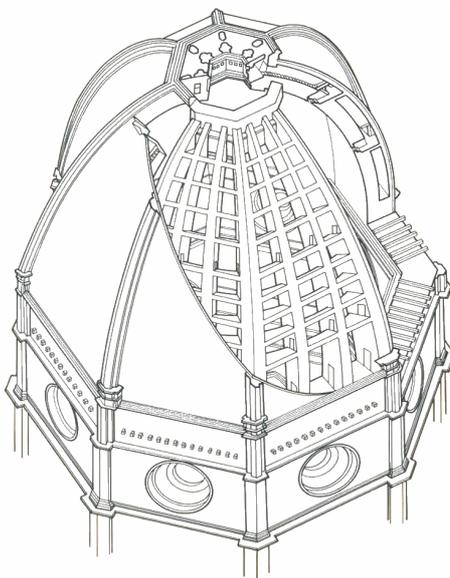


Edilizia 2007



*Progettare Edifici
Acusticamente Confortevoli*

A cura di BibLus-net:

Alfredo Mennonna

Prima edizione - ottobre 2006

ACCA

ACCA software S.p.A.
Via Michelangelo Cianciulli
83048 MONTELLA (AV) - Italy
Tel. (+39) 0827/69504 - Fax (+39) 0827/ 601235
Assistenza Tecnica Tel. (+39) 0827/ 601631
E-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it

ACCA software e gli Autori non si assumono alcuna responsabilità per danni diretti o indiretti eventualmente causati dall'uso delle informazioni contenute nella presente pubblicazione.

Questa pubblicazione, o parte di essa, non può essere riprodotta in nessuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza l'autorizzazione scritta di ACCA software S.p.A. e degli Autori.

Introduzione

La qualità della vita all'interno di un edificio dipende da numerosi fattori: condizioni termoigrometriche, illuminazione, confort acustico, etc.

Il confort acustico è uno degli obiettivi più importanti da raggiungere per garantire ai fruitori dell'edificio condizioni di benessere ambientale.

La rumorosità all'interno degli edifici è originata da sorgenti che possono essere tanto interne all'edificio (ad esempio: apparecchi radio-televisivi, etc.) che esterne (traffico veicolare, etc.) sulle quali non sempre, o più precisamente, quasi mai, è possibile intervenire.

Non potendo intervenire sulle sorgenti, per rendere un ambiente acusticamente confortevole, è necessario intervenire sulle caratteristiche costruttive dello stesso.

È appunto su tali caratteristiche che la normativa ha definito dei limiti inderogabili il cui rispetto deve essere garantito in opera.

In questa sede ci proponiamo di illustrare, sinteticamente, le disposizioni della normativa vigente in materia di acustica in edilizia e le modalità per garantirne il rispetto sin dalla fase progettuale.

Questo testo ha carattere prettamente divulgativo e si rivolge anche, e soprattutto, a chi è a digiuno dei concetti di acustica.

Capitolo 1

Il Suono e la sua Trasmissione

1.1 Il Suono

Il suono è una perturbazione di carattere oscillatorio prodotta da una sorgente sonora (vibrazioni meccaniche, turbolenze aerodinamiche, etc.) che, propagandosi in un mezzo elastico (aria, acqua, ecc...), provoca una variazione di pressione che l'orecchio umano riesce a rilevare.

In altre parole, il suono è una forma di trasporto di energia meccanica che avviene senza trasporto di materia, attraverso onde che si propagano in un mezzo elastico.

Affinché il suono esista, quindi, è necessario che esista il mezzo elastico attraverso il quale possa propagarsi; in assenza di mezzo elastico non esiste alcuna propagazione sonora.

I fenomeni acustici sono caratterizzati essenzialmente da due grandezze: *pressione acustica* e *frequenza*.

La prima dipende dalla pressione esercitata dall'onda sonora sulle particelle del mezzo di propagazione, la seconda dal numero d'oscillazioni che avvengono al passaggio dell'onda in un secondo.

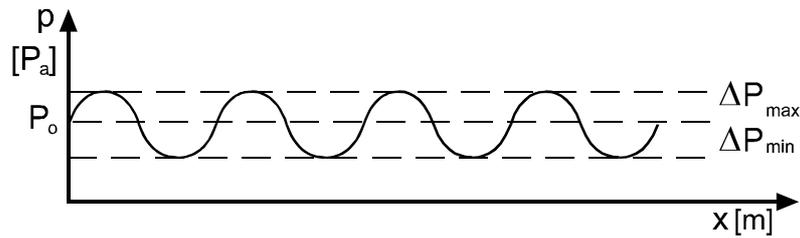


fig. 1

Solo un campo definito di ampiezze ($20 \mu\text{Pa} - 100 \text{Pa}$) e frequenze (20-20000 Hz) può diventare ciò che noi comunemente percepiamo come suono.

L'orecchio umano, inoltre, presenta una diversa sensibilità al variare della frequenza del suono: maggiore alle alte frequenze e minore a quelle basse (vedi figura 2).

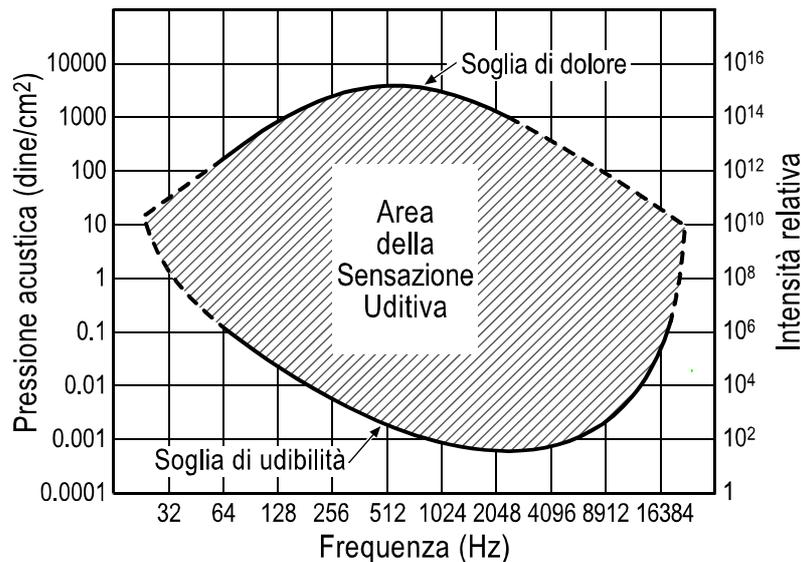


fig. 2

Se le sensazioni che un suono suscita sono percepite come fastidiose o sgradevoli esso assume la denominazione di "rumore".

Nel seguito si parlerà indifferentemente di "suono" o "rumore".

