

## Acustica edilizia

### Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Decreto del presidente del consiglio dei ministri 5 dicembre 1997

I requisiti acustici passivi degli edifici sono gli indicatori della loro capacità di tenere il rumore.

Tali requisiti entrano in gioco quando non è possibile ridurre alla sorgente il rumore ed è necessario ricorrere all'isolamento acustico. È importante determinare il comportamento sotto il profilo acustico dei materiali impiegati nell'edilizia, in particolare di quelli preposti alla realizzazione di pareti esterne, pareti divisorie, soffitti, finestre ecc.

Il DPCM sopraccitato determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici e i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro elementi in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.

Ai fini dell'applicazione del decreto gli ambienti abitativi sono distinti nelle categorie indicate nella tabella A allegata al decreto e qui sotto riportata, direttamente collegata alla tabella B di pagina tre nella quale sono elencati i valori dei requisiti acustici passivi degli edifici che analizzeremo nelle prossime pagine.

Categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili
Categoria B: edifici adibiti ad uffici e 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 A-CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI ABITATIVI-

### Coefficienti di riflessione, assorbimento e trasmissione

Se non incontra ostacoli durante il suo percorso un'onda sonora si propaga nel mezzo (ad esempio nell'aria) in modo indefinito fino ad esaurire la sua energia.

Esaminiamo ora il caso in cui un'onda viene a contatto con un materiale ad esempio quando investe una parete. Essa si suddivide in tre componenti:

onda riflessa

onda assorbita

onda trasmessa

Indichiamo ora con  $I_r$ ,  $I_a$  e  $I_t$  le intensità sonore delle tre componenti e con  $I_i$  l'intensità incidente cioè l'intensità che ha l'onda appena prima di entrare in contatto con il materiale.

Esprimendo questi concetti più formalmente si ottiene:

$$I_i = I_a + I_r + I_t \quad (1)$$

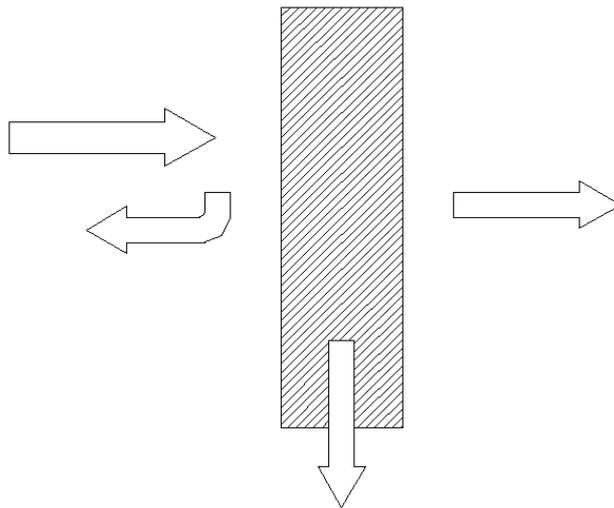
Dividendo per  $I_i$  entrambi i membri dell'equazione si trova:

$$\frac{I_a}{I_i} = a \text{ coefficiente di assorbimento del materiale}$$

$$\frac{I_r}{I_i} = r \text{ coefficiente di riflessione del materiale}$$

$$\frac{I_t}{I_i} = t \text{ coefficiente di trasmissione del materiale}$$

Schema della suddivisione dell'intensità incidente in 3 componenti:



Individuati tali coefficienti la (1) si può scrivere

$$r + a + t = 1 \quad (2)$$

e isolando il termine  $a$

$$a = 1 - r - t \quad (3)$$

otteniamo l'espressione del coefficiente di assorbimento. Tuttavia in acustica per valutare la capacità di assorbimento di un materiale è molto più usato il coefficiente di assorbimento apparente  $\alpha$ , il cui valore è:

$$\alpha = a + t = 1 - r \quad (4)$$

Per valutare la capacità di assorbimento di un materiale non importa la quantità di suono assorbito o trasmesso ad un ambiente esterno collegato, ma la quantità di onde riflesse; è anche per questo che tale coefficiente è detto di assorbimento apparente, in realtà, infatti, considera solo le onde riflesse e la condizione migliore si ha quando tutto il suono è assorbito dal materiale.

