

Misure acustiche nell'edilizia

Argomenti trattati:

- Normativa di riferimento
- Isolamento acustico per via aerea
- Isolamento acustico di facciata
- Isolamento acustico del suono d'impatto
- Isolamento dal rumore prodotto dagli impianti tecnologici
- Esercizi sull'isolamento

Introduzione

L'influenza dell'acustica sulla progettazione degli edifici può essere osservata attraverso i secoli, dagli antichi Greci nei loro teatri all'aria aperta fino ai giorni nostri, negli edifici in cui trascorriamo buona parte del nostro tempo per lavorare e durante il tempo libero o in casa.

La grande differenza rispetto all'ambiente in cui vivevano gli antichi Greci, è che noi oggi siamo esposti ad un numero sempre crescente di rumori provenienti dal vicinato, dalle industrie, dal traffico.

Esiste una divisione naturale nel campo dell'acustica architettonica: una parte si occupa della distribuzione sonora, della riproduzione sonora, dei tempi ottimali di riverbero all'interno di un ambiente e così via, l'altra parte interviene tra una stanza e l'ambiente esterno, che può essere rappresentato da un altro locale o dall'esterno dell'edificio stesso, e riguarda l'isolamento sonoro tra due ambienti, trasmissioni di varia natura, come calpestio, installazioni rumorose, traffico cittadino, ecc.

Normativa di riferimento

- EN 20717 Isolamento acustico degli edifici
- EN 12354 Stima delle prestazioni acustiche dei componenti
- EN 20140 Misure in opera e in laboratorio
- EN 3022 Prove di laboratorio sulle apparecchiature
- Legge 447 Legge quadro sull'acustica
- DPCM 14.11.97 Limite per le sorgenti sonore
- DPCM 5.12.97 Requisiti acustici passivi degli edifici
- Circolare 3150 del Ministero dei LLPP del 1967 sui requisiti acustici per le scuole

La legge quadro 447 prevede l'emanazione di diversi decreti e affida all'UNI la compilazione delle necessarie norme tecniche. L'UNI recepisce tali norme dal CEN che a sua volta le recepisce dall'ISO, così in tutti i Paesi le regole sono pressoché identiche, quindi più comprensibili, inoltre le imprese sono più agevolate nel lavoro.

In particolare c'interessano le norme UNI EN 20140 e UNI EN ISO 140 e il DPCM 5.12.97 che individua diverse tipologie di edifici e ne fissa, per ciascuna, i requisiti acustici passivi. Ci sono alcune osservazioni riguardanti il decreto: i livelli per ogni categoria sono fissati indipendentemente dalla zona in cui l'edificio è situato; in tal modo la stessa specifica può essere troppo restrittiva o insufficiente,

inoltre i livelli d'isolamento prescritti per alcuni edifici sono molto meno severi dei livelli prescritti per gli impianti. Infine non è chiarito l'ambito di applicazione e quindi potrebbe ritenersi esteso anche a edifici già esistenti.

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 A
Classificazione ambienti abitativi

Categorie di cui alla Tab. A	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

Tabella B
Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

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

Un qualsiasi suono, di origine interna o esterna ad un edificio si trasmette attraverso le pareti, il soffitto o il pavimento percorrendo sia cammini aerei che strutturali. E' usuale distinguere il suono, che generato in un ambiente si propaga in un altro, in suono generato **per via aerea** o **per via strutturale**. Entrambi coinvolgono la propagazione attraverso strutture solide solo che nel primo tipo la struttura è eccitata da onde sonore, nel secondo tipo da forze applicate direttamente. Ad esempio le voci avvertite in una stanza vicina sono suoni generati per via aerea, i passi al piano superiore sono generati per via strutturale.

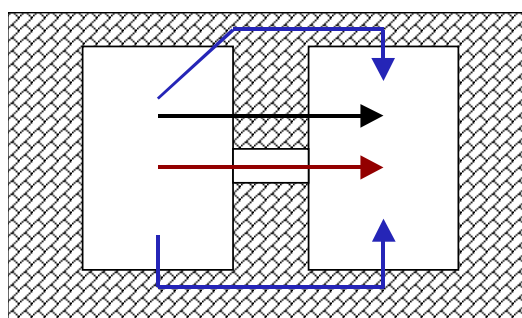


Figura 1

Modi di trasmissione del suono tra due stanze:

- per via diretta;
- fuga acustica;
- per vie strutturali.

Isolamento acustico per via aerea

Una parete che separa due ambienti, quando è investita da onde sonore, è forzata a vibrare e il campo di vibrazione che consegue è il diretto responsabile della propagazione del suono nei locali adiacenti. Per “limitare i danni” bisogna ridurre l’ampiezza delle vibrazioni, e qui entrano in gioco le proprietà dinamiche della struttura, quelle elastiche, quelle inerziali e quelle dissipative.

