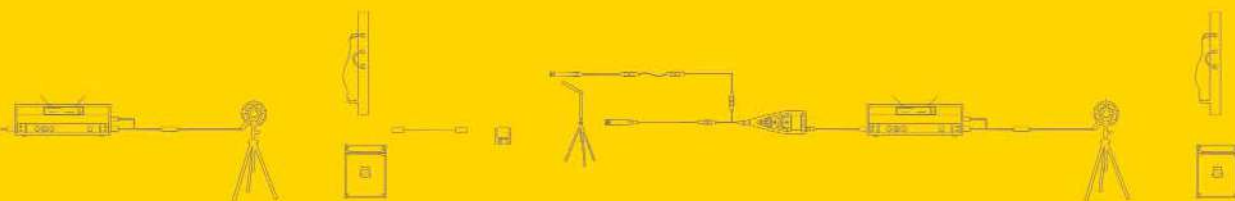




GHIROTTTO acustica





NORMATIVA E FISICA TECNICA



NORMATIVA

Quadro normativo	pag. 5
Legge quadro	pag. 6
DPCM 14/11/97	pag. 7
DPCM 05/12/97	pag. 7

FISICA TECNICA

Aspetti generali	pag. 9
Fonoimpedenza	pag. 16
Fonoassorbenza	pag. 26
Rumori da calpestio	pag. 32
Suggerimenti alla progettazione	pag. 34

NORMATIVA

Con la definizione generica di **"RUMORE"** si intende *"qualsiasi perturbazione sonora che emergendo dal silenzio dia luogo ad una sensazione acustica soggettivamente giudicata sgradevole, fastidiosa, molesta."*

A lungo andare questa sensazione può avere delle conseguenze negative nel comportamento umano arrivando a generare stress, disturbi cardiovascolari, psicomotori, ansietà, insonnia etc... problematiche che la legislazione ha affrontato imponendo dei requisiti acustici alle costruzioni edilizie, sia esse di carattere pubblico che privato.

Nei primi decenni dal dopoguerra ci si è preoccupati di ricostruire quello che gli eventi bellici avevano distrutto, con l'intento di garantire abitazioni senza preoccuparsi più di tanto di conferire contenuti tecnologici avanzati ai manufatti.

Da qualche anno a questa parte la normativa si è preoccupata di conferire agli edifici caratteristiche tecniche a garanzia di un miglior comfort, iniziando a risolvere problemi di isolamento termico, di risparmio energetico, ed oggi, anche se fanalino di coda in Europa, di protezione dall'inquinamento acustico.

Quadro Normativo

Il quadro normativo di riferimento per chi si avvicina all'acustica parte da due fonti del diritto:

- ▶ **Direttive Europee**
- ▶ **Normativa Nazionale**

Direttive Europee

La normativa europea che riguarda tutti gli operatori del settore, dai progettisti ai costruttori ed ai produttori di materiali, è la Direttiva 89/106/Cee che si intitola:

"Requisiti essenziali applicabili alle opere e suscettibili di influenzare le caratteristiche tecniche di un prodotto."

È una legge quadro e pertanto va interpretata come un insieme di linee guida, cui si dovranno ispirare le normative nazionali. È composta da più titoli; il quinto è dedicato al rumore:

5. Protezione contro il rumore

L'opera deve essere concepita e costruita in modo che il rumore, cui sono sottoposti gli occupanti e le persone situate in prossimità, si mantenga a livelli che non nuociano alla loro salute e tali da consentire soddisfacenti condizioni di sonno, di riposo e di lavoro.

Normativa Nazionale

Le normative nazionali che più interessano sono, nell'ordine temporale, le seguenti:

- ▶ **Legge n. 447 del 26 ottobre 1995**
Legge quadro sull'inquinamento acustico
- ▶ **D.P.C.M. 14 novembre 1997**
Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore
- ▶ **D.P.C.M. 5 dicembre 1997**
Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Legge quadro

Stabilisce i principi generali per il benessere acustico

Sia per l'ambiente esterno che per l'ambiente abitativo, si adempie inoltre quanto disposto dall'art.117 della nostra Costituzione.

