

## **MISURE ACUSTICHE E RELATIVE NORMATIVE**

### **Argomenti trattati:**

- Introduzione al problema dell’isolamento acustico
- Normative di riferimento
- Vie di propagazione acustica
- Isolamento acustico per via aerea
- Isolamento acustico del calpestio
- Isolamento acustico di facciata
- Esercizi esemplificativi sulle misure acustiche

### **Introduzione al problema dell’isolamento acustico**

Sin dall’età classica, in particolare dal periodo di maggiore splendore della civiltà greca, la progettazione di strutture edili non può prescindere da un’attenta analisi acustica. Questo fatto, di per sé evidente quando la progettazione riguarda edifici come teatri o cinema, è facilmente riscontrabile anche in fase di progetto di strutture apparentemente meno legate al settore acustico, come ad esempio gli appartamenti residenziali.

Lo sviluppo dell’acustica negli ultimi decenni è stato notevole e di pari passo si sono sviluppate normative riguardanti diversi tipi di misure acustiche. Ciò si è reso necessario in quanto la crescita del livello sonoro, anche nelle zone urbane, ha subito una crescita esponenziale.

In questa sede verrà trattato il problema dell’isolamento acustico: saranno presentate le convenzioni per la misura dei diversi parametri riguardanti la normativa ad esso relativa, con l’aggiunta di vari esempi e di commenti sulle differenti legislazioni degli stati europei. Lo scopo generale è quello di minimizzare il livello sonoro negli ambienti limitrofi a sorgenti sonore indesiderate.

### **Normative di riferimento**

Sono di seguito elencate le normative cui faremo riferimento nel corso della trattazione, con a fianco un breve cenno agli argomenti cui si riferiscono:

- Legge 447 (Legge quadro sull’acustica)
- EN 20717 (Isolamento acustico degli edifici)
- EN 12354 (Prestazioni acustiche dei componenti)
- EN 20140 (Misure in opera e in laboratorio)
- EN 3022 (Prove di laboratorio)

- DPCM 14.11.97 (Limiti per le sorgenti sonore)
- DPCM 5.12.97 (Requisiti acustici passivi)
- Circolare 3150 del Ministero dei LLPP del 1967 (Requisiti acustici per le scuole)

La Legge 447 affida la compilazione delle normative tecniche all'UNI, il quale prende riferimento delle indicazioni ISO. Altri Paesi europei si basano sulle direttive ISO e questo permette una maggiore uniformità legislativa sul territorio continentale, con conseguenti vantaggi per le imprese costruttive, rispetto alle enormi differenze che caratterizzavano le diverse legislazioni statali fino a pochi decenni fa.

Analizziamo in questa sede le norme UNI EN 20140, UNI EN ISO 140 e il DPCM 5.12.97, dove gli edifici vengono divisi a seconda della loro funzione in diverse categorie e, per ciascuna di esse, sono fissati i requisiti acustici passivi. Ecco la tabella di riferimento:

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

**Tabella A:** classificazione degli ambienti abitativi

Di seguito presentiamo la tabella relativa ai requisiti acustici fissati dal decreto legge per le categorie sopra definite. Si possono facilmente notare due carenze di queste direttive: non è in alcun modo specificato se i requisiti indicati riguardano anche gli edifici già esistenti, inoltre non viene fatta alcuna distinzione, all'interno della stessa categoria, tra edifici situati in zone differenti, con il risultato che alcuni limiti sono troppo restrittivi ed altri insufficienti.

Categoria dell'edificio	Parametri				
	$R_w$ (*)	$D_{2m,nT,w}$	$L_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

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

**Tabella B:** requisiti acustici passivi

Per aiutare nella comprensione della Tabella B, i parametri che vi compaiono saranno definiti e commentati nei paragrafi successivi di questa relazione.

## Vie di propagazione acustica

Qualunque tipo di suono può essere trasmesso attraverso le pareti, il soffitto o il pavimento di un edificio, percorrendo cammini aerei oppure cammini strutturali. Convenzionalmente si distinguono le vie di propagazione sonora tra **via aerea** e **via strutturale**.

Questa distinzione non deve trarre in inganno: la propagazione avviene in entrambi i casi attraverso strutture solide, ma la struttura è sollecitata da onde sonore nel primo caso, mentre è sottoposta a forze applicate direttamente nel secondo. Ad esempio: le voci avvertite tra due stanze vicine sono trasmesse per via aerea; i passi del piano superiore sono trasmessi per via strutturale (sollecitazione del solaio).

Si parla invece di propagazione per **via diretta** quando l'onda di pressione sonora non incontra strutture in ostacolo alla propria propagazione.

