



# FONOSOLAMENTO

## Coefficiente $\tau$ di trasmissione del rumore di una parete

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} = \frac{\text{potenza sonora trasmessa al di là della parete}}{\text{potenza sonora incidente sulla parete}}$$

## Potere fonoisolante $R$ di una parete

**$R = \text{livello di potenza sonora incidente} - \text{livello di potenza sonora trasmessa} =$**

$$10 \log \frac{W_t}{W_i} - 10 \log \frac{W_i}{W_o} = \frac{W_t}{W_i} = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

$$\tau = 0,1 \quad \Rightarrow \quad R = 10dB$$

$$\tau = 0,01 \quad \Rightarrow \quad R = 20dB$$

$$\tau = 10^{-3} \quad \Rightarrow \quad R = 30dB$$

**Per le pareti non porose  $R$  dipende:**

- **dalle caratteristiche meccaniche della parete (massa, elasticità, smorzamento)**
- **dalle dimensioni**
- **dai veicoli di sostegno**
- **dalle frequenze e dall'angolo di incidenza delle onde sonore**

## Parete semplice

**Prima approssimazione: parete solida, omogenea, e senza porosità, di dimensioni infinite, colpita da onde sonore ad essa perpendicolari**

$$R_0 = 20 \log \frac{\pi f M}{\rho c} \quad (1)$$

$\rho c \rightarrow$  impedenza acustica dell'aria ( $\sim 400$  rayl)

$f \rightarrow$  frequenza dell'onda sonora incidente (Hz)

$M \rightarrow$  massa per unità di superficie della parete ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ )

**Seconda approssimazione: onde sonore non perpendicolari**

- **Angolo di incidenza aleatorio (ambiente riverberante)**

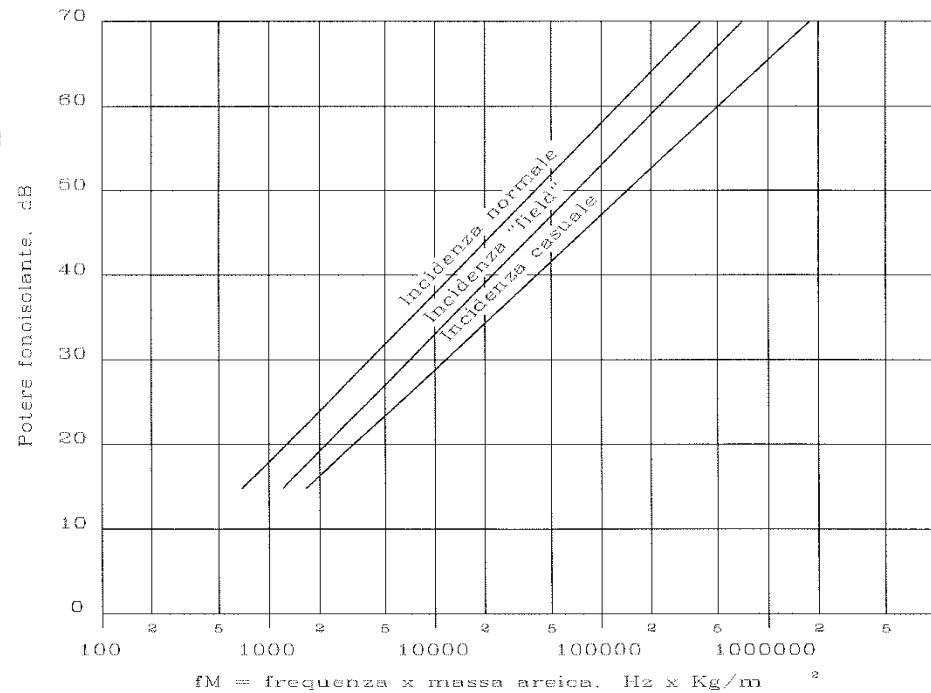
$$R_1 = R_0 - 10 \log (0,23 \cdot R_0) \quad (2)$$

