pareti doppie: Parete A – due fogli di cartongesso da 12 mm sostenuti da profilato metallico da 92 mm spaziosi di 600 mm, STC 45; Parete B – un foglio come in A, seconda parte con doppio foglio di cartongesso da 12 mm laminato assieme, STC 50; Parete C – entrambe le pareti a doppio foglio da 12 mm di cartongesso, STC 51.



Confronto fra pareti solide e pareti doppie: Parete A – 23 cm in mattone, intonacato da ambo i lati, 490 kg/m², STC 54; Parete B – 28 cm di intercapedine, due strati da 11 cm mattone, intonacato da ambo i lati, con agganci metallici fra le pareti, privo di assorbimento nella cavità, 490 kg/m², STC 57; Parete C – simile a B, ma senza agganci, STC 57.



Aggiunta di una controparete su di una parete in cartongesso a doppio strato: Parete A – due fogli da 12 mm in cartongesso su profilato da 92 mm in acciaio, 60 mm di fibra di vetro nello spazio, STC 45; Parete B – ulteriore foglio da 12 mm aderente su di un lato della parete A, STC 50; Parete C – foglio da 12 mm in cartongesso su profilato rivestito di materiale resiliente, aggiunto su di un lato della parete A. 25 mm di fibra di vetro tenuta contro il muro dai profilati nell'intercapedine d'aria, STC 50



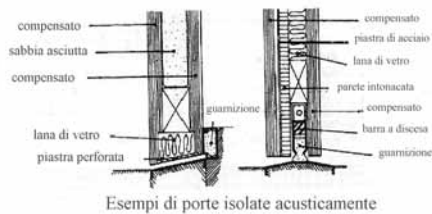
Perdite per trasmissione di una parete in muratura con o senza foglio di controparete aggiunto: A – blocchi solidi compatti spessore 150 mm, 207 kg/m², STC 45; B – come A ma con un foglio aggiunto aderente, rivestimenti resilienti e 12 mm di cartongesso, materassino di fibra di vetro fra i supporti e la superficie di parete, STC 51; C – come in B, ma senza fibra di vetro, STC 45.

Un altro punto debole del fonoisolamento possono essere le porte. Qui si possono avere buoni miglioramenti oltre che con l'incremento di massa anche con la sigillatura.

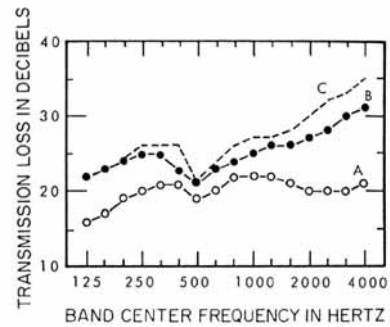
Isolamento acustico di porte esterne

Tipo di porta (spessore 45 mm)	Peso specifico kg/m ³	STC
Legno, interno cavo	7	20
Legno, interno cavo (30% di area vetrata con vetro da 3 mm)	7	19
Legno massiccio	17	26
Lamiera di acciaio con interno in poliuretano rigido	16	26
Porta in plastica rinforzata in fibra di vetro con cavità in poliuretano rigido	12	24

Per avere risultati migliori conviene passare alla doppia porta.

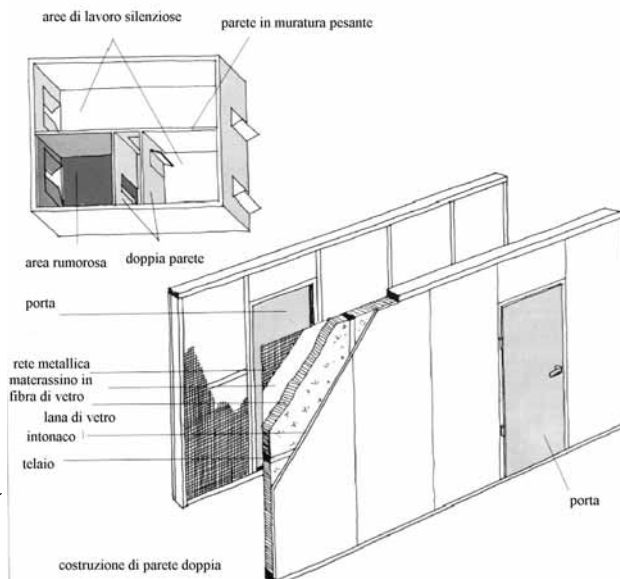


Esempi di porte isolate acusticamente



Perdite per trasmissione di una porta massiccia: A - normali giochi di montaggio, senza guarnizioni 20; B - sigillata da guarnizioni su tutti e quattro i lati (STC 26); C - totalmente sigillata con gesso (STC 27).