Il caso maggiore di assorbimento si ha quando  $r = 0$  e quindi  $\alpha = 1$ , in tal caso si parla di materiali perfettamente *Fonoassorbenti*, nel caso invece di  $\alpha = 0$  e  $r = 1$  si parla di materiali perfettamente *Riflettenti*. Facendo un esempio pratico, in una stanza il migliore materiale assorbente acusticamente sono le finestre aperte infatti l'aria è il materiale con minor coefficiente di riflessione acustica essendo la sua densità e consistenza molto piccole.

Altri materiali che offrono alto assorbimento sono i materiali espansi e in generale i materiali detti *Fonoassorbenti* cioè con valori di  $\alpha$  prossimi a 1. La caratteristica comune di questi materiali è che si lasciano attraversare dall'aria opponendo però resistenza presentando cioè alta impedenza per le onde sonore.

Tali materiali tendono ad incanalare le onde sonore in tanti cunicoli di piccolissime dimensioni smorzando le onde sonore per effetto del loro attrito contro le pareti di tali cunicoli.

## Isolamento acustico

Definiamo invece *Fonoisolante* un materiale con basso coefficiente  $t$ . Ad esempio una tenda appesa in una stanza è altamente fonoassorbente ma poco fonoisolante perché l'energia incidente viene in parte convertita in calore per attrito passando attraverso il tessuto e in gran parte viene trasmessa attraverso la tenda.

Un muro massiccio è invece molto fonoisolante ma poco fonoassorbente perché quasi tutta l'energia incidente viene riflessa.

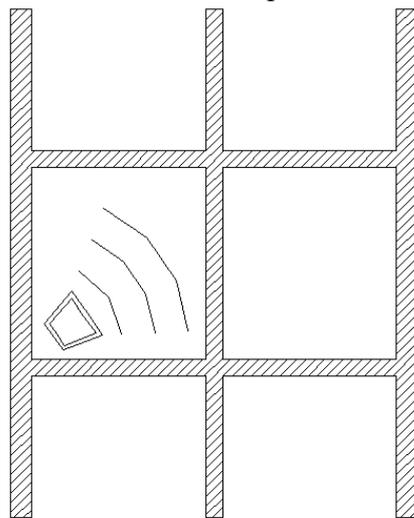
Categorie	$R^1$	$D_{2m,nt}$	$L_{n,w}$
1.D	55	45	58
2.A, C	50	40	63
3.E	50	48	58
4.B, F, G	50	42	55

TABELLA B: REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI

Il potere fonoisolante è una componente molto importante da considerare per la costruzione delle pareti di un edificio. Esso è definito dall'espressione

$$R = 10 \log \frac{1}{t} = -10 \log t \quad (5)$$

Consideriamo ad esempio la sezione di un edificio:



1

2

poniamo la sorgente del suono nella stanza 1 e il ricevitore nella stanza 2.

In tal caso avremo una quota di energia che passerà attraverso il divisorio. Ipotizziamo che il livello incidente sia  $L_1 = 90dB$  e che il livello trasmesso sia  $L_2 = 60dB$ .

La parete ha ridotto di 30 decibel il livello incidente. In realtà  $L_2$  sarà  $64dB$

Quindi più che  $R$  consideriamo  $R^1 = 26dB$  ossia il *Potere fonoisolante apparente*.  $R^1$  come  $R$  dipende molto dalla frequenza e dalla massa per unità di superficie ed è così definito:

$$R^1 = 10 \log \left( \frac{W_1}{W_2 + W_3} \right) dB \quad (6)$$

dove  $W_1$  rappresenta la potenza sonora incidente sulla parete di prova,  $W_2$  la potenza sonora trasmessa attraverso la parete di prova,  $W_3$  la potenza sonora trasmessa da elementi laterali o da altri componenti.