- **Field incidente (ambienti normali)**

$$R_1 = R_0 - 5 \quad (3)$$

## Parete semplice

**Andamento teorico della curva del potere fonoisolante rispetto all'angolo di incidenza del suono**



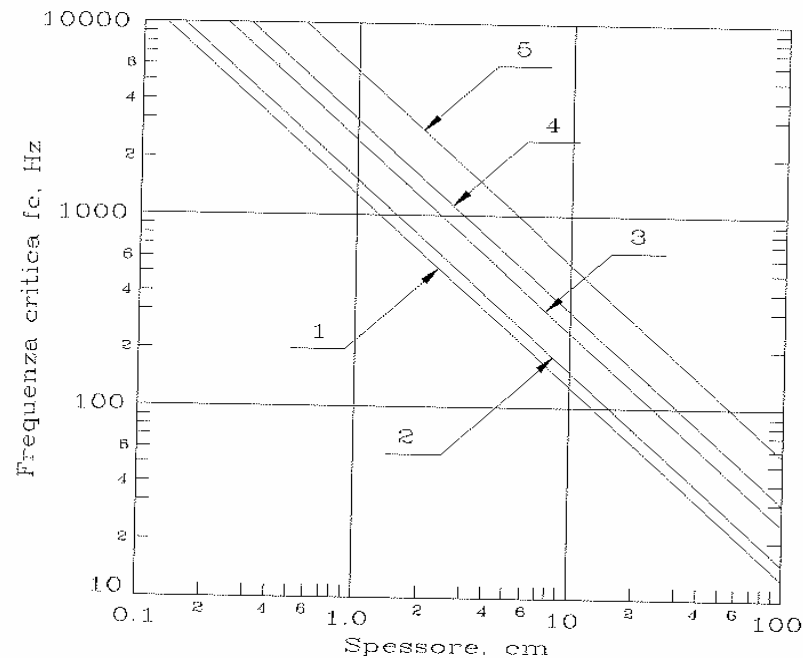
### Il potere fonoisolante:

- cresce di 5 - 6 dB al raddoppio di  $f$ , a parità di  $M$
- cresce di 5 - 6 dB al raddoppio di  $M$ , a parità di  $f$

## Parete semplice

La non perpendicolarità delle onde sonore incidenti dà luogo a onde di flessione della parete aventi la stessa frequenza di quelle incidenti: effetto di coincidenza. Esso causa una perdita di isolamento, massima alla frequenza critica ( $f_c$ )

**Frequenza critica in funzione dello spessore dei pannelli omogenei**



- 1- Alluminio o acciaio
- 2- Vetro
- 3- Cemento pesante o matton.
- 4- Gesso
- 5- Piombo o cemento poroso

## Parete semplice

**Il potere fonoisolante si modifica secondo l'esposizione seguente:**

$$\text{Per } f \geq f_c \quad R_2 = R_1 + 10 \log \left( \frac{2\eta f}{\pi f_c} \right) \quad (4)$$