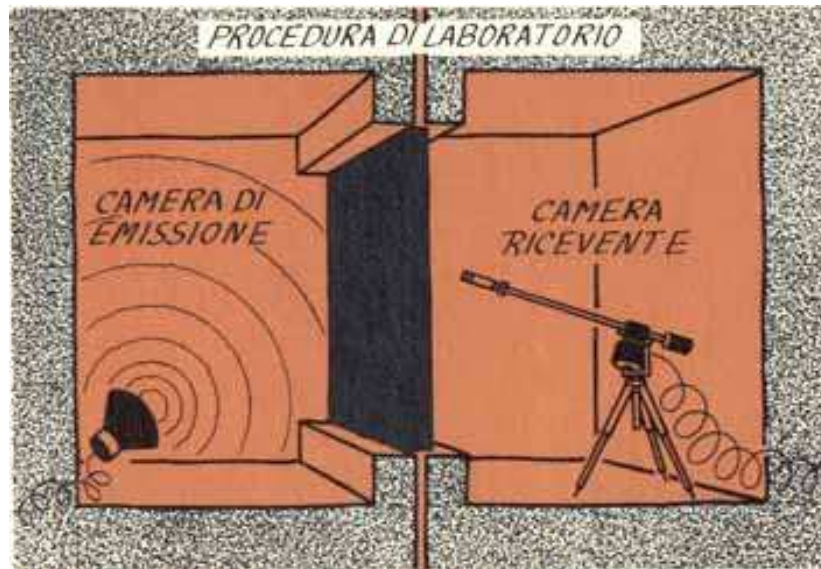


Figura 2

Misure in laboratorio: le misure in laboratorio (fig. 2) vengono effettuate per determinare le proprietà isolanti dei materiali o per indagini tendenti a stabilire dati di progetto o di specifica. Possono anche servire a stabilire la rispondenza dei materiali da costruzione alle normative internazionali o locali.

Le camere di prova del laboratorio vengono costruite prestando la massima attenzione ad evitare ogni possibile fuga, in modo che durante il test tutta l’energia pervenga nella camera ricevente esclusivamente attraverso la parete di prova. Solitamente la fonte di suono emette rumore in banda larga filtrato in terzi d’ottava, ad esempio il rumore rosa si addice a tale operazione perché usando i filtri in terzi d’ottava l’energia trasmessa rimane costante. La misura della pressione sonora è effettuata sia nella camera ricevente sia in quella emittente tramite fonometri a valle dei quali avviene la registrazione dei livelli dei segnali.

Il **potere fonoisolante R** è definito come dieci volte il logaritmo in base dieci del rapporto tra potenza sonora incidente W_1 sulla parete e potenza sonora W_2 trasmessa dal provino alla stanza adiacente

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

Il potere fonoisolante dipende dalla frequenza f del suono, infatti è misurato ottava per ottava, e anche dalla densità superficiale σ del divisorio cioè dalla massa per unità di superficie. Per una parete solida omogenea, la curva del potere

fonoisolante in funzione della frequenza, può essere divisa in diverse regioni secondo l'influenza delle caratteristiche specifiche della parete sulla riduzione sonora come in fig. 3.

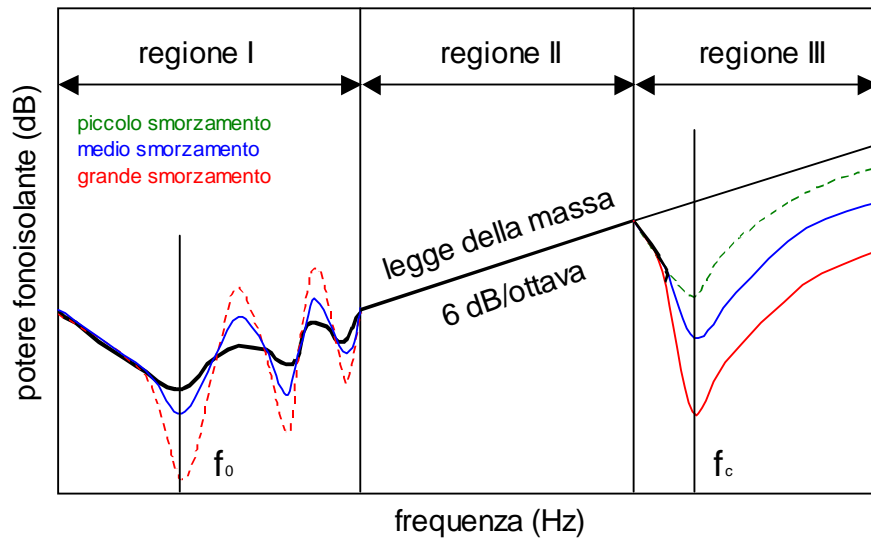


Figura 3

- Regione I: tratto discendente **rigidità**, tratto oscillante **fenomeno della risonanza**;
- Regione II: **R** è descritto dalla **legge di massa** e aumenta di 6 dB per ogni ottava;
- Regione III: **fenomeno della coincidenza**.