Tabella 1

Definizioni di alcune grandezze e parametri comunemente impiegati in acustica

| | |
|---|--|
| Frequenza f | Misura il numero di ripetizioni di cicli (lunghezza d'onda) o radianti nell'unità di tempo (s). L'unità di misura è l'"Hertz", ed è pari a 1/s. La frequenza è anche definita come l'inverso del periodo. La frequenza di 1 Hz corrisponde ad un ciclo la cui lunghezza temporale è pari ad un secondo. |
| Lunghezza d'onda λ | Distanza che un'onda percorre nel tempo richiesto a completare un ciclo (o un periodo). La lunghezza d'onda esprime implicitamente la velocità di propagazione del suono, che dipende dal mezzo di propagazione dell'onda ed è pari, nell'aria, a circa 344 m/s. La velocità di propagazione del suono nell'aria varia al variare della temperatura attraverso la relazione: $C = 331.6 + 0.6 T_c \text{ [m/s]}$ ($T_c = \text{temperatura in gradi centigradi} - C = 343.6 \text{ m/s per } T_c = 20^\circ$) |
| Pressione acustica | Differenza di pressione nel mezzo di propagazione rilevata dagli strumenti di misura e apprezzata dall'orecchio. Di norma assume valori molto piccoli estremamente inferiori a quelli della normale pressione atmosferica. |
| Potenza sonora W | Si definisce potenza sonora (W) l'energia irradiata nell'unità di tempo da una sola sorgente acustica. L'unità di misura della potenza è il Watt. |
| Livello di pressione sonora L_p | Esprime in scala logaritmica il rapporto tra pressione acustica misurata e pressione sonora di riferimento (P_0), pari a 20 μPa $L_p = 20 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$. Si esprime in dB (deciBel) Il valore di riferimento (20 μPa), corrisponde al valore della pressione sonora minimo, percepito da un individuo normoudente alla frequenza di 1000 Hz, ossia 0 dB. Alcune operazioni con i livelli di pressione sonora $L_A + L_A = L_A + 3 \text{ [dB]}$ Somma di più livelli: $L_{tot} = 10 \log \left(\sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$ |
| Isolamento acustico D | Differenza tra i valori medi dei livelli di pressione sonora misurati nell'ambiente "sorgente" (L_1) e quelli rilevati nell'ambiente "ricevente" (L_2), secondo la seguente relazione: $D = L_1 - L_2 \text{ [dB]}$ |

1.2 La Trasmissione del Suono

Il suono si propaga attraverso mezzi elastici come l'aria o l'acqua con una velocità che dipende fortemente dal mezzo di propagazione. Nell'aria essa è pari, alla temperatura di 20° C, a circa 344 m/s.

Tabella 2

Valori della velocità di propagazione del suono in diversi materiali

| Mezzo | Velocità del suono [m/s] |
|---------|--------------------------|
| Aria | 344 |
| Piombo | 1220 |
| Acqua | 1410 |
| Mattoni | 3000 |
| Legno | 3400 |
| Vetro | 3400 |
| Acciaio | 5200 |

Cosa accade quando il suono che viaggia nell'aria incontra un mezzo differente, come ad esempio la parete di un edificio?

In generale, quando un'onda sonora investe una superficie, si suddivide in tre componenti:

1. Onda riflessa
2. Onda assorbita
3. Onda trasmessa

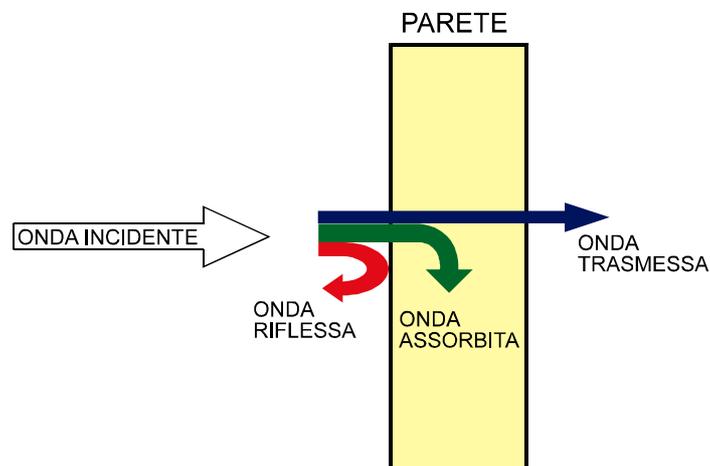


fig. 3

Quando un'onda sonora di potenza sonora (W_i) incide su una superficie come una parete, quindi, una parte (W_r) viene riflessa nell'ambiente sorgente e una parte penetra nella parete, trasformandosi in energia vibratoria.

Quest'ultima viene, a sua volta, scissa: una parte si dissipa in calore (W_d), mentre l'altra viene trasmessa nell'ambiente ricevente (W_t).

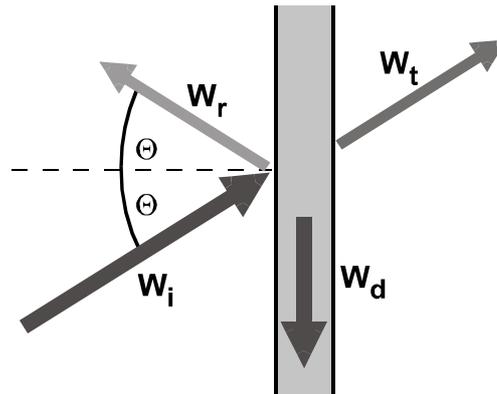


fig. 4 - Ripartizione dell'energia sonora incidente su una partizione

Si ha cioè, per il principio di conservazione dell'energia:

$$W_i = W_r + W_d + W_t$$

1.3 Materiali Fonoassorbenti e Materiali Fonoisolanti

In base a base quanto detto in precedenza si definisce il *coefficiente di assorbimento acustico* (α) dato da:

$$\alpha = 1 - \frac{W_r}{W_i}$$

Esso rappresenta la frazione di energia associata all'onda sonora che viene assorbita da un materiale ed è compreso fra 0, nel caso in cui tutta l'energia sia riflessa, e 1, nel caso in cui tutta l'energia sia assorbita ($W_d + W_t = W_i$).

Un materiale con elevato coefficiente α è detto *fonoassorbente*; ciò può essere dovuto al fatto che grande parte dell'energia incidente viene convertita in calore, ma può anche essere dovuto al fatto che viene favorita la trasmissione attraverso il materiale stesso.

Analogamente, si definisce *coefficiente di trasmissione acustica* (τ) il rapporto tra la potenza dell'onda trasmessa e la potenza dell'onda incidente:

$$\tau = \frac{W_t}{W_i}$$

Esso, che varia in funzione dell'angolo di incidenza θ dell'onda sulla superficie, rappresenta, in percentuale, la quantità di energia che attraversa l'elemento divisorio.

Un materiale con basso coefficiente τ è detto *fonoisolante*.

Per meglio comprendere il significato fisico dei due parametri appena definiti ricorriamo ad alcuni semplici esempi.

Pensiamo ad una tenda che divide in due parti un ambiente: l'energia incidente viene in parte convertita in calore per attrito passando attraverso il tessuto ed in gran parte viene trasmessa attraverso la tenda. Essa è quindi altamente fonoassorbente ma poco fonoisolante.

Nelle stesse condizioni un divisorio di elevato spessore realizzato in muratura con intonaco liscio è, al contrario, molto fonoisolante ma poco fonoassorbente, perchè quasi tutta l'energia incidente viene riflessa.

A partire dal coefficiente di trasmissione τ si definisce il *potere fonoisolante* (R):

$$R(\theta) = 10 \log \frac{1}{\tau(\theta)} (dB)$$

(valutato per $\theta=0$, cioè onda incidente normale alla superficie).

Ovviamente, un materiale ha un comportamento fonoisolante migliore al crescere del valore di R .

Il potere fonoisolante R dipende dalla densità della parete e dalla frequenza f dell'onda sonora che incide la superficie.