**$\eta$  = fattore di smorzamento interno del pannello**

**Nell'intervallo  $\frac{f_c}{2} \div f_c$  si interpola linearmente fra  $R_1$  e  $R_2$**

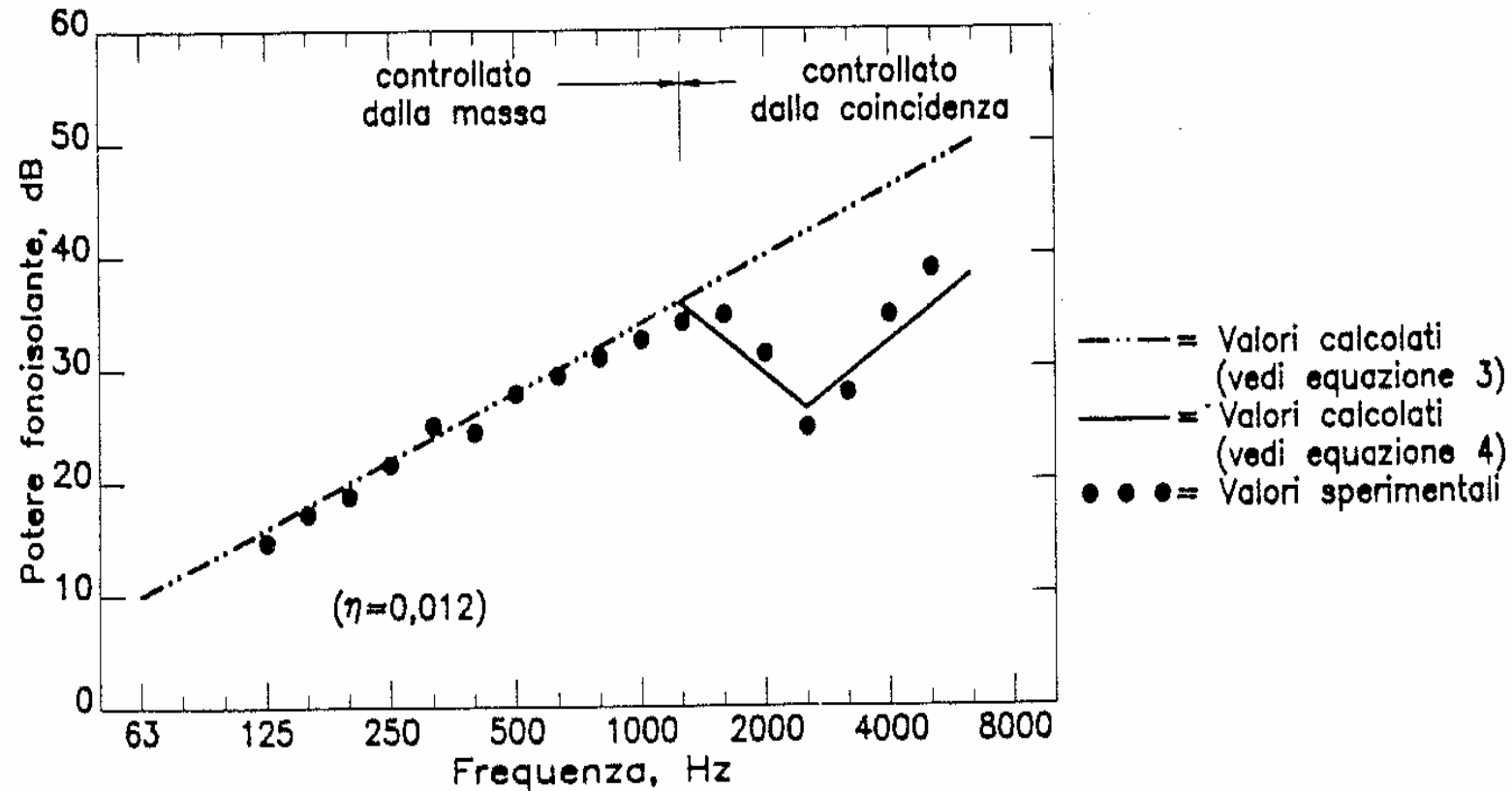
## Parete semplice

### Fattore di smorzamento interno di alcuni materiali

<u>Materiale</u>	<u>Fattore di smorzamento interno a 1.000 Hz</u>
Alluminio	0,0001 – 0,01
Acciaio	0,0001 – 0,01
Piombo	0,015
Cemento	0,005 – 0,02
Mattone pieno	0,01
Gesso	0,04
Vetro	0,001 – 0,01
Plexiglass	0,002

## Parete semplice

Valori misurati e calcolati del potere fonoisolante di un pannello di gesso sp. 1,6 cm