Un'altra definizione della stessa grandezza **R** si trova nel testo della norma UNI EN 140-3, che è derivata dalla (1) sotto le condizioni di diffusione dei campi sonori nelle due stanze e d'irraggiamento del suono nella camera ricevente solo da parte del provino; solitamente questa condizione è ottenuta tramite giunti elastici che isolano il provino dal resto del laboratorio. Il parametro **R** è misurato dalla differenza dei livelli sonori nelle due stanze, ricevente ed emittente, tenendo conto dell'assorbimento della camera ricevente.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_2} \text{ dB} \quad (2)$$

L_1 = livello pressione sonora camera di emissione

L_2 = livello pressione sonora camera ricevente

S = area della parete di divisione

A_2 = assorbimento camera ricevente

Il fattore di correzione per misure in laboratorio include la superficie del campione in prova S e l'assorbimento della camera ricevente A_2 in m^2 , che può essere determinato dal volume e dal tempo di riverberazione della camera con la seguente formula per poi essere sostituito nella (2).

$$T_{R_2} = 0.16 \frac{V_2}{A_2} \text{ s} \quad (3)$$

Misure in campo: tipo di misure effettuate per verificare che una costruzione o elementi di essa siano stati messi in opera in modo tale da rispettare le normative oppure per ricorrere a contromisure se un ambiente è poco usufruibile o se provoca disagio all'utente a causa di parametri acustici sballati. Le misurazioni sono eseguite come quelle in laboratorio con apparecchiature molto più maneggevoli e meno ingombranti per motivi di praticità.

Per le misure in situ si utilizza **R'** **potere fonoisolante apparente**, l'apice significa che è una grandezza usata nelle misure in opera. **R'** come **R** dipende molto dalla frequenza e dalla massa per unità di superficie ed è così definito:

$$R' = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2 + W_3} \right) dB \quad (4)$$

W₁= potenza sonora incidente su parete di prova,

W₂= potenza sonora trasmessa attraverso la parete di prova,

W₃= potenza sonora trasmessa da elementi laterali o da altri componenti.

In ipotesi di diffusione dei campi sonori la norma UNI EN 140-3 definisce la stessa grandezza come:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_2} dB \quad (5)$$

nel potere fonoisolante apparente la potenza sonora trasmessa nell'ambiente ricevente è correlata alla potenza sonora incidente sul provino come nella (2), indipendentemente dalle condizioni effettive di trasmissione.

Un'altra definizione comunemente usata è la **Differenza standardizzata dei livelli D_{nT}** che prevede di riferire il tempo di riverberazione della camera ricevente al livello standard di 0.5s.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T_2}{0.5} dB \quad (6)$$

T₂= tempo di riverbero nella camera ricevente.

Se il tempo di riverbero in una stanza ammobiliata si mantiene su valori di circa mezzo secondo, **D_{nT}** corrisponde abbastanza bene all'effettivo isolamento sonoro sperimentato in soggiorni o camere da letto. **R'** tiene conto delle dimensioni della stanza, pertanto in quelle piccole come i bagni è più facile da ottenere rispetto a **D_{nT}**. Per grandi stanze **R'** è il più restrittivo tra i due.

Può tornare utile avere un unico valore, al posto di **R**, che descriva il potere fonoisolante di un divisorio indipendentemente dalla frequenza; per questo è stato introdotto **l'indice del potere fonoisolante R_w** che troviamo nel DPCM 5.12.97. Le regole per il calcolo dell'indice si trovano nella norma UNI 8270. Si utilizza la curva normalizzata ISO 717-1, le cui frequenze vanno da 100Hz a 3150Hz in intervalli di terzi di ottava; nelle basse frequenze la pendenza è di 3dB per ottava che passa a 1dB per ottava alle medie e si annulla alle alte. Per passare da **R** a **R_w** occorre pesare i livelli sperimentali con la curva ISO, traslandola verso il basso dB per dB, fino a quando la somma delle differenze positive tra curva ISO e dati sperimentali non è inferiore a 32 (con dati espressi in terzi di ottava) e quindi si legge il valore corrispondente a 500Hz, della curva di riferimento, che è **R_w**.

Algebricamente:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (R_{rif} - R_{sper})_i}{N} \leq 2 \quad (7)$$

N= numero di valori,

n= numero di punti in cui la curva normalizzata è sopra a quella sperimentale.

Per ottenere l'indice devo diminuire unità per unità n, cioè traslare in basso la curva normalizzata, finchè la disuguaglianza non è verificata.