Normalmente il potere fonoisolante di un determinato componente edilizio viene misurato in laboratorio, in relazione alla norma ISO 140-3, ed è espresso in genere tramite una curva che riporta i diversi valori di R per le bande di frequenza di ottava o 1/3 di ottava.

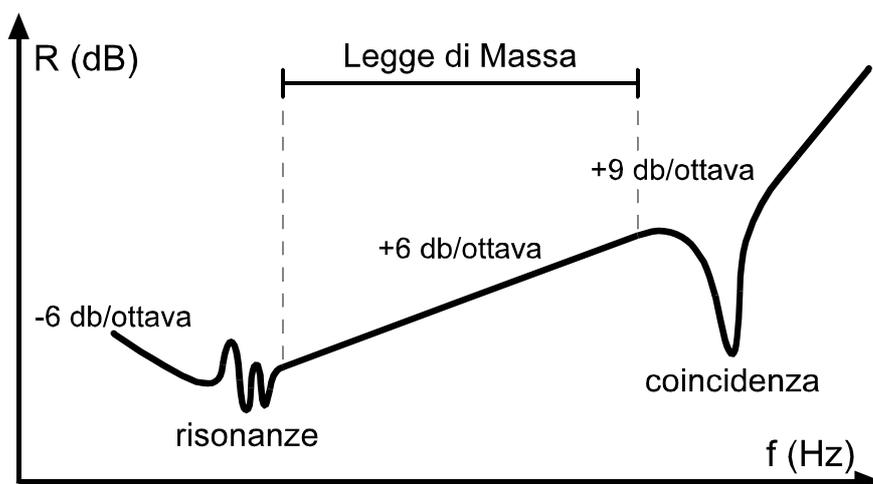


fig. 5

Dipendenza del potere fonoisolante dalla frequenza per pannelli semplici

In caso di misura in opera, il parametro misurato è indicato come *potere fonoisolante apparente* (R').

Esso (R') differisce dal valore ricavato in laboratorio (R) per effetto della trasmissione laterale (vedi p. 1.4) e per la specifica posa in opera del componente che inducono ad una riduzione dei valori di fonoisolamento.

1.4 Il Suono e gli Edifici

Come in precedenza detto, il suono, per diffondersi nell'ambiente, ed essere quindi da noi percepito, ha bisogno di un mezzo elastico.

Quando il suono si propaga all'interno degli edifici, tale mezzo oltre che, naturalmente, dall'aria è costituito dagli elementi strutturali dell'edificio stesso (pareti, solai, etc.).

La trasmissione del suono negli edifici avviene infatti secondo due distinti meccanismi di propagazione:

- *trasmissione per via aerea*
- *trasmissione per via strutturale (Trasmissione diretta e Trasmissione Laterale).*

Nel primo caso, il mezzo principale di trasmissione è costituito dall'aria e il rumore si propaga senza incontrare ostacoli solidi mentre, nel secondo caso,

la propagazione avviene tramite le strutture dell'edificio (pareti, pavimenti, soffitti, colonne, travi, tubazioni, condotti ed altre strutture solide).

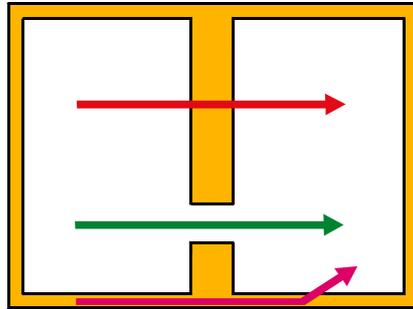


fig. 6 - vie di propagazione del suono

È esperienza comune, ad esempio, che in una stanza, anche con la porta ben chiusa, è possibile udire una parte dei rumori provenienti dall'esterno della stanza stessa.

Ciò avviene poiché le onde sonore che provengono dall'esterno mettono in vibrazione la parete, che quindi trasmette a sua volta il suono (sebbene attutito).

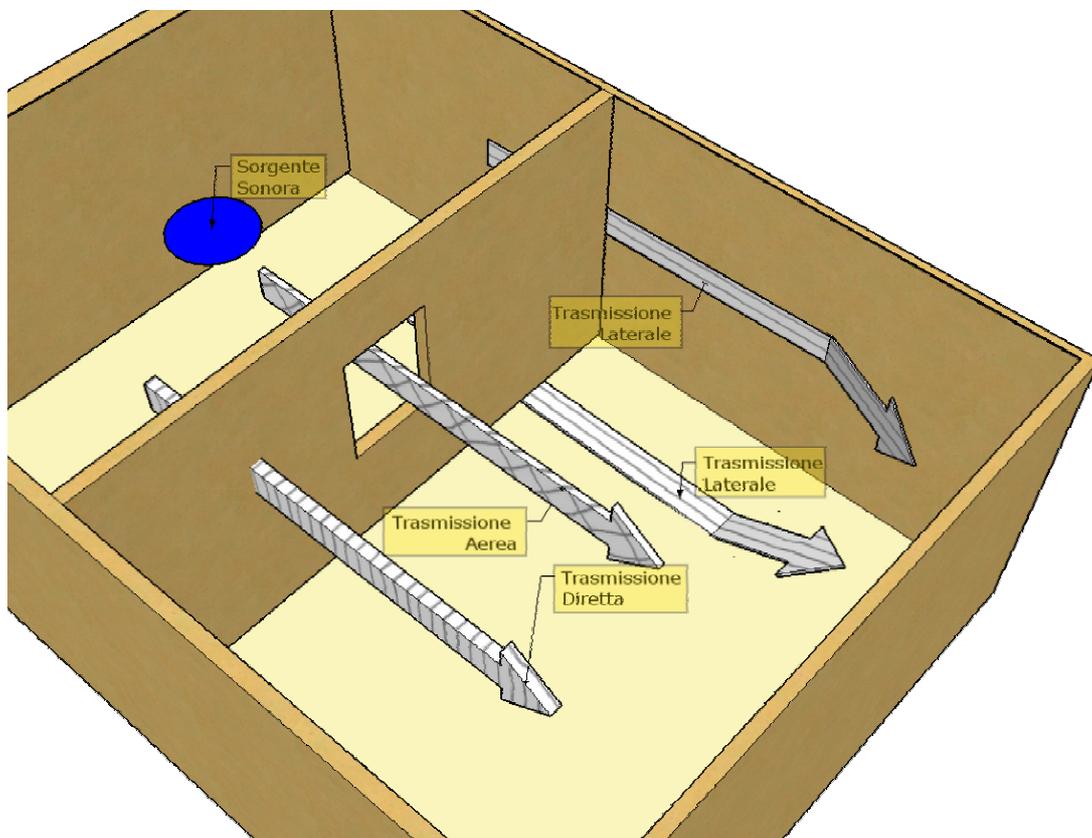


fig. 7

Tabella 3
Classificazione della trasmissione del suono all'interno degli edifici

| | |
|---|---|
| <p>Trasmissione diretta</p> | <p>Trasmissione dovuta solo al rumore incidente su un elemento di separazione e da lì direttamente irradiato (per via strutturale) o trasmesso attraverso parti dell'elemento stesso (per via aerea) quali fenditure, dispositivi o persiane di ventilazione.</p> |
| <p>Trasmissione indiretta</p> | <p>Trasmissione del rumore da un ambiente emittente ad un ambiente ricevente, attraverso percorsi di trasmissione diversi da quelli della trasmissione diretta. Si può suddividere in trasmissione per via aerea e trasmissione per via strutturale. Quest'ultima è chiamata trasmissione laterale.</p> |
| <p>Trasmissione indiretta per via aerea</p> | <p>Trasmissione indiretta di energia sonora principalmente attraverso un sentiero di trasmissione per via aerea, per esempio sistemi di ventilazione, controsoffitti e corridoi.</p> |
| <p>Trasmissione indiretta per via strutturale (trasmissione laterale)</p> | <p>Trasmissione di energia sonora da un ambiente emittente ad un ambiente ricevente soprattutto attraverso percorsi strutturali (vibratori) nella costruzione, per esempio pareti, pavimenti, soffitti.</p> |