Un esempio in questo senso è qui rappresentato. L'insieme di due pareti leggere separate da un piccolo corridoio consente di ottenere un risultato che altrimenti avrebbe richiesto una spessa parete in muratura che sarebbe comunque risultata debole per l'apertura su di essa di una porta.



Una frazione dell'energia sonora può passare al locale disturbato per altre strade che non il divisorio. Si parla allora di *flanking transmission*:

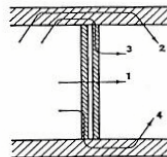


- | FLANKING NOISE PATHS | NOISE LEAKS |
|--|---|
| F1 OPEN PLENUMS OVER WALLS, FALSE CEILINGS | L1 POOR SEAL AT CEILING EDGES |
| F2 UNBAFFLED DUCT RUNS | L2 POOR SEAL AROUND DUCT PENETRATE |
| F3 OUTDOOR PATH, WINDOW TO WINDOW | L3 POOR MORTAR JOINTS, POROUS MASONRY BLOCK |
| F4 CONTINUOUS UNBAFFLED INDUCTOR UNITS | L4 POOR SEAL AT SIDEWALL, FILLER PANEL, ETC |
| F5 HALL PATH, OPEN VENTS | L5 BACK-TO-BACK CABINETS, POOR WORKMANSHIP |
| F6 HALL PATH, LOUVERED DOORS | L6 HOLES, GAPS AT WALL PENETRATIONS |
| F7 HALL PATH, OPENINGS UNDER DOORS | L7 POOR SEAL AT FLOOR EDGES |
| F8 OPEN TROUGHS IN FLOOR-CEILING STRUCTURE | L8 BACK-TO-BACK ELECTRICAL OUTLETS |
| | L9 HOLES, GAPS AT FLOOR PENETRATIONS |

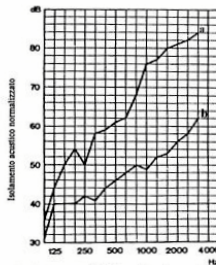
OTHER POINTS TO CONSIDER RE LEAKS ARE (1) BATTEN STRIP AND/OR POST CONNECTIONS OF PREFABRICATED WALLS, (2) UNDERFLOOR PIPE OR SERVICE CHASES, (3) RECESSED, SPANNING LIGHT FIXTURES, (4) CEILING AND FLOOR PLATES OF MOVABLE WALLS, (5) UNSUPPORTED AND/OR UNBACKED WALL BOARD JOINTS (6) EDGES AND BACKING OF BUILT-IN CABINETS AND APPLIANCES, (7) PREFABRICATED, HOLLOW METAL, EXTERIOR CURTAIN WALLS.

Fig. 24.1 Examples of flanking transmission of airborne sound (Ref. 2)

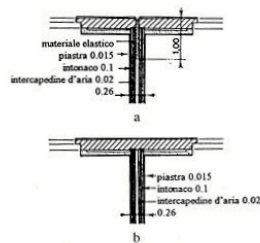
Se si realizza una doppia parete è meglio non attestarla su di una singola struttura (ad esempio un solaio di pavimento che si estende con continuità). E' meglio realizzare soluzioni di continuità anche nelle strutture perimetrali ove la parete doppia si attesta, realizzando tante doppie pareti, in modo da interrompere la propagazione strutturale:



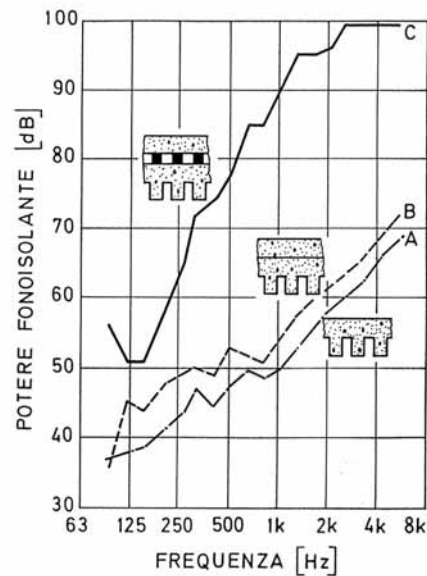
Cammini di trasmissione possibili nel caso di una parete doppia



Isolamento di 2 locali adiacenti separati da un doppio muro:
a) con collegamenti laterali
b) senza collegamenti laterali (giunto di dilatazione)



A volte si deve intervenire anche a livello di solaio. Ancora si deve cercare di realizzare una doppia struttura doppiata. Non è possibile dal punto di vista costruttivo realizzare due strutture completamente indipendenti. Si realizza allora una struttura galleggiante interponendo uno strato elastico che separa il massetto superiore dalla soletta strutturale. L'esito è dimostrato bene dal confronto di una struttura a semplice soletta con una a soletta raddoppiata ed una con intercapedine elastica tramite tamponi.