Per concludere è opportuno fare una distinzione tra potere fonoisolante e fonoassorbimento poichè molte volte si pensa che un buon materiale fonoassorbente impedisca al suono di attraversarlo; se prendiamo una stanza con pareti fatte da semplici mattoni forati e tappezzata con moquette e suoniamo musica ad alto volume, il suono sarà chiaramente avvertibile al di fuori del locale, anche se questo è poco riverberante; se ora suoniamo la stessa musica allo stesso volume in una stanza con dei muri molto massicci (p.es. $\sigma = 600 \text{ Kg/m}^2$) l'isolamento sarà ottimo malgrado la stanza sia molto riverberante. Questo perché il potere fonoisolante, nella regione II di fig. 3, è fortemente dipendente dalla legge di massa. Quest'ultima ci dice che al raddoppio della massa di un divisorio singolo **R** aumenta di 3 dB, da ciò si capisce che tali pareti non sono dei buoni isolanti a meno di usare materiali molto pesanti che però caricano parecchio le strutture e inoltre risultano poco pratici per esempio nelle frequenti ridisposizioni dei locali di un ufficio. Quindi per avere un buon isolamento acustico si utilizzano pareti doppie (fig. 4), costituite da due tramezzi non rigidamente connessi separati da un'intercapedine che può essere vuota o riempita con materiale fonoassorbente, p.es. lana di roccia, per evitare fenomeni di risonanza. Da risultati sperimentali il potere fonoisolante **R** delle doppie pareti tende alla **somma** dei poteri fonoisolanti dei singoli tramezzi.

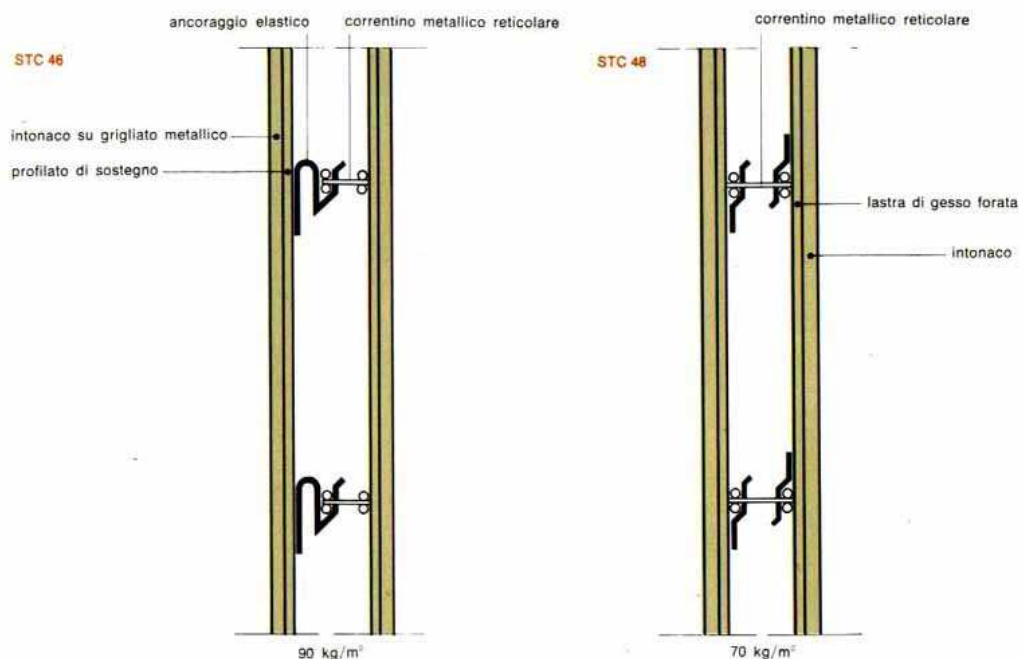


Figura 4

Modelli di parete doppia con differenti densità superficiali di massa

Isolamento acustico di facciata

Il DPCM 5.12.97 stabilisce che le prestazioni d'isolamento acustico delle facciate vengano rilevate in opera secondo la norma UNI 107008-2 misurando l'**isolamento acustico di facciata standardizzato** $D_{2m,nT}$ definito da:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log\left(\frac{T}{0.5}\right) dB \quad (8)$$

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

L_2 = livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente, valutato a partire dai livelli misurati nello stesso ambiente mediante la seguente formula:

$$L_2 = 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}\right) dB \quad (9)$$

le misure dei livelli L_i devono essere eseguite in numero di n per ciascuna banda di terzi d'ottava; n è il numero immediatamente superiore ad un decimo del volume dell'ambiente; in ogni caso il valore limite di n è 5.

T = tempo di riverberazione dello stesso ambiente ricevente.

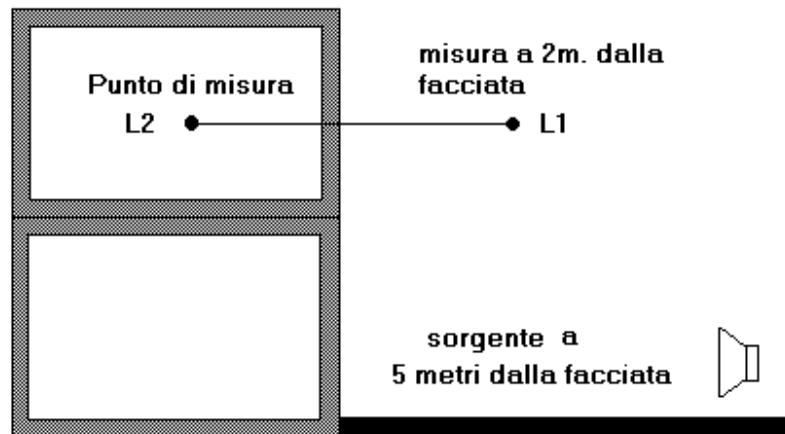


Figura 5

Facendo un confronto con gli altri Paesi europei si nota che i parametri usati sono differenti; ad esempio Germania e Austria utilizzano il potere fonoisolante risultante R'_{res} per specificare il valore limite per la prestazione acustica della facciata che è ottenuto dalla media pesata del potere fonoisolante dei vari componenti della facciata. R'_{res} 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 limite per il livello sonoro all'interno; la Francia utilizza un parametro simile al nostro. La normativa italiana non prevede una divisione in fasce acustiche del