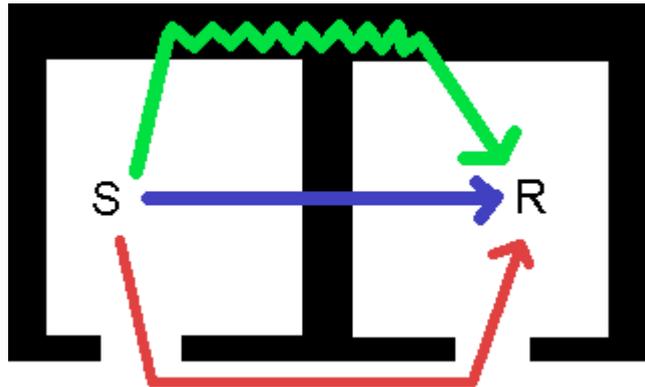


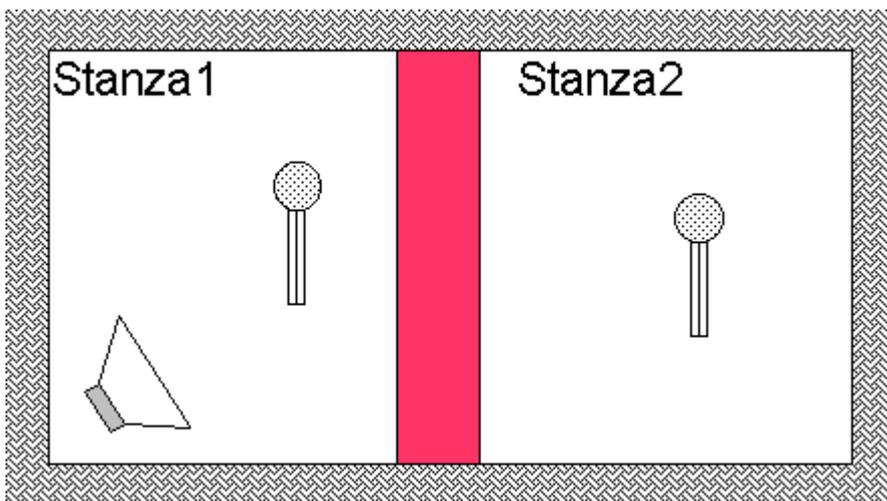
Figura 1: Propagazione sonora **diretta**, **aerea**, **strutturale**

## Isolamento acustico per via aerea

Una parete che separa due ambienti non impedisce la trasmissione dell'onda di pressione sonora: quando essa viene investita dall'onda comincia a vibrare e proprio tale campo di vibrazione provoca la diffusione del suono oltre la parete.

Per minimizzare il più possibile questo fenomeno è necessario limitare le possibilità di vibrazione della parete, il che implica uno studio accurato delle caratteristiche elastiche e dissipative dei materiali di costruzione. Un'analisi di questo tipo non può prescindere dalle misure in laboratorio per determinare le proprietà isolanti dei materiali, per stabilire dati di progetto o di specifica, per verificare la rispondenza dei materiali da costruzione alle normative in vigore.

Le **camere di prova** del laboratorio vengono costruite con l'intento di evitare ogni possibile fuga sonora, in modo che durante il test tutta l'energia pervenga nella camera ricevente esclusivamente attraverso la parete di prova. In genere la sorgente sonora emette rumore in banda larga, filtrato in terzi d'ottava. Il rumore rosa si addice a tale operazione in quanto l'energia trasmessa rimane costante, a patto di filtrare in terzi d'ottava. Si veda la Figura 2 per una schematizzazione del processo di test in laboratorio.



**Figura 2:** Test della parete separatrice entro una camera di prova

Il **potere fonoisolante  $R$**  di una parete è definito come dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra la potenza sonora  $W_1$  incidente sulla parete e la potenza sonora  $W_2$  trasmessa dalla parete al locale adiacente:

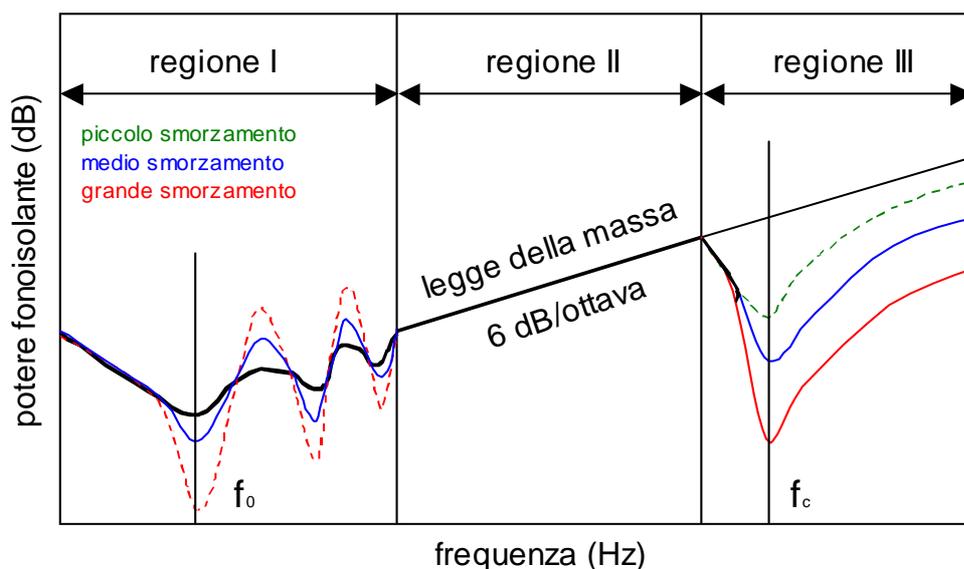
$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} (dB) \quad (1)$$

oppure:

$$R = 10 \log \frac{1}{t} (dB) \quad (2)$$

ricordando che  $t$  indica il coefficiente di trasmissione sonora della parete.