Pareti composte

L'attenuazione si calcola da:

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i S_i}{\sum S_i} = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{A}$$

Il riferimento è come al solito il potere fonoisolante medio della parete:

$$R = 10 \log \frac{1}{\bar{t}}$$

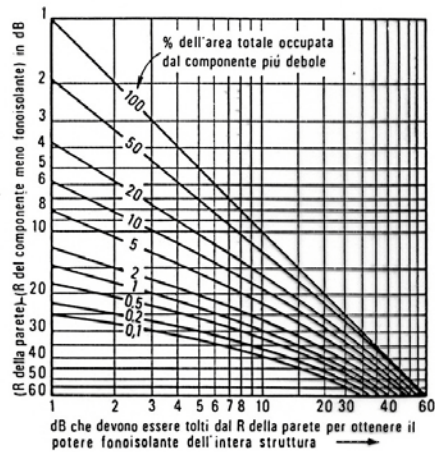
Nella parete composta è fondamentale il ruolo svolto dall'elemento più debole; si consideri ad esempio una parete 6x3 m² con 50 dB ed una porta con 38 dB di 0,85x2,10 m². Il potere fonoisolante della parete composta è dato da:

$$t_1 = 10^{-\frac{R_1}{10}} = 1 \times 10^{-5} \quad t_2 = 10^{-\frac{R_2}{10}} = 1 \times 10^{-3,8} = 1,585 \times 10^{-4}$$

$$\bar{t} = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2}{18} = \frac{1,62 \times 10^{-4} + 2,85 \times 10^{-4}}{18} = 2,483 \times 10^{-5}$$

Il potere fonoisolante si riduce di 4 dB da 50 a 46 dB.

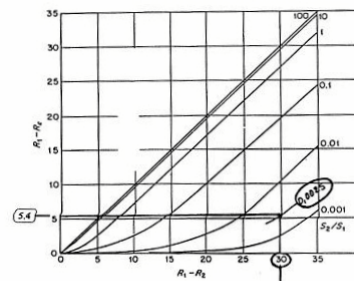
Allo stesso risultato si poteva pervenire tramite un nomogramma, partendo da una differenza di 12 dB ed una percentuale di porta sulla parete del 10%:



La presenza di fessure è molto temibile: infatti attraverso la fessura la trasmissione è totale. Se si considera una fessura di soglia di appena 5 mm si può avere una grave perdita ulteriore di potere fonoisolante. Infatti $t_3 S_3 = 0,00425$:

$$\bar{t} = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + t_3 S_3}{18} = \frac{1,62 \times 10^{-4} + 2,85 \times 10^{-4} + 0,00425}{18} = 2,6 \times 10^{-4}$$

Il potere fonoisolante si riduce a 36 dB. Un altro caso è trattato nel seguente nomogramma:



Anta di porta $h_1 = 2 \text{ m}$ $R_1 = 30 \text{ dB}$
 Fessura di soglia $h_2 = 5 \text{ mm}$ $R_2 = 0$
 $S_2 / S_1 = 5 / 2000 = 0,0025$
 $R_1 - R_2 = 30 \text{ dB}$
 $R_1 - R_0 = 5,4 \text{ dB}$
 $R_0 = 5,4 \text{ dB}$

Controllo del rumore per via strutturale

Il rumore strutturale origina dalle vibrazioni delle strutture solide. Le vibrazioni possono propagarsi nella struttura con scarsa attenuazione in zone anche molto lontane dell'edificio, dove possono mettere in vibrazione superfici. E' necessaria una forza importante per fornire ad una struttura un'energia meccanica anche piccola, tuttavia questa può produrre rumori elevati, soprattutto se la struttura è leggera e le vibrazioni sono poco smorzate.



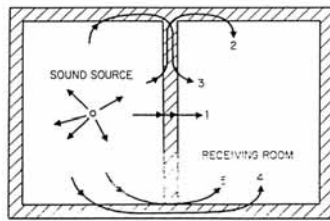
Il rumore strutturale può essere dovuto ad un'eccitazione costante, prodotta per lo più da apparecchiature meccaniche. Esempi tipici sono le forze non bilanciate di una macchina rotante, ovvero il deflusso di un fluido in un tubo. La forza è trasmessa per lo più nei punti in cui la macchina è rigidamente connessa alla struttura.