territorio, ad esempio gli stessi valori devono essere rispettati da una scuola all'interno di un parco e da una vicino alla stazione.

Per ottenere l' **indice di valutazione per l'isolamento di facciata $D_{2m,nT,w}$** occorre conoscere il potere fonoisolante dei diversi elementi che compongono la facciata; le procedure di calcolo per ottenere l'isolamento acustico delle diverse strutture sono contenute in un apposito progetto di norma UNI 8270.

PAESE	GRANDEZZA	SORGENTE DISTURBANTE		VALORE LIMITE	
Austria	$R'_{res,w}$	Livello sonoro all'esterno (dB (A))			
		Diurno	Notturmo		
		<55	<45		33 dB
		56-65	46-55		38 dB
		66-70	56-60		43 dB
		71-75	61-65		48 dB
		76-80	66-70		53 dB
		81-85	71-75		58 dB
>85	>75	63 dB			
Germania	$R'_{res,w}$	Livello sonoro all'esterno (dB (A))			
		<55			30 dB
		56-60			30 dB
		61-65			35 dB
		66-70			40 dB
		71-75			45 dB
		76-80			50 dB
>80		Da luogo a luogo			
Francia	D_{nAT}	In presenza di strade o ferrovie		>30-45 dB(A)	
		Aeroporti		>35 dB(A)	
Italia	$D_{2m,nT,w}$	Non specificato		40 dB	
Danimarca	$L_{A,eq,24h}$	Strade		<30 dB	
		Ferrovie		<30 dB	
Svezia	$L_{A,eq,24h}$	Strade		<30 dB	

Tabella C

Valori limite per l'edilizia residenziale definiti da diversi documenti normativi di Paesi europei con riferimento alle grandezze di colonna 2.

Isolamento acustico del suono d'impatto

Un rumore di passi su un pavimento o sulle scale è spesso maggiormente udibile in altre stanze che non in quella dove è prodotto, perché le vibrazioni prodotte sulle strutture del fabbricato si propagano per via solida a tutto l'edificio praticamente

senza alcuno smorzamento. Il sistema per ridurre il rumore generato dal calpestio consiste nel realizzare pavimenti flottanti al fine di evitare ponti acustici o più semplicemente porre tappeti o moquette sui pavimenti. Anche per il calpestio il livello di rumore si misura in laboratorio e in situ. Quando si vogliono determinare le proprietà fonoisolanti di un pavimento si pone una macchina normalizzata da calpestio (fig. 6) su di esso, che è costituita da 5 martelli in linea del peso di 0.5 Kg che cadono da un'altezza di 40 mm con ritmo di percussione medio di 10 colpi al secondo; al piano sottostante si misura il livello di pressione sonora con una rete di microfoni in modo da avere un valore medio, poi il segnale è filtrato in bande di terzi d'ottava e memorizzato.



Figura 6

Misure in laboratorio: la norma UNI EN ISO 140-6 definisce il **livello di pressione sonora da impatto normalizzato** L_n di un pavimento di 10 m^2 senza trasmissioni laterali come

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

L_2 = livello di pressione sonora nella camera ricevente (piano sottostante)

A_2 = assorbimento camera ricevente, che può essere ricavato conoscendo il tempo di riverbero e il volume da (3)