Capitolo 2

Edifici e Rumore

2.1 La Normativa italiana in materia di inquinamento acustico

Le principali norme vigenti in Italia in materia di inquinamento acustico sono:

DPCM 1.03.1991 *“Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”*

Legge 447/1995 *“Legge quadro sull’inquinamento acustico”*

DM 11.12.1996 *“Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo”*

DPCM 18.09.1997 *“Determinazione dei requisiti delle sorgenti sonore nei locali di intrattenimento danzante”*

DPCM 14.11.1997 *“Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”*

DPCM 5.12.1997 *“Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”*

Decreto 16.03.1998 *“Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”*

DPCM 31.03.1998 *“Atto di indirizzo e coordinamento recante criteri generali per l’esercizio dell’attività del tecnico competente in acustica”*

DPR 18.11.1998 “Regolamento recante norme di esecuzione dell’articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario”

D.M. 3.12.1999 “Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti”

DM 29.11.2000 “Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore”.

2.2 Il D.P.C.M. 5 Dicembre 1997

Il provvedimento normativo di maggiore interesse per i tecnici dell’edilizia è senza dubbio il D.P.C.M. 5.12.1997.

Con esso, infatti, il Legislatore ha individuato alcuni parametri rappresentativi delle prestazioni acustiche degli edifici (R'_{w} , $D_{2m,nT,w}$, $L'_{n,w}$, L_{Asmax} , L_{Aeq}), definendone, contestualmente, i valori limite.

Tali limiti, differenziati in funzione della destinazione dell’edificio, devono essere verificati e rispettati a costruzione ultimata.

Il mancato rispetto di tali limiti può avere, come vedremo più innanzi, conseguenze molto rilevanti sul piano economico.

Tabella 4- Classificazione degli edifici

| | |
|-------------|---|
| Categoria A | edifici adibiti a residenza o assimilabili; |
| Categoria B | edifici adibiti ad uffici ed assimilabili; |
| Categoria C | edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili; |
| Categoria D | edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili; |
| Categoria E | edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili; |
| Categoria F | edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili; |
| Categoria G | edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili. |

Tabella 5 - Valori limite dei parametri

| | Parametri | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| | R'_w (*) \geq | $D_{2m,nT,w}$ \geq | $L'_{n,w}$ \leq | L_{ASmax} \geq | L_{Aeq} \geq |
| Ospedali, Cliniche (cat. D) | 55 | 45 | 58 | 35 | 25 |
| Abitazioni, Alberghi Cat. A, C) | 50 | 40 | 63 | 35 | 35 |
| Scuole (Cat. E) | 50 | 48 | 58 | 35 | 25 |
| Uffici, palestre, negozi (B, F, G) | 50 | 42 | 55 | 35 | 35 |

(*) Valori di R_w riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari

Nel seguito illustreremo il significato fisico di ciascuno dei parametri e come effettuare una valutazione in fase progettuale al fine di garantire il rispetto dei limiti in opera.

2.3 R'_w - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di pareti divisorie fra unità immobiliari adiacenti

R'_w , l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente delle pareti divisorie è un parametro rappresentativo del confort acustico tra due distinte unità abitative adiacenti.

Il D.P.C.M. 5.12.1997 prescrive che il valore misurato sia maggiore o al più uguale a quello indicato

Come affermato in precedenza (vedi 1.3) il potere fonoisolante R dipende, per uno specifico elemento, dalla frequenza f dell'onda.

Solitamente i valori del potere fonoisolante sono ricavati per le singole bande di frequenza comprese nell'intervallo dai 100 ai 3.150 Hz.

Per caratterizzare con un solo valore la prestazione acustica di uno specifico componente, si ricorre all'*indice di valutazione* (R'_w), assunto come parametro rappresentativo della curva dell'andamento in frequenza di R .

L'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_w di un divisorio dipende da:

- 1) Caratteristiche del divisorio (Indice del Potere fonoisolante ($R_{d,w}$) e massa superficiale [kg/m^2]);

- 2) Caratteristiche degli elementi laterali degli ambienti adiacenti (pareti laterali e solai) a *diretto contatto* con la parete divisoria considerata;
- 3) Caratteristiche dei collegamenti tra gli elementi suddetti;
- 4) Superficie della Partizione.

Per la valutazione in fase di progetto di R'_w si può fare riferimento alla norma UNI EN 12354-1.

Tale norma fornisce un metodo semplificato per la valutazione diretta dell'indice R'_w , che può essere ottenuto mediante la seguente espressione:

$$R'_w = -10 \log \left(10^{\frac{R_{d,w}}{10}} + \sum 10^{\frac{R_{ij,w}}{10}} \right)$$

dove:

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij} + K_{ij} + 10 \log \frac{S}{l_0 l_f}$$

con:

$R_{d,w}$ = indice del potere fonoisolante del divisorio - percorso diretto (dB)

$R_{ij,w}$ = indice del potere fonoisolante del generico percorso di trasmissione i-j (dB)

$R_{i,w}$ = indice del potere fonoisolante della struttura i appartenente al percorso di trasmissione i-j (dB)

$R_{j,w}$ = indice del potere fonoisolante della struttura j appartenente al percorso di trasmissione i-j (dB)

ΔR_{ij} = indice di valutazione dell'incremento di potere fonoisolante dovuto a strati addizionali lungo il percorso i-j (dB)

K_{ij} = indice di riduzione delle vibrazioni del giunto tra le strutture i e j (dB)

S = Superficie del divisorio

L = lunghezza del giunto

l_0 = lunghezza di riferimento (1 m)

L'indice di riduzione delle vibrazioni (K_{ij}), definito dalla menzionata norma EN, è correlato alla potenza sonora, trasmessa per vibrazione strutturale da una giunzione, tra i due elementi costruttivi (ad esempio tra pareti e solai).

Tale termine è, quindi, una caratteristica intrinseca della giunzione e deriva dalla differenza di velocità media di vibrazione che si crea tra le due strutture esaminate quando una sola delle due è direttamente sollecitata.

Il valore di K_{ij} per giunti tra strutture omogenee, può essere calcolato in funzione del rapporto delle masse superficiali delle strutture che vi convergono. Attraverso misure sperimentali, è stato verificato che K_{ij} varia in funzione del tipo di giunto e del valore di M , dato dalla seguente relazione:

$$M = \log \frac{m'_{\perp i}}{m'_i}$$

dove m'_i è la massa superficiale della struttura considerata e $m'_{\perp i}$ è la massa superficiale della struttura perpendicolare a quella considerata (vedi fig. 8).