Questo suggerisce anche la metodologia di controllo che si ottiene montando la macchina su dei supporti isolanti dalle vibrazioni. Si vedrà più avanti come si possa controllare l'ampiezza della vibrazione e la forza trasmessa.

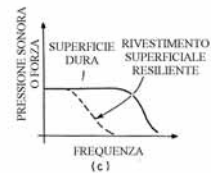
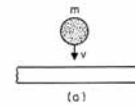
Il rumore strutturale può essere dovuto ad un impatto, cioè ad una forza di breve durata così intensa da provocare una vibrazione nella struttura., ad esempio la caduta di un oggetto, lo sbattimento di una porta, o il calpestio.

Si consideri la caduta di un oggetto: si hanno esiti diversi in funzione del grado di resilienza del pavimento.

Infine il rumore strutturale può derivare da rumore aereo generato in un'altra stanza che non perviene attraverso il divisorio, ma per trasmissione laterale (*flanking transmission*) con vibrazione della struttura dell'edificio.



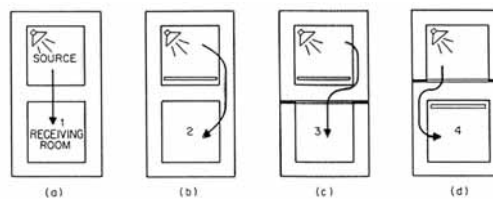
Possibili percorsi per la trasmissione sonora da una stanza a quella adiacente (ricevente). I percorsi 1,2,3,4 mostrano la trasmissione sonora con percorsi attraverso il materiale solido. Il percorso 5 mostra la trasmissione attraverso una fessura nel muro.



Impatto di un oggetto che cade su di un pavimento: (a) la massa m con velocità v colpisce un pavimento, (b) forza di impatto in funzione del tempo risultante dall'impatto della massa su di un pavimento duro ed uno su superficie resiliente; (c) distribuzione di frequenza del suono da impatto prodotto da una massa che colpisce un pavimento duro confrontata con il suono da impatto su di una superficie resiliente.

La vibrazione è tanto più importante quanto maggiore il potere fonoisolante della parete divisoria. Per questa via si possono avere disturbi anche in stanze lontane o stanze che hanno in comune una parete vetrata.

Differenti schemi costruttivi dove i diversi percorsi sonori controllano probabilmente la massima riduzione sonora ottenibile fra due stanze adiacenti



Propagazione del rumore strutturale indotto dal suono attraverso una partizione leggera comune da una stanza disturbante ad una adiacente e a stanze distanti

La valutazione dell'isolamento strutturale è realizzata mediante il rilievo del livello del rumore di calpestio. Il rumore è ottenuto nella stanza disturbante mediante una macchina normalizzata. Per definire l'isolamento normalizzato si utilizza una curva di riferimento.

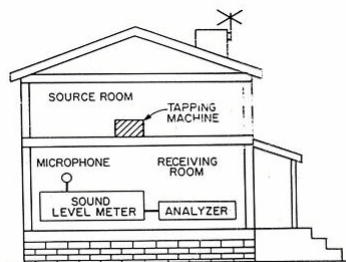


Fig. 23.6 Cross section of a building showing the test setup for impact sound measurements.

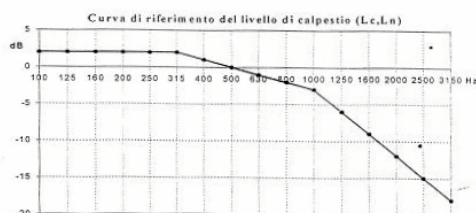


Figura 4.4: Curva di riferimento dell'indice di valutazione del livello di calpestio in bande di terzo d'ottava.

Si determina lo spettro del livello sonoro ricevuto in 3/8 deperato dall'eventuale rumore di fondo. Si deve poi normalizzare il livello in funzione del tempo di riverberazione:

Dal livello normalizzato si ottiene l'indice del calpestio facendo scendere in banda di terzo di ottava la curva di riferimento a step di 1 dB fintantoché la somma delle differenze sfavorevoli (cioè tali che il livello di riferimento sia minore del livello misurato) sia minore di 32 dB. L_{nw} o L_{nT_w} è il valore che si legge a 500 Hz ed è tanto migliore quanto più è basso il valore risultante.

$$L_n = L_c' + 10 \log \frac{T_o}{T} \quad (T_o = 0,5 \text{ s})$$

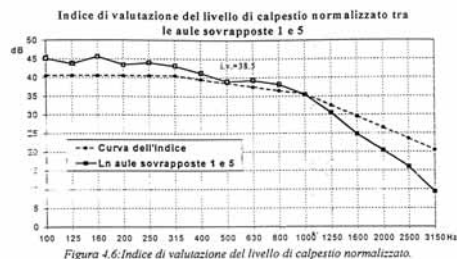


Figura 4.6: Indice di valutazione del livello di calpestio normalizzato.