$$T_R = 0.16 \frac{V}{A_2} \text{ s}$$

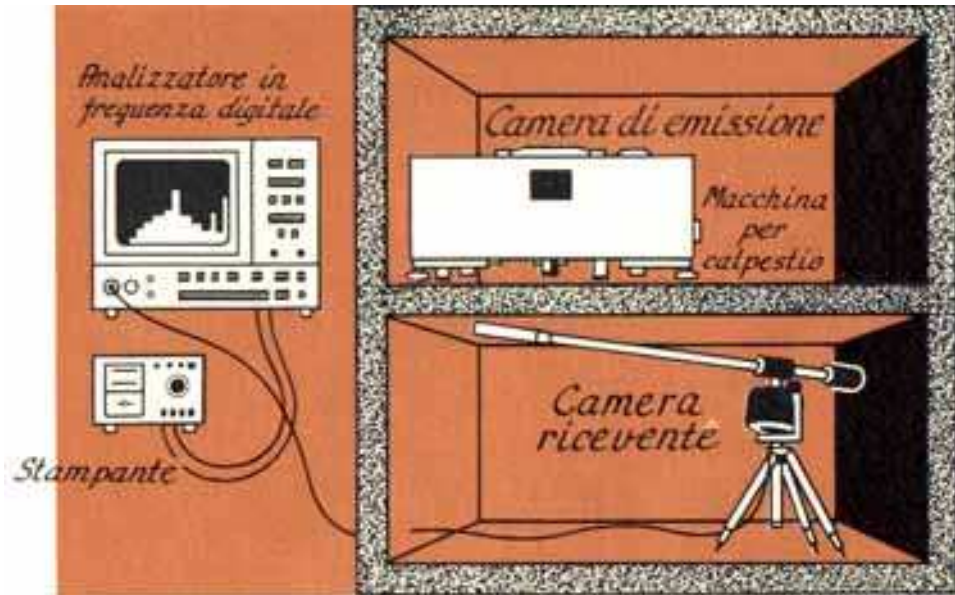


Figura 7

Misure in campo: la norma UNI EN ISO 140-7 definisce il **livello di pressione sonora da impatto normalizzato** L'_n con trasmissioni laterali come

$$L'_n = L_2 + 10 \log \frac{A_2}{10} \text{ dB} \quad (11)$$

e definisce anche il **livello di pressione sonora da impatto standardizzato** L'_{nT} come

$$L'_{nT} = L_2 - 10 \log \frac{T_2}{0.5} \text{ dB} \quad (12)$$

T_2 = tempo di riverberazione della camera ricevente.

Per determinare l'**indice di valutazione** $L_{n,w}$, secondo la norma UNI 8270, la procedura è simile a quella vista in precedenza per l'indice di valutazione del potere fonoisolante. Si utilizza la curva normalizzata ISO 717-2, che ha un andamento complementare alla 717-1, e che va traslata verso l'alto 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); a questo punto $L_{n,w}$ è dato dal valore della curva di riferimento a 500Hz.

Isolamento dal rumore prodotto dagli impianti tecnologici

Della stessa natura dei rumori di percussione sono quelli generati da macchine in movimento (ascensori, impianti di riscaldamento e di condizionamento) o da impianti fissi (scarichi idraulici, bagni, ecc.). La struttura dei tubi ed il loro rigido ancoraggio alle pareti sono un sistema atto a vibrare e a trasmettere alle altre strutture le oscillazioni che si originano in un punto qualsiasi dell'impianto.

Per ovviare a questi problemi sono stati studiati giunti elastici con collare in gomma (figura 8) a cui collegare le tubature e, in fase di progetto, calcolare le giuste sezioni dei tubi e la velocità dei fluidi che vi scorrono dentro.

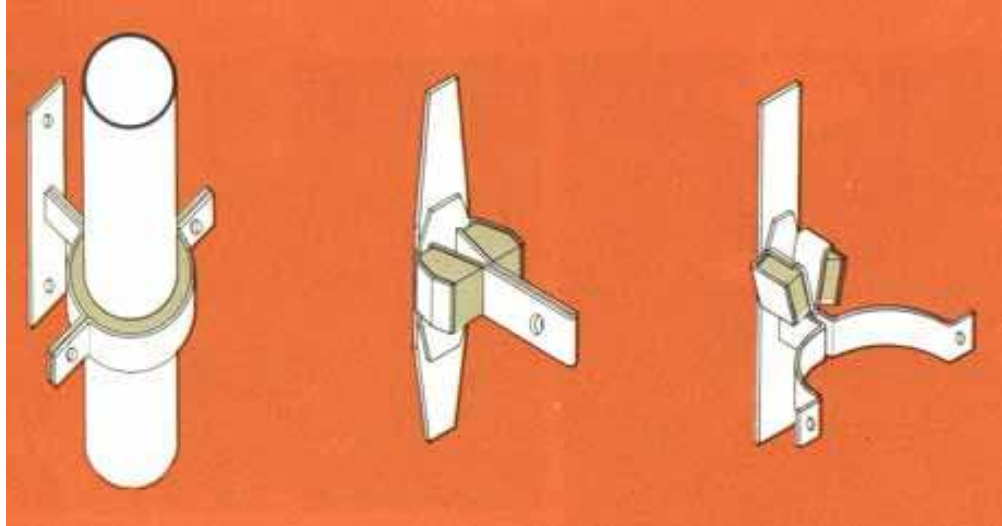


Figura 8

Collegamenti antivibranti per tubazioni.

Bisogna però anche intervenire sugli impianti in movimento, separando le superfici di appoggio di caldaie o motori con opportuni strati antivibranti in gomma (silent block) che smorzano le vibrazioni che altrimenti si propagherebbero nell'edificio.

Il DPCM 5.12.97 dà le seguenti definizioni

L_{ASmax} = livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow,

L_{Aeq} = livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A,

e valori limite di entrambe:

L_{ASmax} = 35 dB(A) con costante di tempo slow per i **servizi a funzionamento discontinuo**,

L_{Aeq} = 25 dB(A) per i **servizi a funzionamento continuo**,

la misura va eseguita nell'ambiente con livello di rumore più elevato con l'accortezza che tale ambiente sia diverso da quello in cui è la sorgente, perché i limiti imposti non sono riferiti agli impianti ma al rumore che propagano in un edificio.