Tale valore è molto importante da considerare e varia a seconda della destinazione d'uso dell'edificio come si può vedere nella tabella B di pagina tre.

Ad esempio il valore del *potere fonoisolante apparente* che deve avere una parete che divide due appartamenti è di circa  $R^1 \geq 50dB$

La normativa che considera tale valore impone che la parete sia fatta seguendo certi criteri, che, nel caso non siano rispettati, possono causare la distruzione dell'edificio. Occorre quindi prestare molta attenzione al rispetto di tali normative.

Per l'ambiente ricevente esistono due parametri di fondamentale importanza da considerare.

-Le unità assorbenti

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i \quad (7)$$

al crescere delle quali il livello sonoro risulta sempre più basso.

-La superficie di tramezzo  $S_t$  che si misura in  $m^2$ , al crescere della quale il livello sonoro trasmesso aumenta. Come si può vedere dalla relazione

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S_t}{A} \quad (8)$$

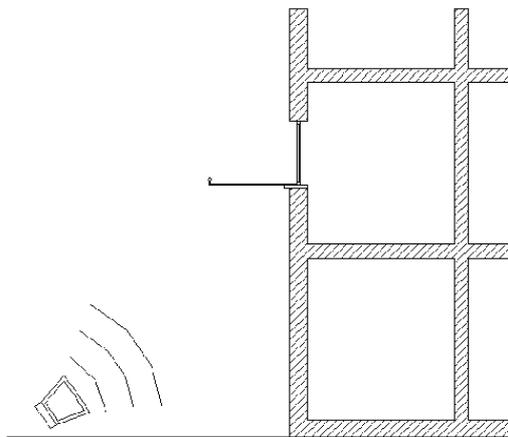
che non è altro che un'altra definizione della stessa grandezza  $R$  che si trova nel testo della norma UNI EN 140-3. Il parametro  $R$  è misurato dalla differenza dei livelli sonori nelle due stanze, ricevente ed emittente, tenendo conto dell'assorbimento della camera ricevente.

### Isolamento acustico di facciata

Esiste invece una grandezza definita semplicemente da  $L_1$  e  $L_2$ , tale grandezza indica l'isolamento acustico ed è data dall'espressione:

$$D = L_1 - L_2 \quad (9)$$

$D$  è usato per la valutazione delle facciate e principalmente per le finestre ad esempio poniamo un microfono fuori di una facciata a due metri di distanza da essa e ipotizziamo che esternamente all'edificio sia presente una sorgente sonora come in figura.



Il DPCM stabilisce che le prestazioni d'isolamento acustico delle facciate siano rilevate in opera secondo la norma UNI 107008-2 misurando l'isolamento acustico di facciata standardizzato  $D_{2m,nt}$  definito da:

$$D_{2m,nt} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T_{60}}{T_{riv}} \quad (10)$$

dove  $T_{riv}$  rappresenta il *tempo di riverberazione*. La riverberazione è la persistenza del suono in un ambiente chiuso dopo che la sorgente sonora ha cessato di irradiare, a causa della riflessione continuata del suono sulle pareti. Come vibrazione libera di risonanza con smorzamento, la riverberazione dipende dalle dimensioni e dalla forma dell'ambiente e dalla frequenza del suono. Il *tempo di riverberazione*  $T_{riv}$  ad una data frequenza è il tempo necessario (in secondi) perché la pressione acustica scenda a  $10^{-6}$  volte il suo valore originario (ossia un calo di 60 decibel) dopo che ha cessato di irradiare.

Se il *tempo di riverberazione* è troppo corto il suono non può essere abbastanza forte in tutto l'ambiente. Se è troppo lungo, si avranno degli echi.