Aula 1					
f (Hz)	L _c (dB) ricevuto	BG (dB)	L ₂ ' (dB)	RT (s)	L _n (dB)
100	48,5	22,5	48,5	1,10	45,1
125	46,7	23,2	46,7	1,00	43,7
160	47,3	20,0	47,3	0,73	45,6
200	44,0	17,3	44,0	0,57	43,5
250	44,6	16,1	44,6	0,57	44,0
315	43,9	14,7	43,9	0,60	43,1
400	42,9	13,4	42,9	0,74	41,2
500	41,2	12,4	41,2	0,83	39,0
630	41,1	11,7	41,1	0,76	39,3
800	40,3	11,3	40,3	0,82	38,2
1000	37,8	11,2	37,8	0,85	35,5
1250	33,3	10,7	33,2	0,94	30,5
1600	27,9	10,6	27,8	1,02	24,7
2000	23,3	10,0	23,1	0,99	20,2
2500	18,7	9,7	18,2	0,94	15,4
3150	13,8	9,3	11,9	0,88	9,4
4000	11,1	9,0	-	0,84	-
5000	9,3	8,5	-	0,71	-
dB(A)	47,4	22,0	47,4		I.V.
dB Lin	55,0	28,8	55,0		38,5

f (Hz)	Curva dell'indice di L _n (dB)	misurazioni di L _n (dB)	Scarti
100	40,5	45,1	4,6
125	40,5	43,7	3,2
160	40,5	45,6	5,1
200	40,5	43,5	3,0
250	40,5	44,0	3,5
315	40,5	43,1	2,6
400	39,5	41,2	1,7
500	38,5	39,0	0,5
630	37,5	39,3	1,8
800	36,5	38,2	1,7
1000	35,5	35,5	0,0
1250	32,5	30,5	0,0
1600	29,5	24,7	0,0
2000	26,5	20,2	0,0
2500	23,5	15,4	0,0
3150	20,5	9,4	0,0
somma scarti sfavorevoli			27,5

REQUISITI (misure di laboratorio)		isolamento	
		normale	superiore
Potere fonoisolante di:			
- strutture verticali esterne	Indice di valutazione	40 dB	47 dB
- strutture divisorie interne	Indice di valutazione	40 dB	47 dB
- strutture orizzontali	Indice di valutazione	40 dB	47 dB
- livello di rumore di calpestio normalizzato	Indice di valutazione	71 dB	66 dB

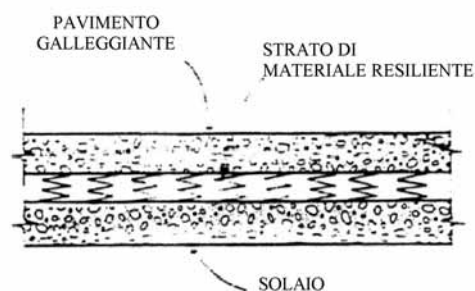
REQUISITI (misure in opera)		isolamento	
		normale	superiore
Isolamento acustico di:			
- strutture divisorie interne	Indice di valutazione	36 dB	42 dB
- strutture orizzontali	Indice di valutazione	36 dB	42 dB
Livello di rumore di calpestio	Indice di valutazione	74 dB	68 dB
Livello di rumore di impianti di riscaldamento	Non deve superare	36 dB (A)	33 dB (A)
Livello di rumore di scarichi idraulici, bagni, ecc.	Non deve superare	40 dB (A)	36 dB (A)

I rumori strutturali possono essere controllati alla sorgente (riducendo la potenza, o isolando le vibrazioni, o applicando uno strato resiliente sul punto di impatto).

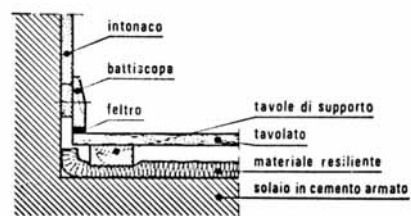
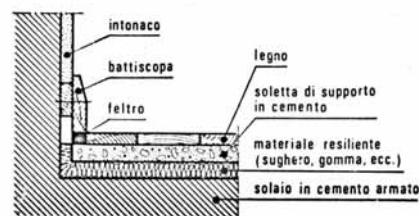
Ovvero si può intervenire lungo il percorso (isolando la zona della sorgente dalle altre zone mediante discontinuità strutturali o separazioni dinamiche).