Esercizi sull'isolamento

Esercizio 1- Determinazione del potere fonoisolante di una parete in laboratorio

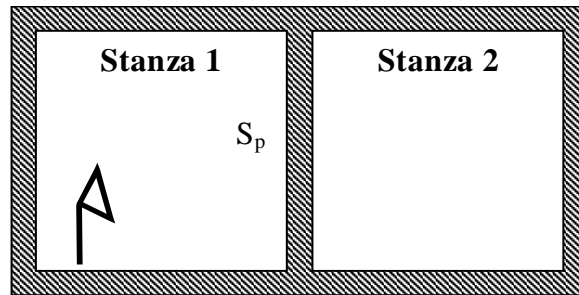


Figura 9

La sorgente sonora sia nella stanza 1, sia S_p la superficie del provino, siano V_2 il volume e T_{R2} il tempo di riverbero della camera ricevente 2. La misura è effettuata solo a 500Hz.

Dati:

$L_1 = 80$ dB, $L_2 = 55$ dB, $T_{R2} = 2.5$ s, $S_p = 10$ m², $V_2 = 50$ m³.

Soluzione:

Utilizzando la definizione di R (formula (2)) e la (3) ottengo:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S_p}{A_2} \text{ dB}$$

$$A_2 = 0.16 \frac{V_2}{T_{R2}} = 0.16 \frac{50}{2.5} \text{ m}^2$$

$$R = 80 - 55 + 10 \log \frac{10 * 2.5}{0.16 * 50} = 29.9 \text{ dB}$$

Esercizio 2- Determinazione del livello L_2 della camera ricevente

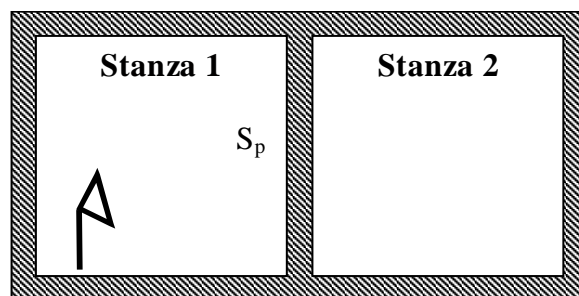


Figura 10

La sorgente sonora sia nella stanza 1, sia S_p la superficie del provino, siano V_1 e V_2 i volumi, T_{R1} e T_{R2} i tempi di riverbero rispettivamente delle camere sorgente 1 e ricevente 2, sia t il coefficiente di trasmissione del divisorio, sia L_w il livello di intensità sonora e W l'intensità sonora.

Dati:

$V_1 = 50$ m³, $V_2 = 60$ m³, $T_{R1} = 1.6$ s, $T_{R2} = 2$ s, $t = 0.01$, $W = 1$ w.

Soluzione:

dalla formula (2) ottengo

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log \frac{S_p}{A_2} \text{ dB}$$

L_1 è ottenibile dall'equazione del campo riverberante (13),

$$L_{reg} = L_w + 10 \log \frac{4}{\sum_{i=1}^N \alpha_i S_i} \text{ dB} \quad (13)$$

sostituendo alla sommatoria l'assorbimento della camera A_1 dato da (3), in (13) ottengo L_1 , mentre L_w è, come da definizione di livello,

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

mentre R lo ricavo da t

$$R = 10 \log \frac{1}{t} \text{ dB} \quad (15)$$

Sfruttando ancora (3) per determinare A_2 e (2) per L_2 trovo:

$$\begin{aligned} L_2 &= 10 \log \frac{1}{10^{-12}} + 10 \log \frac{4 * 1.6}{0.16 * 50} + 10 \log(0.01) + \\ &+ 10 \log \frac{10 * 2}{0.16 * 60} = 102.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

Esercizio 3- Determinazione di D_{nw}

Vengono forniti L_1 , L_2 e T_{R2} per cinque frequenze e la curva di riferimento, sia $V=50\text{m}^3$ il volume del locale.

Frequenza Hz	125	250	500	1000	2000
L_1 dB	80	85	87	88	88
L_2 dB	50	45	38	30	35
T_{R2} s	1	0.8	0.6	0.4	0.3
Curva rif. dB	36	45	52	55	56

Tabella D – Dati del problema

Soluzione:

Per ricavare D_n alle cinque frequenze utilizzo (16) e (3) per ottenere A

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{10} \text{ dB} \quad (16)$$