Il potere fonoisolante dipende dalla frequenza  $f$  del suono e viene pertanto misurato ottava per ottava. Il valore di  $R$  varia anche in funzione della densità superficiale  $\sigma$  della parete, ovvero in funzione della massa per unità di superficie del divisorio.



**Figura 3:** Dipendenza del potere fonoisolante dalla frequenza

La Figura 3 fornisce un'idea qualitativa di come il potere fonoisolante dipenda dalla frequenza  $f$  del suono, nel caso di una parete solida omogenea. Si notino i due tratti rettilinei: il primo è dovuto alla rigidità; nel secondo vale la legge di massa e  $R$  cresce di 6 dB per ottava.

Una definizione del potere fonoisolante alternativa alla (1) è contenuta all'interno della UNI EN 130-3 e permette una **misura in laboratorio** più semplice rispetto alla definizione originaria. La prova viene effettuata (Figura 2) separando due locali col provino da testare e ponendo una sorgente sonora in uno di essi, nell'ipotesi che l'unica parete che lasci passare energia sonora sia quella di prova. La definizione proposta nella normativa è la seguente:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_2} (dB) \quad (3)$$

essendo  $L_1$  e  $L_2$  i livelli di pressione sonora rispettivamente nella camera di emissione ed in quella ricevente, essendo  $S$  la superficie della parete di prova ed essendo  $A_2$  l'assorbimento della camera ricevente.

L'ultimo termine presente nella (3) è un fattore correttivo che tiene conto dell'assorbimento di energia sonora da parte delle pareti della camera ricevente. La misura diretta del valore di  $A_2$  non è semplice, ma è possibile ricavarlo dalla seguente relazione:

$$T_{R2} = 0.16 \frac{V_2}{A_2} (s) \quad (4)$$

dove  $V_2$  è il volume della camera ricevente e  $T_{R2}$  è il suo tempo di riverberazione.

Non sempre è possibile effettuare in laboratorio le misure delle grandezze riguardanti l'isolamento sonoro di una parete. Capita spesso, ad esempio, di dovere testare una parete di una costruzione già terminata, per verificare che rispetti le normative in vigore. In questi casi le misure realizzate vengono dette **misure in campo** o **misure in situ**.

Le grandezze ottenute con queste **misure in opera** sono indicate con un apice, come si può facilmente vedere nelle definizioni che seguono.

Il **potere fonoisolante apparente  $R'$**  è definito come dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra la potenza sonora  $W_1$  incidente sulla parete di prova e la potenza sonora trasmessa alla camera ricevente, data dalla somma di  $W_2$  (potenza trasmessa dalla parete di prova) e  $W_3$  (potenza trasmessa da altri elementi):

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3} (dB) \quad (5)$$

La già citata UNI EN 130-3 propone per la misura di  $R'$  la stessa formula (2) usata per  $R$ , non essendo ovviamente possibile con misure in opera distinguere la potenza sonora trasmessa dalla parete di prova dalla potenza sonora trasmessa da elementi secondari della struttura.

Il valore del potere fonoisolante apparente dipende strettamente dalla frequenza del suono ed è pertanto misurato ottava per ottava. Per ovviare a questo inconveniente e giungere ad un indice convenzionale si introduce, come vedremo poco più avanti, la frequenza di 500Hz come frequenza di riferimento per le misure di questo tipo. Il valore di  $R'$  dipende anche della densità superficiale della parete di prova.

Altre definizioni sono presenti nella UNI EN 20140-4 e riguardano **l'isolamento acustico  $D$** :

$$D = L_1 - L_2 (dB) \quad (6)$$

Il valore di  $D$  può essere normalizzato in due modi diversi, facendo riferimento al tempo di riverbero  $T$  della camera ricevente:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5} (dB) \quad (7)$$

oppure al suo isolamento acustico **A**:

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{10} (dB) \quad (8)$$

Le espressioni (7) e (8) delle **differenze standardizzate dei livelli sonori** vengono utilizzate soprattutto in locali di dimensioni elevate, mentre per stanze più piccole si preferisce fare riferimento al potere fonoisolante apparente, in genere più restrittivo.

Per avere a disposizione un valore di **R** indipendente dalla frequenza del suono il DPCM 5.12.97 definisce l'**indice del potere fonoisolante  $R_w$** . Le modalità per calcolarlo sono contenute nella norma UNI 8270, che fa riferimento ai valori della curva normalizzata ISO 717-1 che presenta frequenze in intervalli di terzi d'ottava da 100Hz a 3150Hz.