Ovvero si può intervenire presso il ricevitore (rivestendo o ricoprendo le superfici radianti).

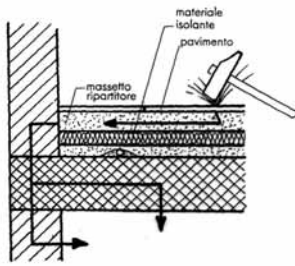
Un intervento molto efficace nei confronti del calpestio è il *pavimento galleggiante*.



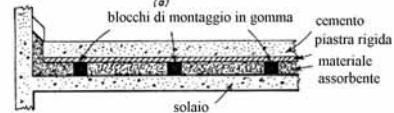
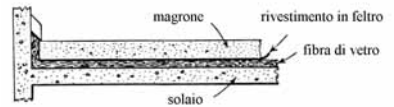
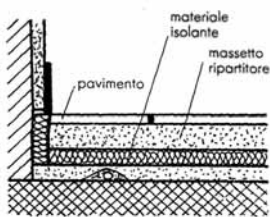
Sopra il pavimento strutturale (il solaio) viene applicato uno strato di materiale elastico antivibrante, realizzato per lo più con pannelli di fibre di vetro o feltro di fibre di vetro. Esso dovrà essere completamente rivestito da una guaina impermeabile spesso in polietilene o in cartonfeltro bitumato che è una classica barriera al vapore, dato che la fibra di vetro può essere danneggiata dall'umidità.



Spesso i prodotti commerciali sono costituiti da materassini già adeguatamente rivestiti con spessori da alcuni mm fino ad 1 cm.



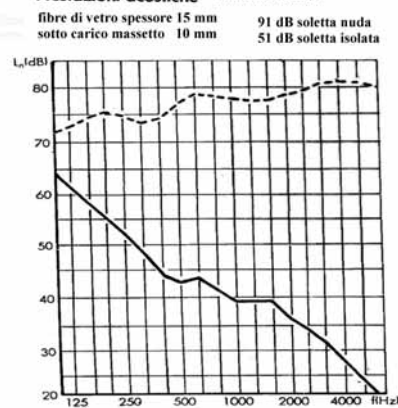
E' essenziale che il materassino isolante, oltre ad essere posizionato sul piano orizzontale, venga posto in accostamento ai muri perimetrali per un'altezza superiore al livello del piano di calpestio. Infatti il pavimento finito può essere un veicolo per la trasmissione delle vibrazioni alla struttura.



Pannello Super-fle
spessore 3 mm

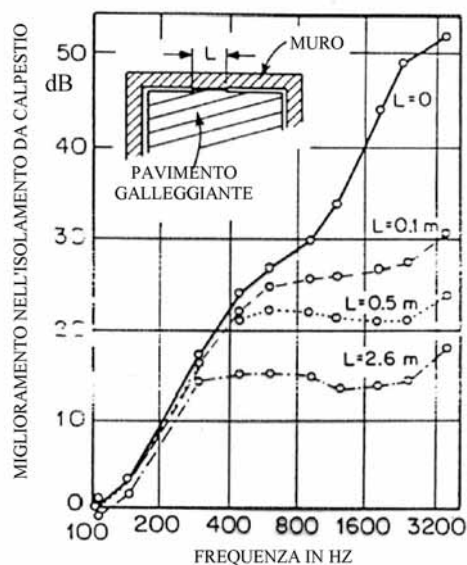


Prestazioni acustiche Pannello Domisol

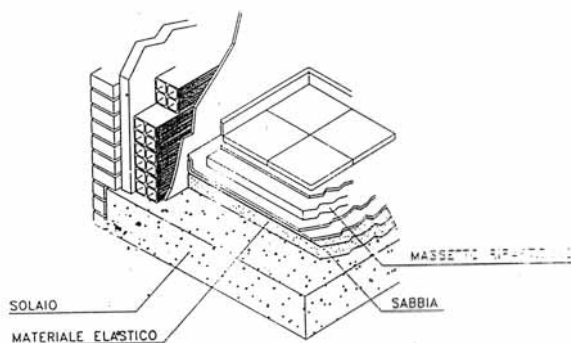


E' interessante considerare quanto un contatto lineare riduca il possibile isolamento:

Effetto di un collegamento lineare rigido fra l'estremità di un pavimento galleggiante ed un muro in mattoni sull'isolamento da calpestio per collegamenti di diversa lunghezza indicati dalla lettera L.