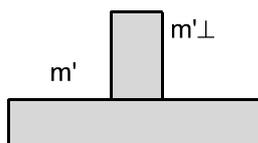


fig. 8

Sempre secondo la citata norma UNI EN 12354-1 il valore dell'indice di riduzione delle vibrazioni non può essere inferiore a quello ottenuto mediante la seguente relazione:

$$K_{ij,\min} = 10 \log \left(l_{ij} l_o \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right)$$

dove:

S_i = Superficie della struttura i

S_j = Superficie della struttura j

l_{ij} = lunghezza del giunto tra le strutture i e j

l_o = lunghezza di riferimento (1 m)

Si noti che le superfici degli elementi a contatto con la partizione (pareti, solai) influenzano il valore di $K_{ij,\min}$ mentre, al contrario, non esercitano alcuna influenza diretta sul valore di R'_w .

Tabella 6

Determinazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni per tipologia di giunzione

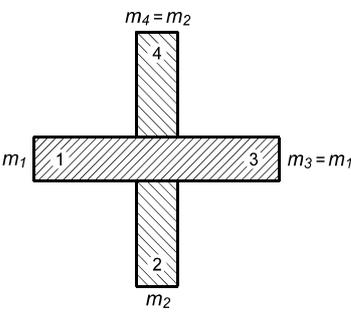
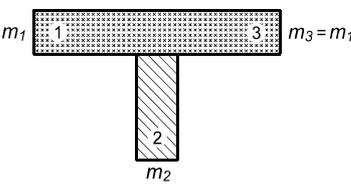
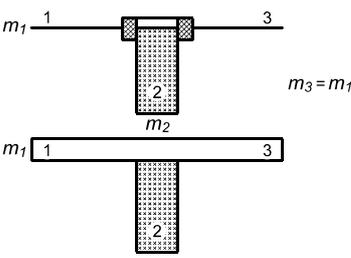
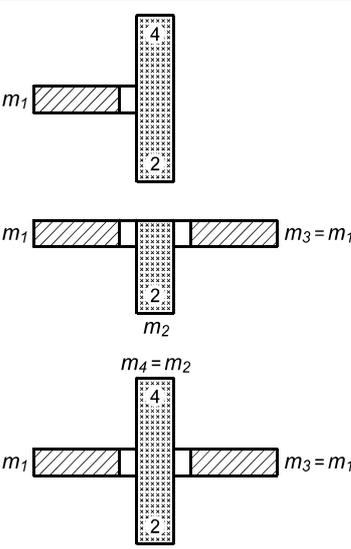
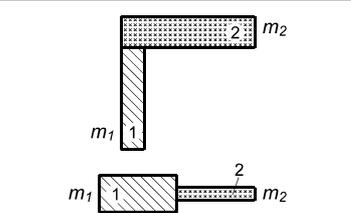
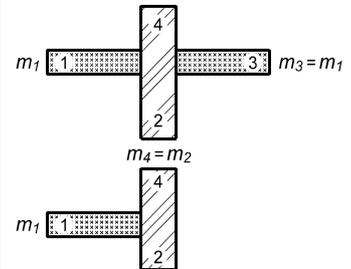
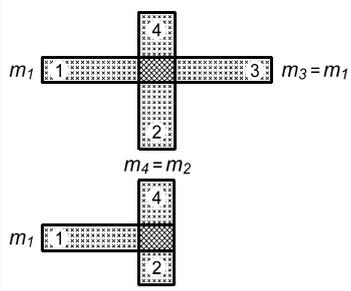
| Giunzione | | Trasmissione | | Valori di K_{ij} [dB] |
|---|---|---|-----------------------|--|
| a) Rigidi a croce |  | Diritto | \longleftrightarrow | $K_{13} = 8,7 + 17,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ |
| | | Angolo | \curvearrowright | $K_{12} = 8,7 + 5,7 \cdot M^2 (= K_{23})$ |
| b) Rigidi a T |  | Diritto | \longleftrightarrow | $K_{13} = 8,7 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ |
| | | Angolo | \curvearrowright | $K_{12} = 5,7 + 5,7 \cdot M^2 (= K_{23})$ |
| c) Struttura omogenea a facciata leggera |  | Diritto | \longleftrightarrow | $K_{13} = 5 + 10 \cdot M + (\text{minimo } 5 \text{ dB})$ |
| | | Angolo | \curvearrowright | $K_{12} = 10 + 10 \cdot M (= K_{23})$ |
| d) Strutture omogenee con strato flessibile Rapporto $E/d = 100 \text{ MNm}^3$ dove: E è il modulo elastico dello strato flessibile d è lo spessore dello strato flessibile |  | Diritto su pareti con strato flessibile | \longleftrightarrow | $K_{13} = 5,7 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2 + 12$ |
| | | Diritto su parete | \longleftrightarrow | $K_{24} = 3,7 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ |
| | | Omogenea Angolo | \curvearrowright | $-4 \leq K_{24} \leq 0$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 \cdot M^2 + 6 (= K_{23})$ |
| e) Struttura omogenea con angolo o cambio spessore |  | Angolo | \curvearrowright | $K_{12} = 10 + 15 \cdot M - 3 (= K_{21})$ (minimo -2 dB) |
| | | Diritto | \longleftrightarrow | $K_{12} = 5 \cdot M^2 - 5 (= K_{21})$ |

Tabella 6

Determinazione dell'indice di riduzione delle vibrazioni per tipologia di giunzione
(continua)

| Giunzione | Trasmissione | Valori di K_{ij} [dB] |
|---|---|--|
| f) Doppia parete leggera e struttura omogenea  | Diritto \longleftrightarrow | $K_{13} = 10 + 20 \cdot M$ (minimo 10 dB) |
| | Diritto su parete \longleftrightarrow | $K_{24} = 3 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ $m'_1/m'_2 > 3$ |
| | Omogenea Angolo \curvearrowright | $K_{12} = 10 + 10 \cdot M $ (= K_{23}) |
| g) Pareti doppie leggere accoppiate  | Diritto \longleftrightarrow | $K_{13} = 10 + 20 \cdot M$ |
| | Angolo \curvearrowright | $K_{12} = 10 + 10 \cdot M $ (= K_{23}) |
| Nota: Per la trasmissione intorno all'angolo, la scelta di un rapporto di massa o del suo reciproco dà sempre luogo allo stesso valore assoluto: $ M = \left \lg \frac{m_1}{m_2} \right = \left \lg \frac{m_2}{m_1} \right $ e ciò concorda con l'assunto che la trasmissione delle vibrazioni sul giunto, per il principio di reciprocità, sia la stessa tanto in un senso, tanto nell'altro. | | |

2.4 $D_{2m,nT,w}$ - Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

L'indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ è un parametro rappresentativo del comportamento dell'edificio (o, più correttamente, dell'ambiente considerato) rispetto ai rumori provenienti dall'esterno dell'edificio.

Esso caratterizza la capacità della facciata, di uno specifico ambiente, di abbattere il rumore proveniente dall'esterno.

Tale indice dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata, dalla forma esterna della facciata e dalle dimensioni della stanza in esame.

Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 prescrive che il valore misurato dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ sia maggiore o al più uguale a quello limite indicato.