È utile evidenziare alcuni articoli fondamentali:

► **art.2 - Legge quadro - definizioni**

Riporta le definizioni di: inquinamento acustico, ambiente abitativo, sorgenti sonore, valori limite di emissione ed immissione assoluti e differenziali; quindi c'è una terminologia a cui tutti gli operatori del settore dovranno uniformarsi;

Delinea la figura di un professionista, iscritto in appositi elenchi regionali, abilitato ad eseguire le misurazioni ed i collaudi: è il "tecnico competente" cioè il verificatore.

► **art.3 - Legge quadro - competenze dello Stato:**

- Stabilire le regole generali;
 - Determinazione dei valori limite del rumore;
 - Determinazione delle tecniche di rilevamento;
 - Determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore e degli edifici;
 - Il coordinamento di tutta l'attività in materia;
- Il tutto con degli strumenti specifici come i Decreti attuativi;

► **art.4 - Legge quadro - competenze delle Regioni**

Il coordinamento ed il controllo dell'attività dei Comuni.

► **art.6 - Legge quadro - competenze dei Comuni**

Il controllo dell'attività sul proprio territorio, in particolare:

- Classificazione del territorio comunale; questo è un atto fondamentale, si tratta della caratterizzazione acustica del proprio territorio, una vera e propria "zonizzazione" che deve essere coordinata con gli altri strumenti urbanistici, come il Piano Regolatore;
- Controllo dell'applicazione della normativa su attività produttive, sportive, commerciali, prima del rilascio di concessioni, licenze o autorizzazioni;
- Controllo dell'inquinamento acustico sul territorio (es. circolazione);
- Determinazione di limiti inferiori in zone di particolare interesse;

► **art.8 - Legge quadro - impatto acustico**

Prima di realizzare una qualsiasi nuova opera sul territorio comunale è necessario verificare quanto questa possa "disturbare" con l'apporto di nuovo rumore, oppure quanto possa "essere disturbata" dall'ambiente esistente, pertanto questa valutazione va fatta:

- Prima di realizzare infrastrutture di trasporto, discoteche, impianti sportivi, quindi attività che possono disturbare.
- Prima di insediare scuole, ospedali, parchi, nuove opere residenziali, quindi attività delicate che possono subire il disturbo.

La documentazione di impatto acustico o di clima acustico dovrebbe essere quindi allegata alle domande per l'avvio di ogni iniziativa sul territorio comunale.

DPCM 14/11/97

Stabilisce i valori limite delle sorgenti sonore rispetto alle classi di destinazione d'uso del territorio.

Questa normativa trova applicazione una volta realizzata la classificazione del territorio di ogni Comune e riguarda direttamente l'esposizione umana nell'ambiente esterno e nell'ambiente abitativo.

Classificazione del territorio comunale

- ▶ **CLASSE I** - aree particolarmente protette
- ▶ **CLASSE II** - aree destinate ad uso prevalentemente residenziale
- ▶ **CLASSE III** - aree di tipo misto
- ▶ **CLASSE IV** - aree di intensa attività umana
- ▶ **CLASSE V** - aree prevalentemente industriali
- ▶ **CLASSE VI** - aree esclusivamente industriali

Per ogni Classe, in cui è stato suddiviso il territorio comunale, vengono stabiliti i valori limite.

Da ricordare l'art.4 che conferma la validità del "criterio differenziale" e permette un'ulteriore tutela per gli ambienti abitativi. Per questi il rumore non deve comunque superare, al di là dei limiti assoluti previsti, il rumore di fondo più 5 dB di giorno e 3 dB di notte.

DPCM 05/12/97

Stabilisce i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne ed i requisiti acustici passivi degli edifici.

Lo scopo è il contenimento dell'inquinamento da rumore all'interno degli ambienti abitativi, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore. Ciò si concretizza:

- ▶ Nell'assegnare dei requisiti minimi di prestazione acustica, ai componenti degli edifici quali: pareti divisorie, solai, pareti perimetrali, coperture, etc.;
- ▶ **Questi requisiti devono essere verificati in opera.**
- ▶ Nel controllare ogni rumore proveniente dagli impianti interni dell'edificio.