Benché in teoria la massima intelligibilità si abbia con il minimo tempo di riverberazione, tempi di riverberazione troppo piccoli fanno diminuire l'intensità del suono nell'ambiente e quindi portano a scarsa intelligibilità. Il *tempo di riverberazione* è quindi una misura importante per una buona acustica ambientale.

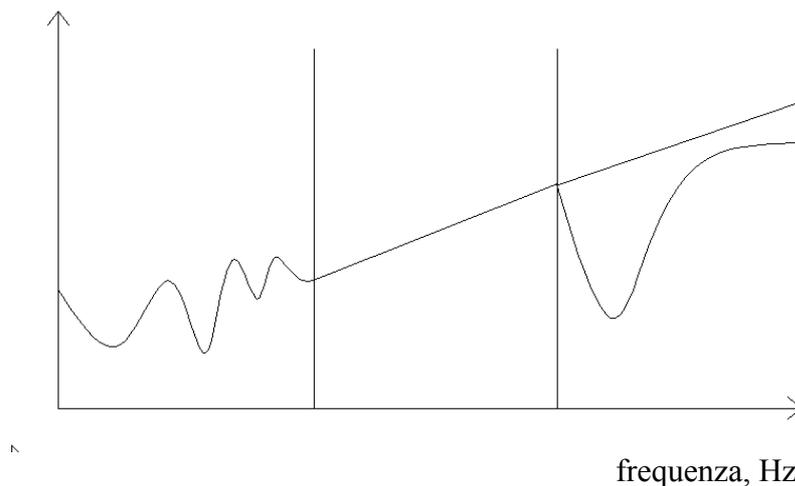
Tornando al concetto di isolamento  $D_{2m,nt}$  anche per la valutazione di questo requisito acustico passivo dobbiamo fare riferimento alla tabella B di pagina tre.

Da questa tabella ricaviamo che per gli edifici residenziali esso deve assumere valore

$$D_{2m,nt} \geq 40dB$$

Come possiamo vedere dal grafico il valore del parametro  $D$  cresce con la frequenza. La curva che rappresenta la sua crescita in funzione della frequenza può essere divisa in tre diverse regioni

D

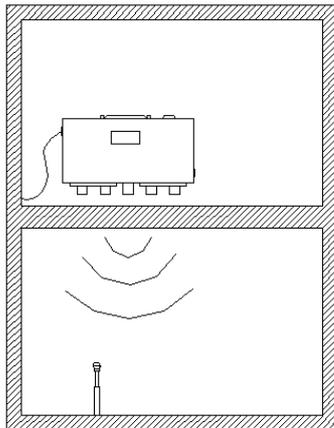


- a bassa frequenza si ha una registrazione di  $D$  instabile
- a circa metà grafico tale parametro aumenta in modo uniforme e il suo andamento è rappresentato da una linea retta
- ad alta frequenza si registra il fenomeno della coincidenza

## Calpestio

Esaminiamo ora il concetto di calpestio cioè della trasmissione di rumori tra un solaio e l'altro. Il rumore prodotto dalla sorgente viene trasmesso per via strutturale ovvero tramite vibrazioni dei corpi elastici e raggiunge il ricevitore in una diversa stanza dell'edificio.

Esiste uno strumento di misurazione del livello di calpestio chiamato *macchina di calpestio* che consiste in una cassetta di legno poggiata su martelli (5, di peso 500 g con interasse di 10 mm) che azionati dalla corrente attraverso una spina elettrica cominciano a martellare sul pavimento. Azionando al piano sottostante un microfono come in figura, è possibile misurare il *livello di calpestio* normalizzato sul tempo di riverberazione.



$$L_{cnt} = L_c - 10 \log \frac{T_{60}}{T_{riv}} \quad (11)$$

Tale valore deve essere il più piccolo possibile. Anch'esso è contenuto nella tabella B di pagina tre e nel caso di edifici residenziali deve assumere valore  $L_{cnt} \leq 63dB$

Abbiamo quindi definito il terzo requisito acustico che si deve considerare per la costruzione di un edificio.