<b>R (dB)</b>	33	36	39	42	45	48	51	52
<b>Frequenza (Hz)</b>	100	125	160	200	250	315	400	500
<b>R (dB)</b>	53	54	55	56	56	56	56	56
<b>Frequenza (Hz)</b>	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150

**Tabella C:** curva ISO 717-1

Si supponga di avere misurato un valore di **R** per un totale di **N** frequenze contenute nell'intervallo tra 100Hz e 3150Hz. Si considerino le **n** frequenze per le quali il valore sperimentale del potere fonoisolante è minore di quello ISO e si sommino tali scostamenti positivi tra il valore teorico e quello in opera. Si consideri la disuguaglianza:

$$\frac{\sum_1^n (R_{rif} - R_{sper})}{N} \leq 2 \quad (9)$$

Nel caso in cui la (9) non sia verificata è necessario traslare di un dB verso il basso la curva di riferimento e riprovare a verificare la (9). Si prosegue con questo procedimento ricorsivo finché la (9) è verificata; a questo punto si pone per convenzione il valore di  **$R_w$**  pari al valore di **R** corrispondente alla frequenza di 500Hz sulla curva ISO traslata sino a verificare la (9).

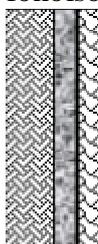
Presentiamo di seguito una tabella sull'indice del potere fonoisolante per i materiali di uso più comune nell'edilizia moderna:

<b>Tipo di divisorio</b>	<b>R (in dB) alle frequenze (Hz)</b>						<b><math>R_w</math></b>
	125	250	500	1000	2000	4000	
Parete di mattoni piena intonacata (s=12 cm, p=220 kg/m <sup>2</sup> )	34	35	40	50	55	57	45
Parete di mattoni piena intonacata (s=24 cm, p=440 kg/m <sup>2</sup> )	40	44	50	56	57	57	54
Parete di mattoni forati (s=28 cm)	37	43	52	60	64	65	57
Parete in calcestruzzo intonacata (s=18 cm, p=440 kg/m <sup>2</sup> )	40	42	50	58	66	68	54

Parete in calcestruzzo (2 strati di 5 cm, separati da intercapedine di 2,5 cm)	37	40	44	50	56	62	49
Parete in calcestruzzo (2 strati di 7,5 cm, separati da intercapedine di 7,5 cm)	37	40	50	54	56	63	52
Divisorio in gesso-perlite (s=5 cm, p=49 kg/m <sup>2</sup> )	26	28	30	31	42	47	33
Divisorio in gesso-perlite (s=6,3 cm, p=107 kg/m <sup>2</sup> )	31	30	29	35	45	52	34
Tramezzo mobile	15	22	26	27	33	35	29
Tramezzo mobile munito di pannelli vetrati (cristallo 7-9 mm di spessore)	17	20	25	24	28	28	26
Tramezzo mobile munito di pannelli vetrati con doppio cristallo (2 lastre uguali distanti 1 cm)	17	20	23	33	33	33	25
Tramezzo mobile munito di pannelli vetrati con doppio cristallo (2 lastre di diverso spessore distanti 4 cm)	22	27	30	30	36	38	32
Doppia finestra	16	24	36	50	54	58	36

**Tabella D**

Sulla base dello studio dei vari parametri introdotti in questo paragrafo, possiamo trarre alcune conclusioni circa le migliori pareti in fatto di isolamento acustico. Attualmente il potere fonoisolante migliore, in rapporto alla complessità realizzativa, è garantito dalle **pareti doppie**. Queste sono costituite da due tramezzi non rigidamente connessi, separati da un'intercapedine che, per evitare fenomeni di risonanza, può essere vuota oppure riempita con materiale fonoassorbente, quale ad esempio la lana di roccia o il polistirolo. La somma del potere fonoisolante dei singoli tramezzi dà un'ottima approssimazione del potere fonoisolante complessivo della parete doppia.

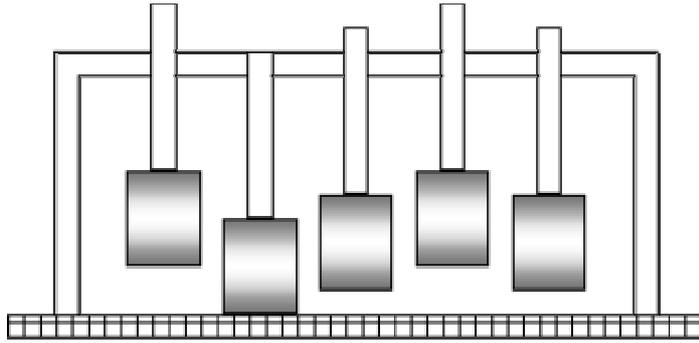


**Figura 4:** Sezione di una parete doppia con tramezzi separati da lana di roccia

## Isolamento acustico del calpestio

In questo paragrafo studieremo le proprietà fonoisolanti di un divisorio orizzontale, spesso detto anche **solaio**. La nostra analisi si disinteressa del rumore prodotto in aria nell'ambiente superiore e si sposta sul rumore che, generato dal **calpestio** sulla superficie divisoria, si trasmette al piano inferiore.