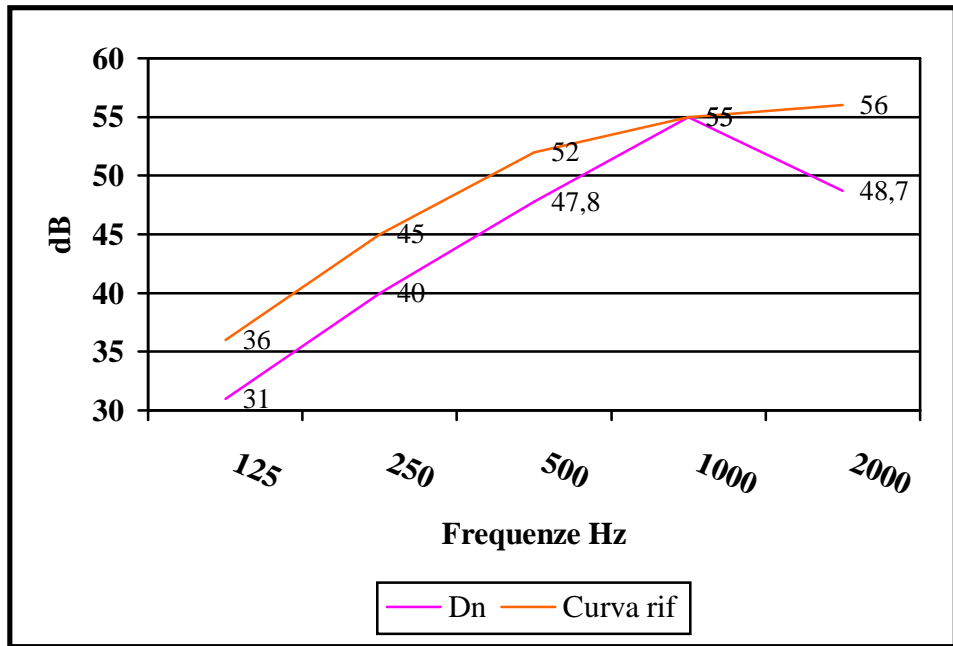


Figura 11

Con il seguente foglio excel viene calcolato D_{nw} per prove successive, cioè fino a quando la somma degli scostamenti positivi (differenza tra curva di rif. e dati) è maggiore di 10 essendo $N=5$. Il calcolo fa riferimento alla formula (7) e alla procedura presente nel paragrafo relativo al rumore per via aerea. Il risultato è $D_{nw}=49$ dB.



Dnw

Esercizio 4- Determinazione di L'_{nw}

Vengono forniti L'_n per cinque frequenze assieme alla curva di riferimento.

Frequenze Hz	125	250	500	1000	2000
L'_n dB	50	52	53	52	43
Curva rif. dB	67	67	65	62	53

Tabella E- Dati del problema.

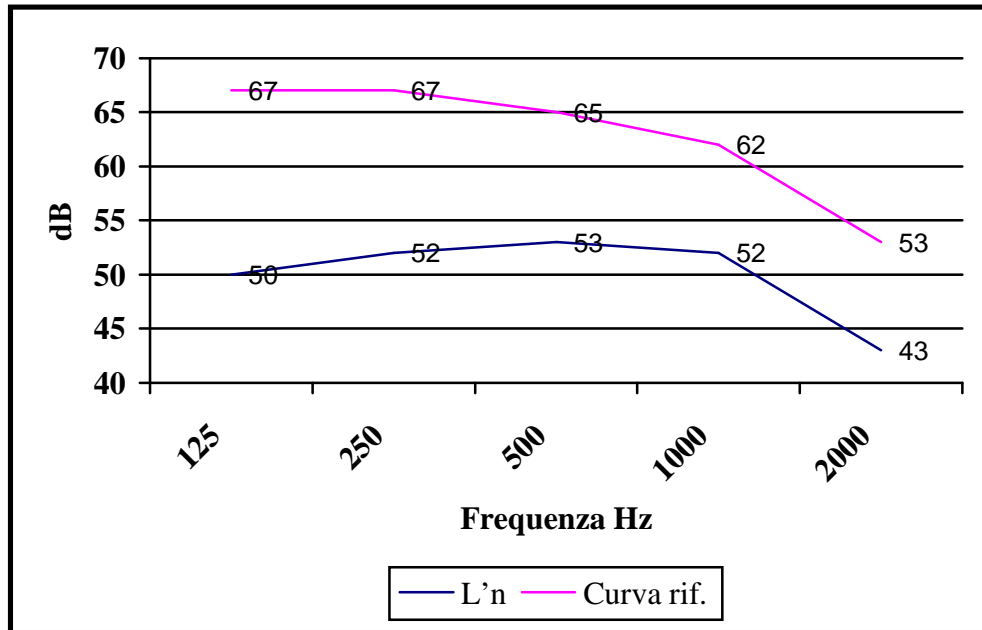


Figura 12

Con il seguente foglio excel viene calcolato L'_{nw} per prove successive, cioè fino a quando la somma degli scostamenti positivi (differenza tra dati e curva di rif.) è maggiore di 10 essendo $N=5$. Il calcolo fa riferimento alla formula (7) e alla procedura descritta nel paragrafo relativo al rumore da calpestio. Il risultato è $L'_{nw} = 51$ dB.



L'nw