## Parete semplice

**Terza approssimazione: parete di dimensioni finite**

**La parete è sede di risonanze (modali), la cui frequenza e ampiezza dipende da:**

- **modulo di elasticità**
- **spessore**
- **tipo di vincoli**
- **smorzamento interno**
- **dimensioni**
- **coefficiente di Poisson**

**Generalmente queste risonanze, che inducono perdite di isolamento, si manifestano alle basse frequenze.**

**Per  $f < f_0$  (dove  $f_0$  è la prima frequenza modale)  $R$  dipende dalla rigidità della parete (non più della massa) e teoricamente cresce al decrescere di  $f$ .**

**Spesso nella pratica questo effetto si manifesta a frequenze che le misure sperimentali non considerano.**

**Nella realtà  $R$  può allontanarsi anche significativamente dai valori teorici.**

## Parete stratificata

I pannelli in lamiera hanno valori di  $f_c$  molto elevati:

Es.

acciaio                      spessore 1 mm                      ↓                       $f_c = 12.000$  Hz

Per aumentare R di 5 – 6 dB si può raddoppiare la massa:

acciaio                      spessore 2 mm                      ↓                       $f_c = 6.000$  Hz

Questo spostamento di  $f_c$  in una zona di frequenza così significativa può essere evitato con le pareti stratificate costituite da:

pannello + materiale viscoelastico + pannello

Es. pannelli sandwich, vetri stratificati

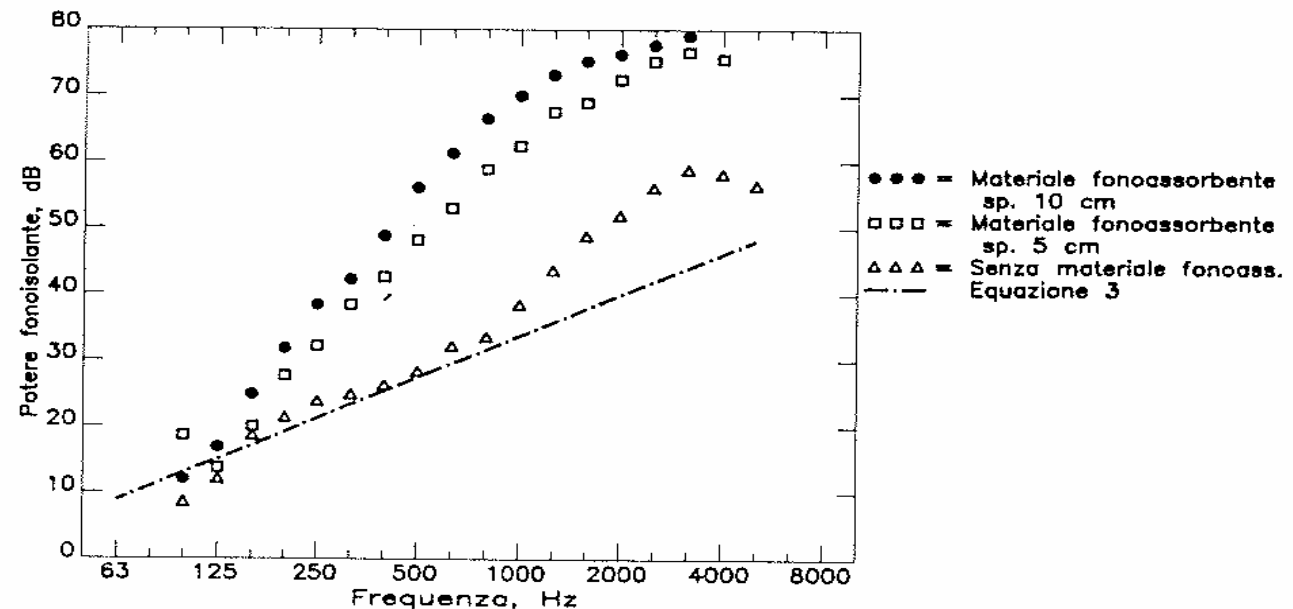
Comportamento:

- alle basse frequenze i due pannelli risultano rigidamente connessi (pannello unico)
- alle basse frequenze lo strato viscoelastico riduce la rigidità flessionale dell'insieme, i due pannelli risultano indipendenti ed  $f_c$  risulta quello dei singoli pannelli

## Parete doppia

E' costituita da due pannelli completamente indipendenti fra loro:

**Valori sperimentali del fonoisolante di un doppio pannello a lastre discontinue, con e senza materiale fonoassorbente nell'intercapedine**

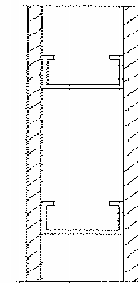
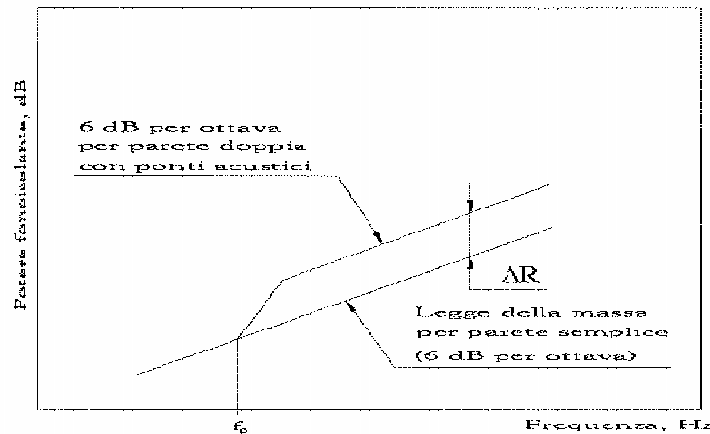


### NOTE

- alle basse frequenze una parete doppia ha un comportamento non dissimile da una parete semplice di pari massa
- a cominciare da una determinata frequenza (funzione della massa superficiale dei pannelli e della loro reciproca distanza)  $R$  della parete doppia ha una pendenza molto più accentuata che nel caso della parete semplice.
- i valori di  $R$  crescono inserendo materiale fonoassorbente nella cavità di separazione dei pannelli (oppure ove non possibile diversamente, lungo il perimetro della cavità).

## Parete doppia con ponti acustici

Gli elementi rigidi di collegamento fra i pannelli di una parete doppia causano una perdita di isolamento che limita l'incremento del beneficio acustico della struttura doppia ad un valore massimo di  $\Delta R$ .

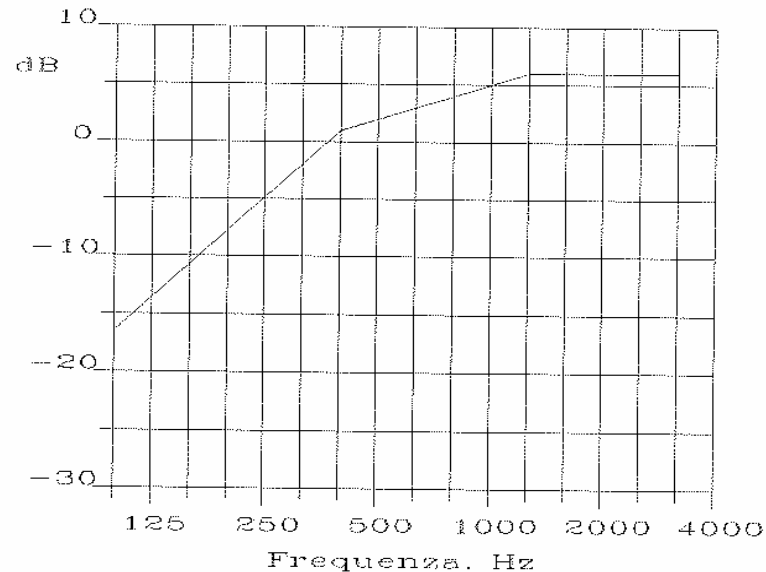


Andamento teorico del fonoisolamento di un doppio pannello con ponti acustici

$\Delta R$  dipende da:

- tipo di connessione tra i pannelli (puntiforme o lineare)
- distanza tra le connessioni (aumentando tale distanza aumenta  $\Delta R$ )
- massa superficiale e frequenza critica dei pannelli

## Indice di valutazione del potere fonoisolante



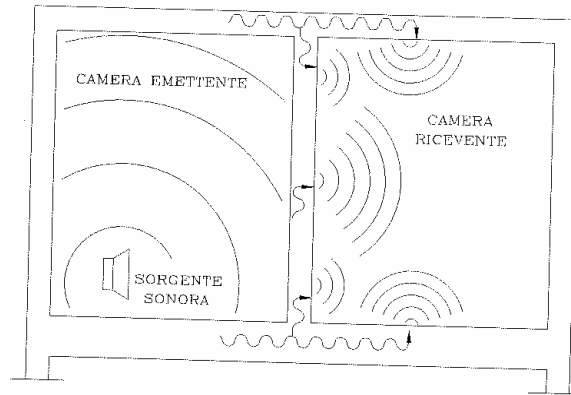
**Curva di riferimento per il calcolo di  $R_w$**

**Il diagramma per terzi d'ottava di  $R$  viene posto al di sotto della curva di riferimento ed elevato, a passi di 0,5 dB, fino a che il valore medio degli scarti favorevoli (differenze positive tra valori del diagramma di riferimento e diagramma di  $R$ ) più si avvicinano, senza superarlo, a 2 dB.**

**Il valore di dB della curva sperimentale a 500 Hz è chiamato indice di valutazione del potere fonoisolante  $R_w$ .**

## Isolamento effettivo di una parete che separa due ambienti chiusi

L'isolamento acustico fra due ambienti A e B separati da una parete è dato dalla differenza



$$D = L_A - L_B$$

Trasmissione acustica fra due ambienti chiusi

$$D = L_A - L_B = R - 10 \log \frac{S}{A}$$

Dove

**S** = superficie della parete di separazione

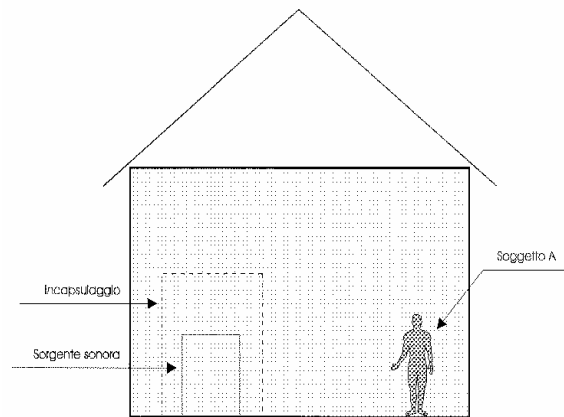
**A** = area equivalente di assorbimento acustico del locale ricevente B

**D** dipende inoltre da:

- modalità di montaggio della parete
- trasmissione del rumore attraverso vie laterali (flanking transmission)

## Isolamento di un cabinato o di un incapsulaggio

E' inteso come differenza, nel punto ricettore, tra il livello sonoro precedente ( $L'$ ) e seguente ( $L''$ ) l'installatore del cabinato



$$D = L' - L'' = R + 10 \log(\alpha + \tau)$$

dove  $\alpha$  è il valore medio del coefficiente di assorbimento delle superfici interne del cabinato.

Questa espressione è valida nel caso in cui la sorgente sonora sia piccola rispetto al cabinato e il recettore sia in campo riverberato rispetto all'emissione sonora del cabinato.