Ecco perché risulta fondamentale il controllo che intonaco o malta non entrino in contatto in nessun modo con la parte strutturale. Questo vale anche per lo zoccolino del battiscopa: sono in altre parole fondamentali i dettagli. Spesso al di sotto del pavimento galleggiante viene posto un sottofondo di sabbia per garantire elevati livelli di isolamento:



Il pavimento galleggiante non garantisce un basso livello di rumore nell'ambiente dove si verifica il rumore strutturale.

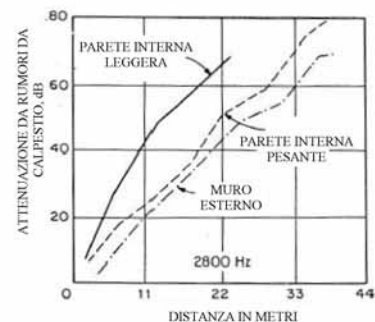
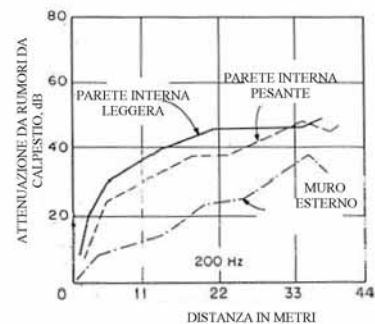
Addirittura se il pavimento finito è duro e leggero, la sua messa in opera su di un supporto galleggiante può aumentare il rumore prodotto da un impatto, dato che l'energia non si trasmette. Soprattutto alle basse frequenze non è raro incontrare aumenti anche di 10 dB. Si devono allora prevedere rivestimenti resilienti sul pavimento come tappeti o moquette.

Le attenuazioni delle vibrazioni strutturali a distanza dalla sorgente dipendono dalle pareti e dalle interazioni incontrate. Sono maggiori per i muri interni per le perdite dovute alle giunzioni di incrocio che per gli altri muri.

In linea di massima le attenuazioni per propagazione orizzontale sono meno efficaci che per propagazione verticale data l'efficacia di pavimenti strutturali per ridurre le vibrazioni di muri e colonne.

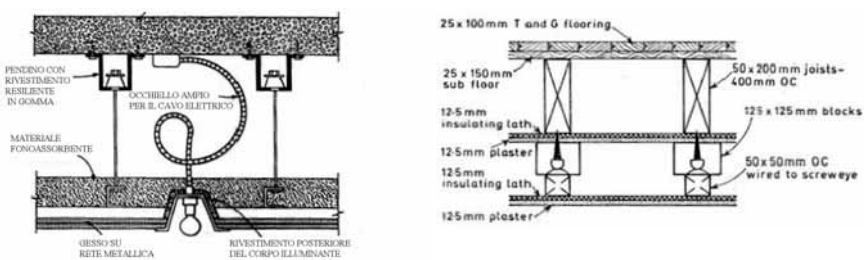
Qui si vede l'attenuazione lungo il percorso in direzione verticale a due frequenze con pareti interne sottili o spesse e pareti esterne.

Attenuazione del rumore strutturale misurata in direzione verticale lungo muri portanti di un edificio in cemento a 200 Hz e a 2800 Hz:



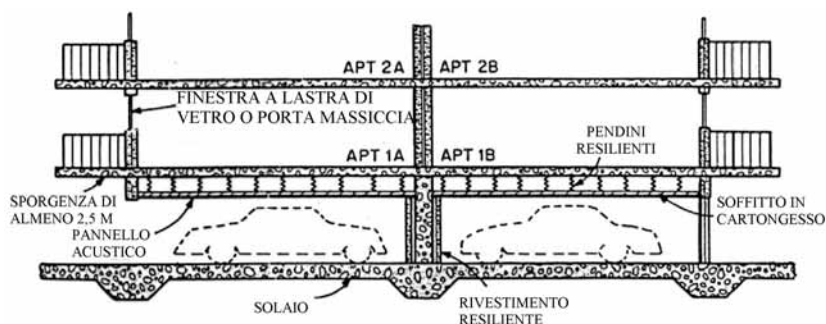
Un ultimo possibile intervento di correzione o miglioramento è il controsoffitto sospeso o il rivestimento resiliente.

Una lastra di gesso dello spessore di circa 1 cm adeguatamente rinforzata da supporti metallici o da rete metallica con un peso di 10-20 kg/m² viene sospesa dal soffitto strutturale con supporti resilienti fino a rivestire l'intero soffitto. Il peso necessario si può ridurre se una copertura assorbente (lana di vetro) riempie gli spazi fra controsoffitto e soffitto.