A tale scopo, nella stanza superiore non viene posto un altoparlante ma una macchina apposita che solleciti il solaio. Le caratteristiche tecniche della **macchina per calpestio** sono definite dalla legge in maniera tale che questa produca un rumore standardizzato. La macchina (Figura 5) è costituita da cinque martelli cilindrici d'acciaio, pesanti 500g ciascuno, posti in linea, con distanza interasse di 100 mm. I martelli vengono fatti cadere da un'altezza di 40 mm con cadenza casuale, al ritmo medio di dieci colpi al secondo. Al piano sottostante il livello di pressione sonora è misurato con una rete di microfoni, in modo da avere un valore medio. Infine il segnale viene filtrato in bande di terzi d'ottava e memorizzato.

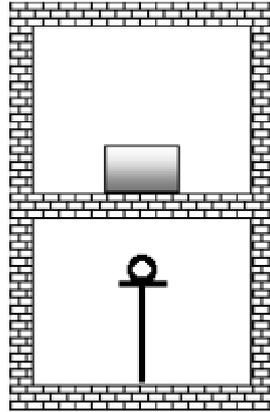


**Figura 5:** Macchina per calpestio

La norma UNI EN ISO 140-6 si riferisce alle misure in laboratorio e definisce il **livello di pressione sonora da impatto normalizzato**  $L_n$  di un pavimento di  $10 \text{ m}^2$  senza trasmissioni laterali:

$$L_n = L_2 + 10 \log \frac{A_2}{10} (dB) \quad (10)$$

essendo  $L_2$  il livello di pressione sonora nel locale al piano inferiore ed essendo  $A_2$  l'assorbimento dello stesso locale, che si può calcolare mediante la (4) noti il volume  $V_2$  e il tempo di riverbero  $T_{R2}$ .



**Figura 6:** Macchina per calpestio sul solaio e microfoni al piano inferiore

La norma UNI EN ISO 140-7 si riferisce alle misure in situ e definisce il **livello di pressione sonora da impatto normalizzato**  $L'_n$  nello stesso modo in cui la (10) definisce  $L_n$ .

La stessa norma definisce anche il **livello di pressione sonora da impatto standardizzato**  $L'_{nT}$ , sfruttando come fattore correttivo il tempo di riverbero  $T_{R2}$ :

$$L'_{nT} = L_2 - 10 \log \frac{T_{R2}}{0.5} (dB) \quad (11)$$

Ovviamente i livelli definiti da (10) e (11) dipendono strettamente dalla frequenza del suono e, per avere a disposizione un indice di riferimento indipendente dalla frequenza, la norma UNI 8270 introduce l'**indice di valutazione**  $L_{n,w}$ , analogamente a quanto fatto per il potere fonoisolante. Si utilizza la curva normalizzata ISO 717-2 (Tabella E), trasladola verso l'alto di un dB, fino a quando la somma delle differenze positive tra la curva sperimentale e la curva ISO è minore di 32 (con le frequenze in terzi di ottava).  $L_{n,w}$  è definito dal valore della curva di riferimento assunto alla frequenza di 500Hz.

<b>L<sub>n</sub> (dB)</b>	46	46	46	46	46	46	45	44
<b>Frequenza (Hz)</b>	100	125	160	200	250	315	400	500
<b>L<sub>n</sub> (dB)</b>	43	42	41	38	35	32	29	26
<b>Frequenza (Hz)</b>	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150

**Tabella E:** curva ISO 717-2

## Isolamento acustico di facciata

Fino ad ora ci siamo occupati dell'isolamento acustico tra due locali separati da una parete o da un solaio, mentre in questo paragrafo ci dedicheremo all'analisi dell'isolamento acustico di facciata, ovvero alla misura dei parametri di energia sonora trasmessa all'interno di un edificio dall'ambiente esterno.

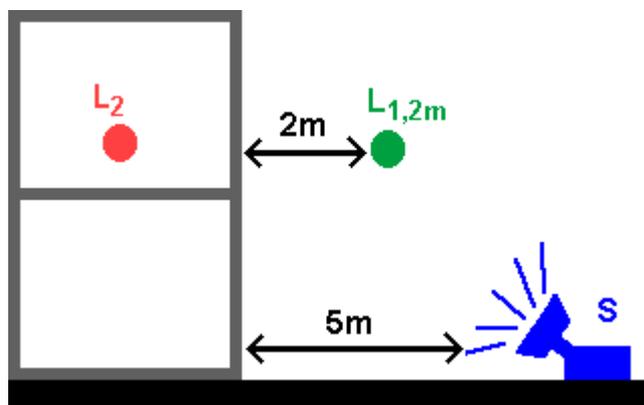
Il DPCM 5.12.97 indica come riferimento per l'isolamento acustico di facciata la norma UNI 107008-2 e specifica le modalità di misura dell'**isolamento acustico di facciata standardizzato**  $D_{2m,nT}$ . Per il suo calcolo va considerata la differenza tra il livello di pressione sonora esterno ( $L_{1,2m}$ ), misurato a 2 metri dalla facciata, e il livello medio nell'ambiente ricevente ( $L_2$ ), che si calcola a partire dai livelli misurati con la formula:

$$L_2 = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} (dB) \quad (12)$$

Le misure dei livelli  $L_i$  che compaiono nella (12) vanno effettuate  $n$  volte per ciascuna banda di terzi d'ottava, con  $n$  numero intero superiore a un decimo del volume dell'ambiente, con valore minimo uguale a 5. A questo punto si normalizza con il tempo di riverberazione dell'ambiente ricevente ( $T$ ) e si ottiene  $D_{2m,nT}$ :

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5} (dB) \quad (13)$$

E' importante ricordare che come sorgente sonora esterna, qualora non siano sufficienti gli abituali rumori d'ambiente, si usa impiegare un altoparlante dodecaedrico con incidenza a  $45^\circ$ , posto a cinque metri dalla facciata, che costituisce una valida simulazione di una fonte omnidirezionale.



**Figura 7**

Nel campo dell'isolamento acustico da facciata, le differenze nelle normative dei vari paesi europei sono notevoli. Germania e Austria, per specificare i valori discriminanti per la prestazione acustica di una facciata, utilizzano un parametro che è dato dalla media pesata del potere fonoisolante dei vari componenti della facciata. Tale parametro è confrontabile con  $D_{2m,nT}$  a meno di termini correttivi che tengono conto delle dimensioni dell'ambiente interno, della forma della facciata e della trasmissione sonora laterale. Danimarca e Svezia impongono solo valori massimi per il livello sonoro all'interno dell'edificio, mentre la Francia utilizza un parametro equivalente al nostro.

## Esercizi esemplificativi sulle misure acustiche

Vista la particolarità delle normative trattate nei paragrafi precedenti, è vivamente consigliata la lettura degli esercizi esemplificativi proposti di seguito, allo scopo di prendere confidenza con questo argomento ostico e poco intuitivo.

Gli esercizi sono risolti e commentati, facendo preciso riferimento alle definizioni ed alle relazioni presentate in precedenza, che vengono richiamate sfruttando la numerazione progressiva delle formule.

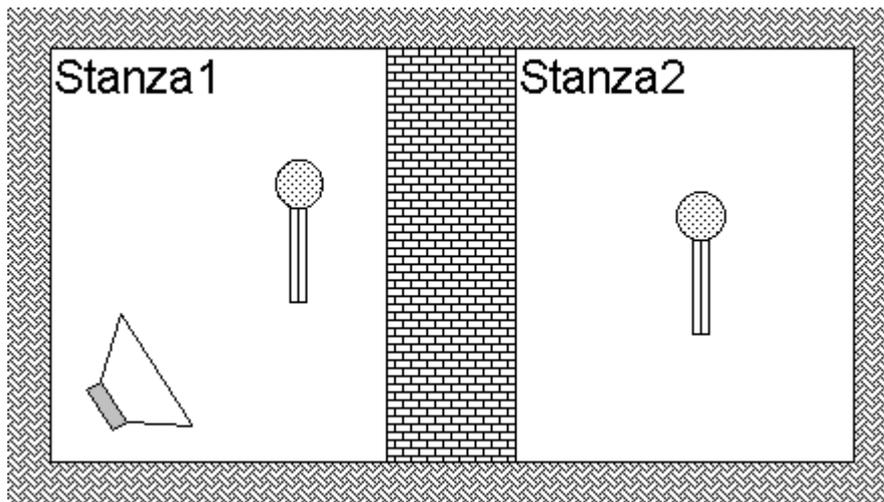
Per rendere maggiormente interattiva la risoluzione di alcuni esercizi, vengono messi a disposizione fogli di calcolo che minimizzano i tempi degli algoritmi ricorsivi.

Sono proposti esercizi sui seguenti argomenti:

- Livello sonoro
- Potere fonoisolante
- Tempo di riverbero
- Indici di valutazione
- Algoritmi ricorsivi

## ESERCIZIO 1: Determinazione del potere fonoisolante

Determinare il potere fonoisolante della parete che separa le due stanze in Figura 8, conoscendo la superficie  $S_P$  del provino, il volume  $V_2$  e il tempo di riverbero  $T_{R2}$  della Stanza2. Si sa inoltre che la misura è effettuata a 500 Hz e sono noti i livelli sonori  $L_1$  e  $L_2$  rilevati nelle due stanze.