Diversamente possono essere applicati modelli più complessi (Ver, Junger, Jackson, Steward-O'Keefe, ecc...), i cui risultati sono tuttavia da assumere con molto senso critico

## Parete composta

Quando una parete è composta da diversi elementi, aventi potere fonoisolante  $R_1, R_2, \dots, R_n$  e superfici  $S_1, S_2, \dots, S_n$  l'isolamento  $R_t$  della parete (avente superficie totale  $S_t$ ) è esprimibile con la formula:

$$R_t = -10 \log \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_i}{S_t} \right) 10^{-R_i/10}$$

## Ricoprimento con pannelli fonoassorbenti

**Questo metodo si applica ad esempio per isolare tubazioni che irradiano rumore. L'isolamento acustico determinato dal rivestimento di una superficie emette rumore con un materiale fonoassorbente poroso dipende da:**

- **caratteristiche fonoassorbenti del materiale**
- **spessore del materiale**
- **frequenza**

**Alle basse frequenze l'isolamento è praticamente nullo. Aggiungendo una membrana fonoisolante al pannello poroso, non varia l'isolamento alle basse frequenze, mentre cresce alle alte, dipendendo oltre che dalle caratteristiche fonoassorbenti del materiale poroso anche dal potere fonoisolante della membrana.**

## Isolamento al calpestio

L'emissione sonora di una parete può avvenire anche per eccitazione meccanica (urti, strisciamenti, vibrazioni). Particolare importanza hanno le strutture orizzontali di un edificio.

L'emissione sonora di una soletta in particolare:

- decresce di  $\sim 9$  per raddoppiamento delle spessore
- decresce all'aumento dello smorzamento interno della parete (funzione dei materiali e dei vincoli)
- è pressochè costante al variare di  $f$

Per aumentare l'isolamento si può ricorrere a:

- una pavimentazione resiliente (es. moquette, gomma, ecc.,...)
- un pavimento galleggiante sulla soletta tramite un supporto viscoelastico

La misura dell'isolamento al calpestio è seguita con un "generatore di calpestio", costituito da 5 martelli che cadono sequenzialmente da un'altezza costante.

La misura dell'attenuazione del rumore a calpestio di un pavimento è eseguita su un solaio normalizzato posto su una camera riverberante.

## Isolamento al calpestio

**Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato (di una soletta nuda o di una pavimentazione su solaio non normalizzato):**

$$L_n = L_i + 10 \log(A / A_0)$$

- = media dei livelli sonori sulla camera riverberante
- = area equivalente di assorbimento acustico della camera riverberante
- = 10 m<sup>2</sup>

**Livello di attenuazione del rumore di calpestio di un pavimento su solaio normalizzato**

$$\Delta L = L_{no} + L_n$$

- = media di livelli sonori della camera riverberante

**Analogamente a quanto avviene per il potere fonoisolante anche di queste grandezze è possibile calcolare i relativi indici di valutazione  $L_{nw}$  e  $\Delta L_w$**

# Isolamento di un incapsulaggio rispetto alle vibrazioni

**Un incapsulaggio, se diventa sede di vibrazioni, può emettere rumore perdendo considerevolmente le sue caratteristiche fonoisolanti.**

**Ad evitare ciò occorre:**

- **ancorare, se possibile, le strutture portanti dello stesso a parti non vibranti**
- **in subordine fissare tali strutture a parti debolmente vibranti con l'interposizione di sistemi elastici molto smorzati.**

### Accorgimenti pratici nella progettazione di un incapsulaggio

**Nella realizzazione di un incapsulaggio sono fondamentali alcuni aspetti di natura progettuale e costruttiva:**

- rendere quando più omogeneo possibile il potere fonoisolante delle pareti evitando zone di debole isolamento
- limitare al minimo indispensabile le aperture (per alimentazioni macchina, scarico pezzi, ecc...)
- porre silenziatori sulle aperture destinate al passaggio dell'aria di raffreddamento.

**Nell'isolamento acustico fra due ambienti separati da una parete occorre prestare attenzione alla trasmissione acustica che avviene attraverso le pareti laterali alla parete di separazione (flanking transmission): l'energia acustica trasferita lateralmente può risultare della stessa entità di quella trasferita direttamente dalla parete di separazione.**