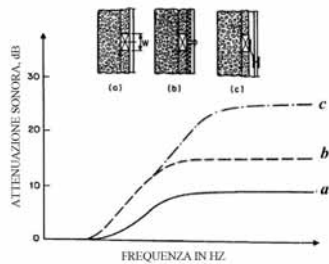
Soffitto sospeso in modo resiliente usato per ottenere un aumento sostanziale sia dell'isolamento aereo che strutturale nel percorso pavimento-soffitto

I percorsi diretti di trasmissione sonora vanno evitati usando una membrana solida impermeabile all'aria. Ogni interstizio va sigillato. I punti di sospensione vanno ridotti al minimo e dotati di agganci resilienti. Lo spazio d'aria fra la membrana del soffitto ed il pavimento strutturale va aumentato fino ad un ragionevole massimo.

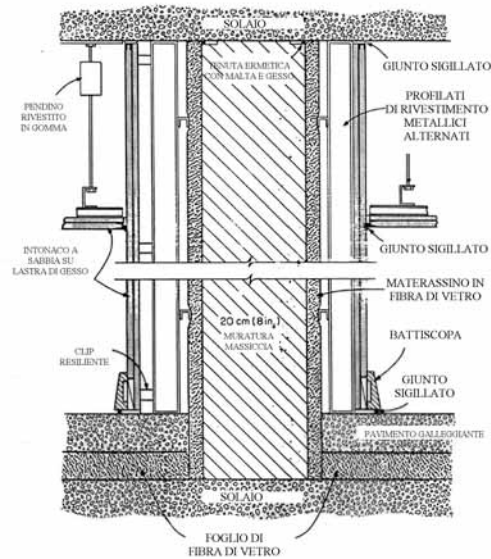


Soffitto sospeso e rivestimento resiliente usati per ridurre il rumore strutturale indotto dal suono dal garage agli appartamenti adiacenti

Con gli stessi intenti si può applicare un rivestimento resiliente sulle pareti, cioè una controparete sottile, leggera e flessibile che accresca sia l'isolamento aereo che strutturale.



Tre tipi diversi di aggancio di rivestimenti resilienti ed incremento corrispondente nella riduzione del rumore: (a) aggancio secondo una linea rigida; (b) aggancio secondo un punto rigido; (c) aggancio con una clip resiliente



Accorgimenti di controllo del rumore per ottenere un livello molto elevato di isolamento aereo e strutturale fra due aule in un conservatorio

Esempio applicativo

Una sala di lettura si trovi a fianco di un centro di calcolo. Le dimensioni della sala siano 3x3x3 m3. Il soffitto sia ricoperto di pannelli fonoassorbenti, il tappeto sia realizzato di tappeto di gomma e le pareti siano intonacate.

Si trovino le caratteristiche della parete divisoria di 3x3 m2 che consenta di ottenere un livello acustico accettabile nella sala di lettura (NC 30) a fronte del rumore ipotizzabile nel centro di calcolo. Sia lecita l'ipotesi che non esistano altre vie di trasmissione del suono oltre alla parete divisoria.

Si deve presumere uno spettro sonoro del rumore prodotto dal centro di calcolo. Successivamente si deve valutare il potere fonoassorbente dell'ambiente disturbato. Infine si calcola il livello richiesto per ottenere il rispetto della curva criterio.

Calcolo assorbimento totale della sala di lettura						
f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Soffitto (9 m ²)	5,30 (2,7)	0,60 (5,4)	0,85 (7,65)	0,85 (7,65)	0,80 (7,2)	0,70 (6,3)
Pavimento (9 m ²)	0,10 (0,9)	0,20 (1,8)	0,25 (2,25)	0,30 (2,7)	0,30 (2,7)	0,30 (2,7)
Pareti laterali (56 m ²)	0,01 (0,36)	0,01 (0,36)	0,01 (0,36)	0,02 (0,72)	0,03 (1,08)	0,03 (1,08)
A(m ²)	(3,96)	(7,56)	(10,26)	(11,07)	(10,98)	(10,08)
Livello rich. (L ₂) (dB)	48	40	35	30	26	24
Rumore prod. (L ₄) (dB)	75	73	78	80	78	74
L ₁ - L ₂	27	33	43	50	52	50

Il potere fonoisolante richiesto si determina da:

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S}$$

f(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L ₁ - L ₂	27	33	43	50	52	50
-10 log A/S	3,6	0,8	-0,6	-0,9	-0,9	-0,5
R	30,6	33,8	42,4	49,1	51,1	49,5

Il potere fonoisolante cercato è ottenibile da una parete di mattoni pieni da 10 cm con 1 cm di intonaco per parte.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
R	34	34	41	50	56	58