Per ottenere un progetto ottimo dal punto di vista acustico è necessario eccedere sui valori di  $R^1$  e  $D$  e mantenere valori bassi per quest'ultimo parametro.

Essendo la frequenza variabile risulta difficile ottenere valori numerici precisi per ognuno di questi parametri quindi è necessario un indice di valutazione al quale fare riferimento. Per determinare l'indice di valutazione si utilizza la curva normalizzata ISO 717-1, le cui frequenze vanno da 100 Hz a 3150 Hz in intervalli di terzi d'ottava.

In Italia tutti i valori ottenuti si riferiscono a questa norma.

Ad esempio per la valutazione del parametro  $D$ , che abbiamo rappresentato nel grafico di pagina cinque, dobbiamo riferirci alla curva normalizzata ISO, con la quale dobbiamo pesare i livelli sperimentali traslandola verso il basso dB per dB. Andiamo sulla curva di isolamento a 500 Hz e li leggiamo il valore dell'indice di valutazione.

Questo tipo di verifica viene in genere eseguito da tecnici specializzati. Tale procedura si può evitare tramite l'utilizzo di materiali già verificati.

Esistono, infatti, pubblicazioni di schede tecniche dove sono elencati materiali che offrono soluzioni certificate che quindi danno la garanzia di essere in regola.

E quindi consigliabile l'utilizzo di soluzioni conformate omologate dai laboratori di prova.

## Assorbimento del suono

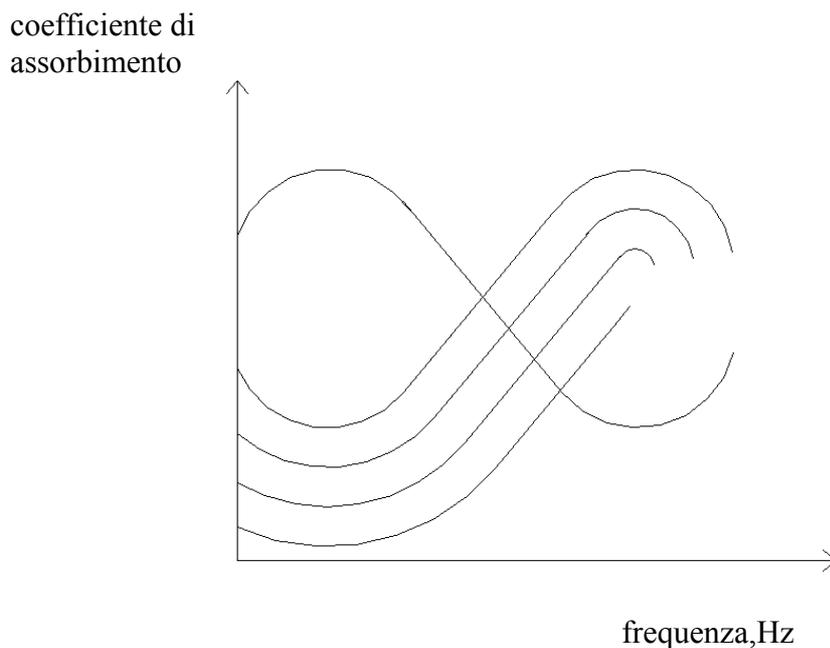
L'assorbimento del suono è un processo in cui l'energia acustica è trasformata in parte in calore (tramite l'attrito e la resistenza viscosa dei pori e delle fibre dei materiali acustici) e in parte in vibrazione meccanica dei materiali.

Nelle sale e negli edifici i suoni indesiderati possono essere assorbiti con drappaggi, tappeti, assorbitori spaziali sospesi e pannelli assorbenti.