$D_{2m,nT,w}$ è definito attraverso la seguente relazione:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ (espresso in dB)}$$

dove:

$L_{1,2m}$ = Livello equivalente di pressione sonora a 2 m dalla facciata (dB)

L_2 = Livello equivalente medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato (dB)

T = Tempo di riverberazione nell'ambiente disturbato (s)

T_0 = Tempo di riverberazione di riferimento (0.5 s)

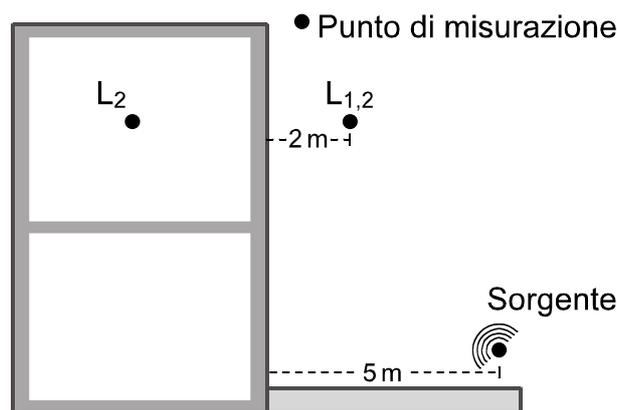


fig. 9 - Isolamento acustico di facciata standardizzato

Anche in questo caso la norma UNI EN 12354 fornisce un metodo semplificato per la valutazione in fase di progetto di $D_{2m,nT,w}$.

L'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ può essere valutato (UNI EN 12354-3) con la seguente espressione:

$$D_{2m,nT} = R_w' + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0S} \right) \text{ (espresso in dB)}$$

dove:

R_w' = indice del potere fonoisolante apparente della facciata

ΔL_{fs} = Differenza di livello per forma della facciata

V = volume dell'ambiente ricevente

T_0 = Tempo di riverberazione di riferimento (0.5

S = Superficie della facciata vista dall'interno

Si noti che l'indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata $D_{2m,nT,w}$ dipende anche dal volume dell'ambiente ricevente (cresce al crescere del volume); il parametro Volume, invece, non influenza il valore dell'indice del potere fonoisolante apparente esaminato in precedenza.

Il valore di $D_{2m,nT,w}$ è, inoltre, fortemente influenzato dalla presenza in facciata di elementi quali finestre o cassonetti per avvolgibili (vedi fig. 16).

Occorre quindi fare molta attenzione nella progettazione di tali elementi.

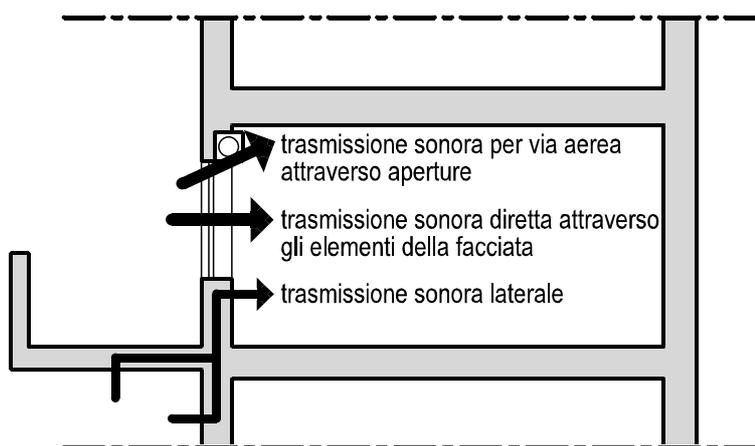


fig. 10

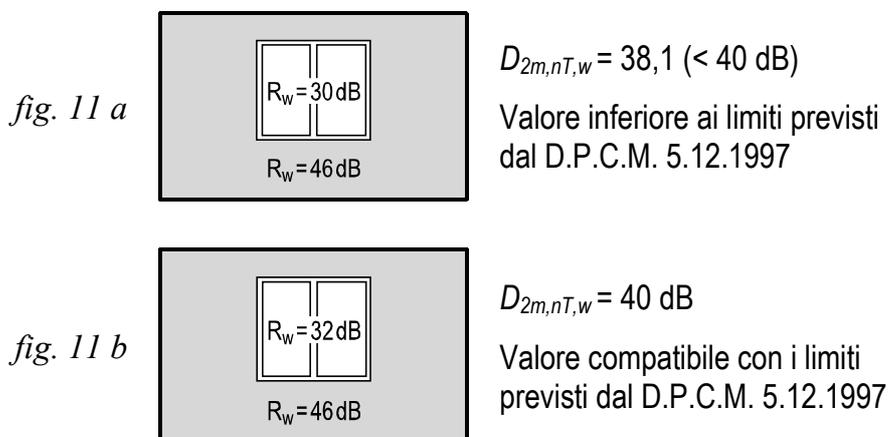
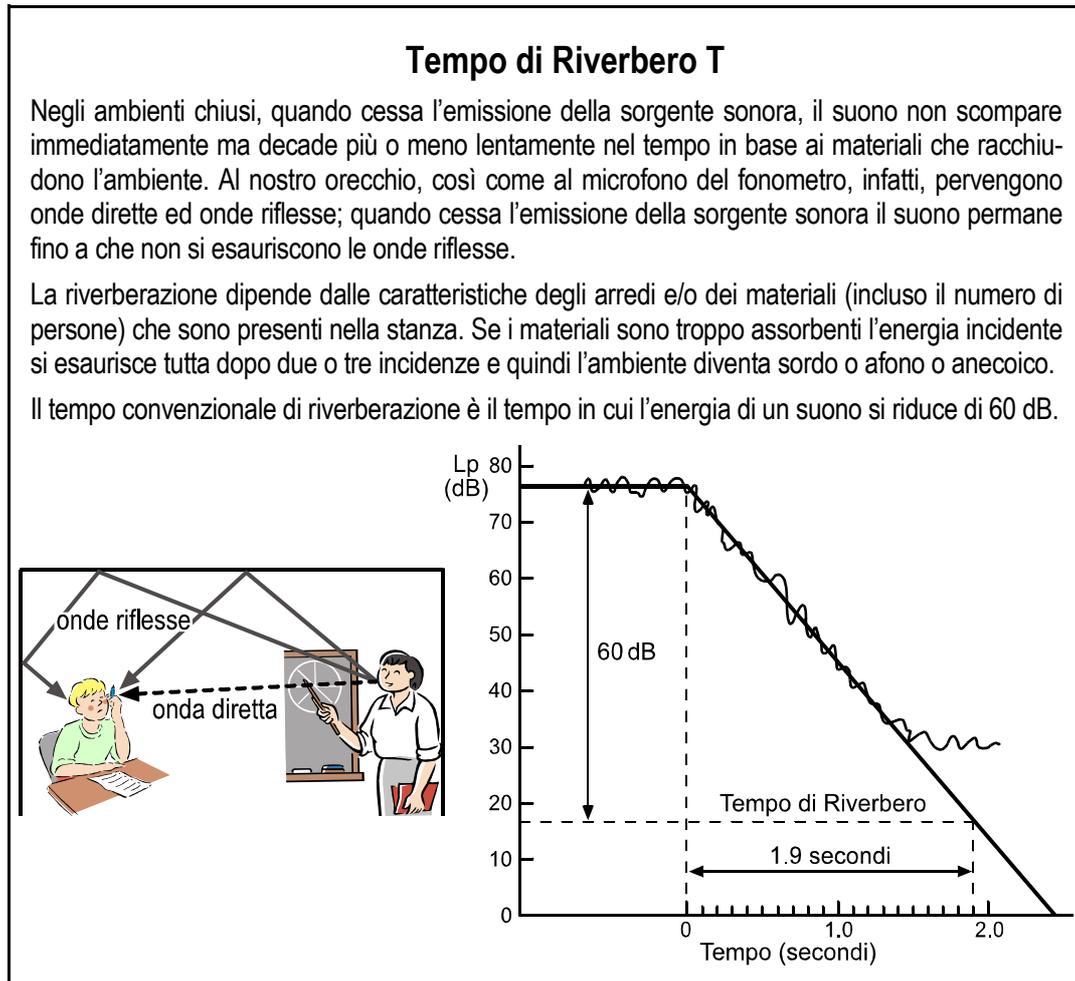