**Figura 8**

**DATI:**

$L_1 = 80 \text{ dB}$ ,  $L_2 = 55 \text{ dB}$ ,  $T_{R2} = 2.5 \text{ s}$ ,  $S_P = 10 \text{ m}^2$ ,  $V_2 = 50 \text{ m}^3$

**SOLUZIONE:**

Ricordiamo l'espressione generale (3) del potere fonoisolante:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S_P}{A_2} \text{ (dB)} \quad (3)$$

Tutte le grandezze che compaiono in tale relazione sono a noi note, ad eccezione della superficie  $A_2$ . Possiamo ricavare  $A_2$  sfruttando la relazione (4) che la lega al tempo di riverbero e al volume della stanza:

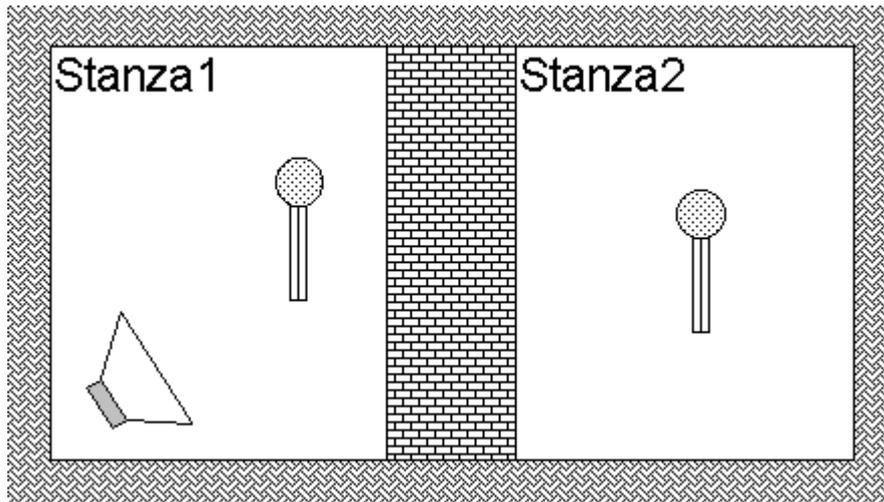
$$A_2 = 0.16 \frac{V_2}{T_{R2}} \text{ m}^2 = 0.16 \frac{50}{2.5} \text{ m}^2 = 3.2 \text{ m}^2 \quad (14)$$

A questo punto abbiamo tutti i dati necessari per giungere al risultato finale:

$$R = 80 - 55 + 10 \log \frac{10}{3.2} = 29.9 \text{ dB} \quad (15)$$

**ESERCIZIO 2: Determinazione del livello sonoro**

Nella Stanza1 è presente una sorgente sonora. Siano  $V_1$  e  $V_2$  i volumi delle due stanze, sia  $S_P$  la superficie del provino, siano  $T_{R1}$  e  $T_{R2}$  i tempi di riverbero caratteristici dei due ambienti, sia  $t$  il coefficiente di trasmissione del divisorio e sia  $W$  l'intensità sonora della sorgente.



**Figura 9**

**DATI:**

$V_1= 50m^3$ ,  $V_2=60m^3$ ,  $S_P=10m^2$ ,  $T_{R1}=1.6s$ ,  $T_{R2}= 2s$ ,  $t= 0.01$ ,  $W=1w$

**SOLUZIONE:**

Da (3) si ricava direttamente:

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log \frac{S_P}{A_2} (dB) \quad (16)$$

Dall'equazione del campo riverberante ottengo:

$$L_1 = L_w + 10 \log \frac{4}{A_1} (dB) \quad (17)$$

Per definizione si ha:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{10^{-12}} (dB) \quad (18)$$

Posso inoltre ricavare  $A_1$  e  $A_2$  mediante la relazione (4) tra tempo di riverbero e volume. Per ottenere il potere fonoisolante devo ricordare la (2).

A questo punto ho a disposizione tutti i dati per giungere al risultato finale:

$$L_2 = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} + 10 \log \frac{4 \times 1,6}{0,16 \times 50} + 10 \log 0,01 + 10 \log \frac{10 \times 2}{0,16 \times 60} = 102,2 dB \quad (19)$$

**ESERCIZIO 3: Determinazione di  $D_{n,w}$**

In base ai dati in tabella si chiede di determinare  $D_{n,w}$  sapendo che il volume della Stanza2 è  $V_2=50m^3$ .

<b>Frequenza (Hz)</b>	125	250	500	1000	2000
<b><math>L_1</math> (dB)</b>	80	85	87	88	88

<b>L<sub>2</sub> (dB)</b>	50	45	38	30	35
<b>T<sub>R2</sub> (dB)</b>	1	0.8	0.6	0.4	0.3
<b>Curva ISO (dB)</b>	36	45	52	55	56

**Tabella F**

**SOLUZIONE:**

Per ottenere i valori di **D<sub>n</sub>** possiamo sfruttare le seguente relazione:

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{10} \quad (20)$$

Conoscendo il tempo di riverbero, è possibile calcolare **A** alle diverse frequenze mediante (4).