Pannelli sottili con trappole d'aria e pannelli vibranti in legno sono usati per assorbire le basse frequenze.

Risonatori di Helmholtz e assorbitori a pannello risonatore sono dispositivi più efficaci per assorbire suoni che hanno le loro frequenze di risonanza.

Tuttavia la maggior parte dei materiali assorbe le alte frequenze, come si può osservare nel grafico.



Negli edifici i rumori trasmessi via aria entrano attraverso aperture e fessure, porte o finestre poco ermetiche, prese d'aria e condotti di scarico d'aria. Ciò pone in vibrazione anche pannelli e pareti.

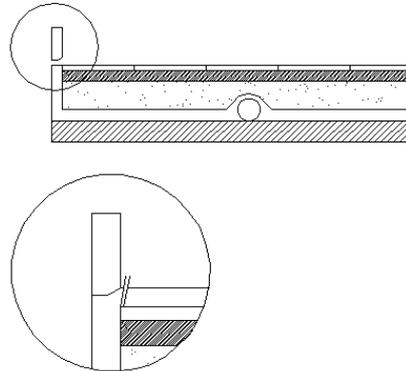
-I rumori trasmessi via aria possono essere ridotti interrompendo le loro vie di trasmissione, usando materiali assorbenti e circondando direttamente la sorgente con apparecchiature o protezioni che assorbono bene il suono.

-I rumori prodotti dalle strutture sono vibrazioni di corpi elastici. Essi si propagano attraverso pareti, pavimenti, soffitti, colonne, travi, tubazioni, condotti ed altre strutture solide. Dato che la quantità di energia che essi trasportano è molto maggiore di quella dei rumori trasmessi via aria, questi rumori devono essere soppressi alla sorgente. Le loro vie di trasmissione devono essere interrotte inserendo

giunti elastici, camere di espansione ecc. Le pareti devono presentare delle discontinuità ripiene di materiale assorbente.

Riassumendo per raggiungere buoni risultati si devono adottare soluzioni che aumentino le prestazioni acustiche.

Un buon esempio di isolamento acustico può essere il seguente:



La parte cerchiata rappresenta l'attaccatura tra il solaio e lo zoccolo.

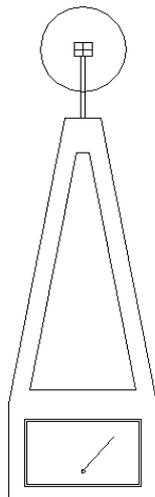
In un normale solaio composto di tubazioni, feltro elastico di 5-10 mm, getto di livellazione che segue le gobbe degli impianti, calcestruzzo con rete di 4 cm, pavimento incollato sulla soletta; seguire un piccolo accorgimento nella fase di applicazione del battiscopa può variare notevolmente le prestazioni acustiche.

Anziché applicare il battiscopa distanziato dal pavimento è opportuno inserire fra questi del materiale di calpestio.

## Prove d'isolamento-Strumenti

Il principale strumento utilizzato per le prove d'isolamento di facciata, di isolamento tra due locali ecc. è il fonometro.

Consiste in un macchinario dalla forma longilinea dotato di display grafico, sulla punta del quale si applica una capsula microfonica. Tale strumento esegue misure di lungo periodo tramite uno spettro che indica i valori in decibel.



E anche dotato di un analizzatore temporaneo che memorizza i livelli sonori in funzione del tempo o della frequenza.

Non registra suoni ma numeri. Ad esso (al posto del microfono singolo) può essere applicata una sonda intensimetrica dotata di due microfoni che permettono di misurare l'intensità sonora nelle sue componenti cartesiane.

Tramite la sonda intensimetrica è possibile mappare una parete per individuare con esattezza i punti acustici (spesso collocati nei giunti) tale operazione è di fondamentale importanza, attraverso le fessure infatti passa il novanta per cento dell'energia mentre solo il dieci per cento passa dalla parete.