Tabella 7 - Tempo di Riverbero



2.4.1 Determinazione di R'_w

L'indice del potere fonoisolante apparente di facciata R'_w dipende da:

- indice del potere fonoisolante degli elementi normali di facciata (tamponatura, finestre, etc.);
- isolamento acustico dei piccoli elementi di facciata (prese d'aria, etc);
- nonché dalla superficie della facciata vista dall'interno dell'ambiente considerato.

La norma UNI 12354-3, ai fini della determinazione del potere fonoisolante apparente di facciata R'_w , fornisce la seguente relazione:

$$R'_w = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_{i,w}}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K$$

dove:

R'_i = indice del potere fonoisolante degli elementi normali di facciata

$D_{n,e,i}$ = Isolamento acustico dei piccoli elementi di facciata

S = Superficie della facciata vista dall'interno

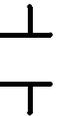
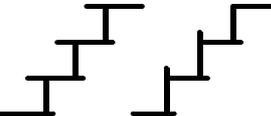
K = correzione per trasmissione laterale di facciata (K = 2 per elementi pesanti con giunti rigidi; K= 0 per elementi non connessi).

2.4.2 Valutazione di ΔL_{fs}

Il termine correttivo ΔL_{fs} , che quantifica l'influenza delle caratteristiche della facciata, dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle eventuali superfici di sottobalcone e dal modo di incidenza delle onde sonore.

Per la valutazione di ΔL_{fs} può farsi riferimento alla Tabella 8 e alla fig. 12.

| | Facciata piana  | Ballatoio (1)  | | | Ballatoio (1)  | | | Ballatoio (1)  | | | Ballatoio (1)  | | |
|---------------------------------|---|--|-----|------------|--|-----|------------|--|-----|------------|--|-----|------------|
| α_w | Non si applica | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ |
| $h < 1,5 \text{ m}$ | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Non si applica | | |
| $1,5 \leq h \leq 2,5 \text{ m}$ | 0 | Non si applica | | | -1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 | Non si applica | | |
| $h > 2,5 \text{ m}$ | 0 | Non si applica | | | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 6 |

| | Balcone (2)  | | | Balcone (2)  | | | Balcone (2)  | | | Terrazza  | | | | | |
|---------------------------------|--|-----|------------|--|-----|------------|--|-----|------------|---|-----|------------|--------------------|-----|------------|
| α_w | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | Schermature aperte | | | Schermature chiuse | | |
| α_w | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ | $\leq 0,3$ | 0,6 | $\geq 0,9$ |
| $h < 1,5 \text{ m}$ | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| $1,5 \leq h \leq 2,5 \text{ m}$ | -1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| $h > 2,5 \text{ m}$ | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 |

Note: (1) Ballatoio, terrazza continua.
(2) Balcone, terrazza discontinua limitata lateralmente.

Tabella 8

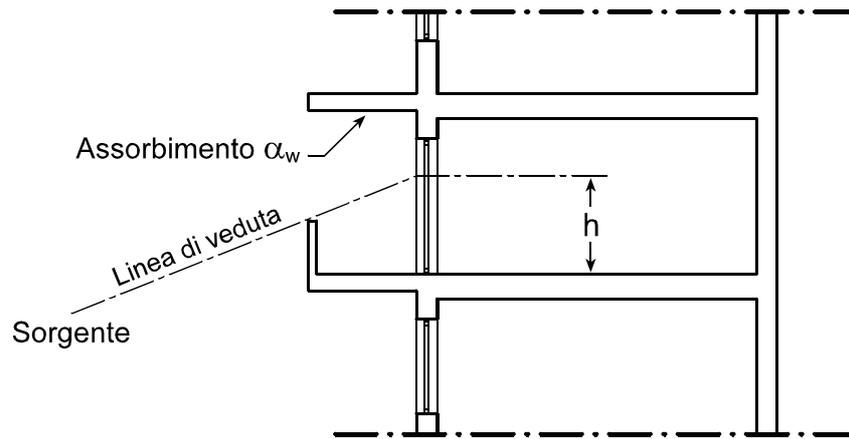


fig. 12

2.5 $L'_{n,w}$ indice del livello di rumore da calpestio di solai

$L'_{n,w}$ è un parametro rappresentativo del confort acustico in presenza di rumori da impatto originatisi sul solaio superiore dell'ambiente considerato.

Esso può essere ricavato con l'impiego di un apposita attrezzatura (vedi figura 13) attraverso la seguente formula:

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \text{ (dB)}$$

con

L_i = Livello medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato (dB)

A = Assorbimento equivalente nell'ambiente disturbato (m^2)

A_0 = Assorbimento equivalente di riferimento (10 m^2)

Il valore misurato di $L'_{n,w}$ deve essere *minore* o al più uguale a quello indicato.

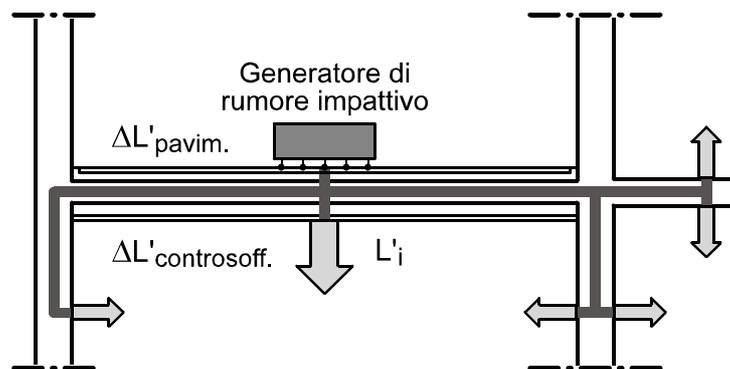


fig. 13

Anche in questo caso, per la valutazione preventiva di $L'_{n,w}$ è possibile utilizzare un modello semplificato, fornito dalla norma UNI EN 12354-2.

$$L'_{n,w} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$$

L_{nweq} è il livello di rumore da calpestio equivalente riferito al solaio privo dello strato di pavimento galleggiante [dB].

ΔL_w rappresenta la riduzione dei rumori di calpestio dovuta alla presenza di pavimento galleggiante o rivestimento resiliente [dB].

K è la correzione da effettuare per tenere conto della trasmissione laterale del rumore. L'entità della correzione dipende dalla massa superficiale del solaio (privo di pavimento galleggiante e/o rivestimento resiliente) e dalla massa superficiale delle strutture laterali [dB].