In questo modo ottengo:

<b>Frequenza (Hz)</b>	125	250	500	1000	2000
<b>D<sub>n</sub> (dB)</b>	31	40	47.8	55	48.7

**Tabella G**

A questo punto devo considerare le frequenze in cui il valore di riferimento ISO supera il valore sperimentale, sommare i valori di tali scostamenti e dividere la loro somma per 5. Ottengo:

$$\frac{5 + 5 + 4.2 + 7.3}{5} = 4.3 \quad (21)$$

Essendo 4.3 maggiore di 2, devo continuare a traslare di un dB verso il basso la curva ISO, finché il procedimento appena illustrato porta ad un risultato minore di 2. A questo punto si assume come valore di **D<sub>n,w</sub>** il valore della curva traslata relativo alla frequenza di 500Hz.

Come si può facilmente verificare con l'ausilio del seguente foglio di calcolo, il risultato del problema è **D<sub>n,w</sub>=49dB**. Il foglio di calcolo permette di inserire da tastiera il valore della traslazione verso il basso della curva ISO e calcola gli scostamenti dalla curva sperimentale. L'indice di valutazione è tanto più accurato quanto più la somma degli scostamenti positivi è prossima a 10.

Ecco l'ausiliare foglio di calcolo:



problema3.xls

(allegato nello ZIP)

**ESERCIZIO 4: Determinazione di L'<sub>n,w</sub>**

Vengono date per 5 frequenze la curva sperimentale **L'<sub>n</sub>** e la curva di riferimento ISO. Si chiede di calcolare il valore di **L'<sub>n,w</sub>**.

<b>Frequenza (Hz)</b>	125	250	500	1000	2000
<b>L'<sub>n</sub> (dB)</b>	50	52	53	52	43
<b>Curva ISO (dB)</b>	67	67	65	62	49

## Tabella H

### SOLUZIONE:

Dobbiamo considerare le frequenze in cui il valore sperimentale supera il valore di riferimento ISO, sommare i valori di tali scostamenti e dividere la somma per 5.

Nel nostro caso, a tutte le frequenze i valori ISO superano quelli sperimentali: dobbiamo pertanto continuare a traslare di un dB verso il basso la curva di riferimento, finché il procedimento appena illustrato porta ad un valore il più possibile prossimo a 2. A questo punto si assume come valore di  $L'_{n,w}$  il valore della curva traslata relativo alla frequenza di 500Hz.

Come ausilio ai calcoli è utile il seguente foglio di calcolo:



problema4.xls

(allegato nello ZIP)

Il foglio di calcolo permette di variare la traslazione verso il basso della curva ISO e calcola gli scostamenti dalla curva sperimentale. Nella cella “Indice di valutazione” è possibile trovare il risultato del problema. Esso è tanto più accurato quanto più la somma degli scostamenti positivi è prossima a 10. Nel nostro caso risulta:  $L'_{n,w}=52\text{dB}$

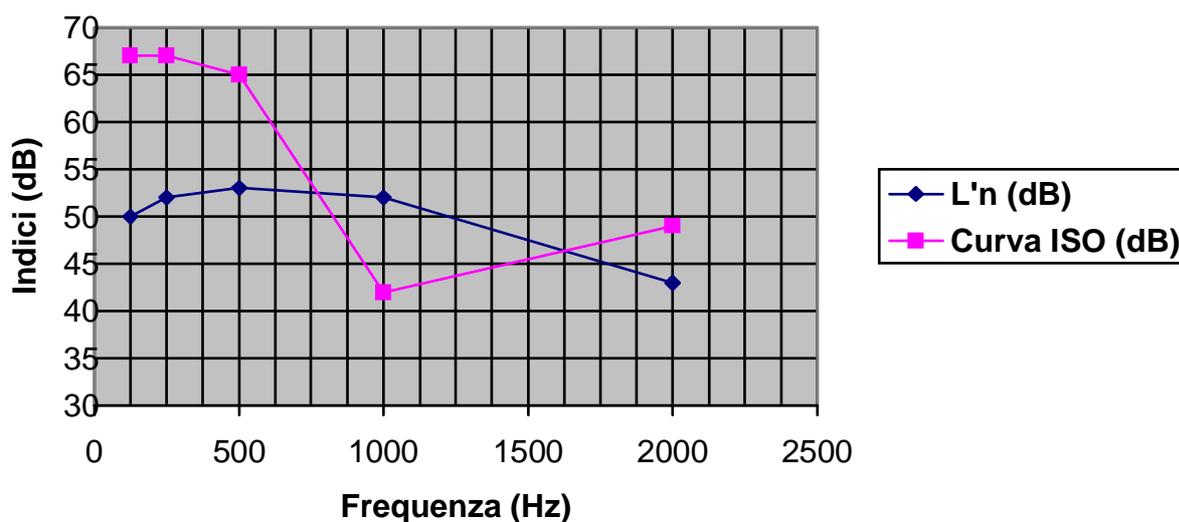


Figura 10