2.5.1 Determinazione di L_{nweq}

Il valore di L_{nweq} , relativo alla struttura priva di pavimento galleggiante, può essere ricavata da prove di laboratorio o calcolata con la formula.

$$L_{nweq} = 164 - 35 \log \frac{m'}{m'_0}$$

dove:

m' è la massa superficiale del solaio “nudo” (kg/m^2)

m'_0 è la massa di riferimento pari a 1 kg/m^2

Secondo quanto prescritto dalla normativa UNI EN 12354-2, tale formula è utilizzabile per solai di tipo “omogeneo” aventi massa per unità di area (m') compresa tra 100 e 600 kg/m^2 .

2.5.2 Determinazione di ΔL_w

ΔL_w può essere ricavato da certificazioni di prove effettuate in conformità alle norme della serie UNI EN ISO 104.

Per i pavimenti galleggianti (strati resilienti utilizzati sotto il massetto) il valore di ΔL_w può essere ottenuto dalle seguenti formule:

$$\Delta L_w = 30 \log \frac{f}{f_0} + 3 \quad (\text{massetti realizzati in calcestruzzo})$$

$$\Delta L_w = 40 \log \frac{f}{f_0} - 3 \quad (\text{massetti a secco})$$

dove:

f è la frequenza di riferimento pari a 500 Hz;

f_0 è la frequenza di risonanza del sistema massetto+strato resiliente, calcolata in base alla seguente relazione:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

dove:

s' è la rigidità dinamica dello strato resiliente interposto ottenuta secondo prove di laboratorio conformi alla UNI EN 29052-1; 1993 [MN/m³];

m' è la massa superficiale del massetto soprastante lo strato resiliente [kg/m²].

2.5.3 Determinazione di K

Il valore dell'indice K è ricavabile dalla Tabella 9. Esso dipende dalla massa superficiale del solaio "nudo", privo di pavimento galleggiante e dalla massa superficiale media delle pareti laterali.

La massa superficiale media delle pareti laterali si calcola facendo la media ponderata secondo la dimensione delle varie strutture, senza considerare le masse proprie di eventuali strati di rivestimento.

| Indice K | | Massa Supeficiale media delle pareti laterali [kg/m ²] | | | | | | | | |
|--|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| Massa superficiale del solai [kg/m ²] | 150 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 200 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 250 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 300 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 350 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 400 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 450 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 500 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 550 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 600 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |

Tabella 9

2.6 Rumorosità prodotta da impianti

Il D.P.C.M. 5 dicembre 1997 definisce introduce limiti anche per la rumorosità prodotta dal funzionamento degli impianti attraverso i parametri:

L_{Asmax} livello massimo di rumore per gli impianti a funzionamento discontinuo;

L_{Aeq} livello massimo di rumore per gli impianti a funzionamento continuo.

Sono servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria; sono servizi a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

| | L_{Asmax} [dB] ≥ | L_{Aeq} [dB] ≥ |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Ospedali, Cliniche (cat. D) | 35 | 25 |
| Abitazioni, Alberghi (Cat. A, C) | 35 | 35 |
| Scuole (Cat. E) | 35 | 25 |
| Uffici, palestre, negozi (B, F, G) | 35 | 35 |

Le vibrazioni prodotte dagli impianti e dall'acqua che vi circola si trasmettono ai muri (negli attraversamenti e negli appoggi).

Bisogna perciò interrompere la continuità delle tubazioni con appositi materiali elastici e supporti. È anche possibile utilizzare tubazioni e scarichi preisolati, cioè costruiti con materiali antivibranti e assemblati con supporti e giunti speciali in modo da contenere il rumore.

Le misure di livello sonoro devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato.

Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.

2.7 Rumore e Svalutazione degli Immobili

In Italia sono frequentissime le situazioni in cui l'inquinamento da rumore rende insufficiente il comfort acustico di un edificio.

In tali casi si pone il problema di quantificare la svalutazione dell'immobile non in possesso di questo importante requisito.

Tale operazione è importante sia ai fini di una valutazione più corretta dell'immobile nell'ambito di una normale transazione commerciale sia (ed è il caso più ricorrente) in sede giudiziaria, nel caso in cui una delle parti in causa (in genere l'acquirente) debba essere risarcita dall'altra (in genere il costruttore).

Dalle sentenze pronunciate su queste controversie, si può evincere l'orientamento prevalente della giurisprudenza; in caso di mancato rispetto delle prescrizioni del D.P.C.M. 5 dicembre 1997, la magistratura tende a riconoscere all'acquirente dell'immobile il danno patrimoniale ed il danno biologico.

Il danno patrimoniale è spesso individuato nel rimborso delle spese necessarie per rimettere l'alloggio a norma o con un deprezzamento del valore dell'immobile variabile dal 10 al 20 % (in alcuni casi perfino superiore).

Il rimborso del danno biologico agli utenti dell'alloggio viene calcolato sulla base del loro numero e del tempo che hanno trascorso nell'alloggio.

Al contrario risulta che costruzioni ad elevato comfort acustico, cioè protette dal rumore, in misura superiore ai requisiti minimi di legge, sono proposte con successo agli acquirenti con una contenuta (3-5%) maggiorazione di prezzo rispetto alle correnti quotazioni di mercato.

Indice

| | | |
|---|------|----|
| Introduzione | pag. | 3 |
| Cap. 1 Il Suono e la sua Trasmissione | ” | 5 |
| 1.1 Il Suono | ” | 5 |
| 1.2 La Trasmissione del Suono | ” | 8 |
| 1.3 Materiali Fonoassorbenti e Materiali Fonoisolanti..... | ” | 9 |
| 1.4 Il Suono e gli Edifici | ” | 11 |
| Cap. 2 Edifici e Rumore | ” | 15 |
| 2.1 La Normativa italiana in materia di inquinamento acustico..... | ” | 15 |
| 2.2 Il D.P.C.M. 5 Dicembre 1997 | ” | 16 |
| 2.3 R'_w - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di pareti divisorie fra unità immobiliari adiacenti | ” | 17 |
| 2.4 $D_{2m,nT,w}$ - Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata | ” | 21 |
| 2.4.1 Determinazione di R'_w | ” | 24 |
| 2.4.2 Valutazione di ΔL_{fs} | ” | 25 |
| 2.5 $L'_{n,w}$ indice del livello di rumore da calpestio di solai | ” | 26 |
| 2.5.1 Determinazione di L_{nweq} | ” | 27 |
| 2.5.2 Determinazione di ΔL_w | ” | 27 |
| 2.5.3 Determinazione di K | ” | 28 |
| 2.6 Rumorosità prodotta da impianti | ” | 29 |
| 2.7 Rumore e Svalutazione degli Immobili | ” | 30 |

ACCA software S.p.A.
Via Michelangelo Cianciulli
83048 MONTELLA (AV) - Italy
Tel. (+39) 0827/69504 - Fax (+39) 0827/ 601235
Assistenza Tecnica Tel. (+39) 0827/ 601631
E-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it

ACCA software e gli Autori non si assumono alcuna responsabilità per danni diretti o indiretti eventualmente causati dall'uso delle informazioni contenute nella presente pubblicazione.

Questa pubblicazione, o parte di essa, non può essere riprodotta in nessuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza l'autorizzazione scritta di ACCA software S.p.A. e degli Autori.