Grandezze di riferimento e definizioni principali

- ▶ **R'_w** - indice di valutazione del potere fonoisolante apparente per divisori interni orizzontali e verticali;
- ▶ **D_{2m,nT,w}** - indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata, per l'involucro esterno dell'edificio;
- ▶ **L'_{n,w}** - indice di valutazione del livello di rumore di calpestio, per i solai;
- ▶ **L_{ASmax}** - livello massimo di pressione sonora, ponderato A - costante di tempo "slow", per gli impianti a funzionamento discontinuo;
- ▶ **L_{Aeq}** - livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderato A, per gli impianti a funzionamento continuo;

REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI, DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI
Secondo la classificazione degli ambienti abitativi (fig. 1).

DPCM 5 DICEMBRE 1997

Categoria	Potere fonoisolante	Isolamento acustico	Calpestio	Pressione sonora	Livello continuo
	$R'w$	$D_{2m,n,T,w}$	$L'_{n,w}$	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

A: residenza
B: uffici
C: alberghi
D: ospedali
E: scuole
F: attività ricreative
G: commerciale

Rw = indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione
 $D_{2m,n,T,w}$ = isolamento acustico di facciata
 $L'_{n,w}$ = indice di valutazione del livello di rumore da calpestio normalizzato
 L_{ASmax} = livello massimo di pressione sonora
 L_{Aeq} = livello continuo equivalente di pressione sonora

FIG. 1

Si deve sottolineare che i requisiti esposti nella tabella riepilogativa sono obbligatori. Tali requisiti sono indispensabili per ogni edificio costruito dopo il 10 marzo 1998. La mancata rispondenza può portare anche alla non abitabilità o agibilità di un'unità abitativa, nonché ad assegnare precise responsabilità a tutte le figure professionali coinvolte nella realizzazione, progettisti, impresari, direzione lavori, e nelle ipotesi di contenzioso anche al defezionamento del suo valore.

FISICA TECNICA - Aspetti generali

Come descritto nel precedente capitolo, i professionisti sono chiamati, in sede progettuale, a soddisfare i valori imposti dalle nuove normative e quindi ad usare opportuni mezzi di controllo che attenuino la propagazione dell'energia sonora sia essa provenga dall'interno sia dall'esterno dell'edificio.

A tale scopo e senza complicati calcoli di fisica acustica, si è voluto creare un aiuto per capire gli elementi essenziali dell'acustica: le trasformazioni dell'energia sonora, la risposta dei materiali, i fattori di impedenza e di assorbimento, aggiungendo, a concludere, alcune metodologie di intervento (anche con esempi pratici), che superino la classica verifica affidata esclusivamente al peso della struttura come la "**legge di massa**".

I tre elementi fondamentali attorno a cui ruota l'acustica sono:

- ▶ la **sorgente emissiva** che genera energia;
- ▶ l'**elemento di propagazione** (aria, acqua, legno, cemento etc.);
- ▶ l'**elemento ricettivo** (il nostro orecchio) o un elemento che registra il fenomeno (ad esempio il fonometro);

In ambito edile si possono distinguere tre tipi di rumori:

- ▶ rumori **aerei** (che usano l'aria come veicolo di propagazione)
- ▶ rumori **di impatto** (generati dall'impatto di un oggetto su una parete o su di un solaio)
- ▶ rumori **da impianti continui e discontinui** (provocati da apparecchiature come: ascensori, aria condizionata, tubazioni etc.)

Ognuno ha caratteristiche proprie e va affrontato con metodologie diverse.

Il termine SUONO o RUMORE si sviluppa in tre fasi:

- ▶ **emissione**
- ▶ **propagazione**
- ▶ **ricezione**

Dal punto di vista fisico è la rapida variazione di pressione atmosferica generata da un corpo vibrante es. le nostre corde vocali, il piatto di una batteria etc. (**emissione**), che attraversa un corpo con caratteristiche elastiche es. aria (**propagazione**) e che trasporta questa energia fino a raggiungere il nostro timpano (**ricezione**).

Se trasferiamo su un grafico cartesiano le sequenze di variazione di pressione caratterizzate da un susseguirsi di compressione e rarefazione di particelle atmosferiche ($300.000 /\text{cm}^3$), otterremo una curva sinusoidale che descriverà appunto un'onda (fig. 2).

Le particelle non subiscono spostamenti ma ruotano intorno alla loro posizione di equilibrio trasmettendo **esclusivamente energia**.

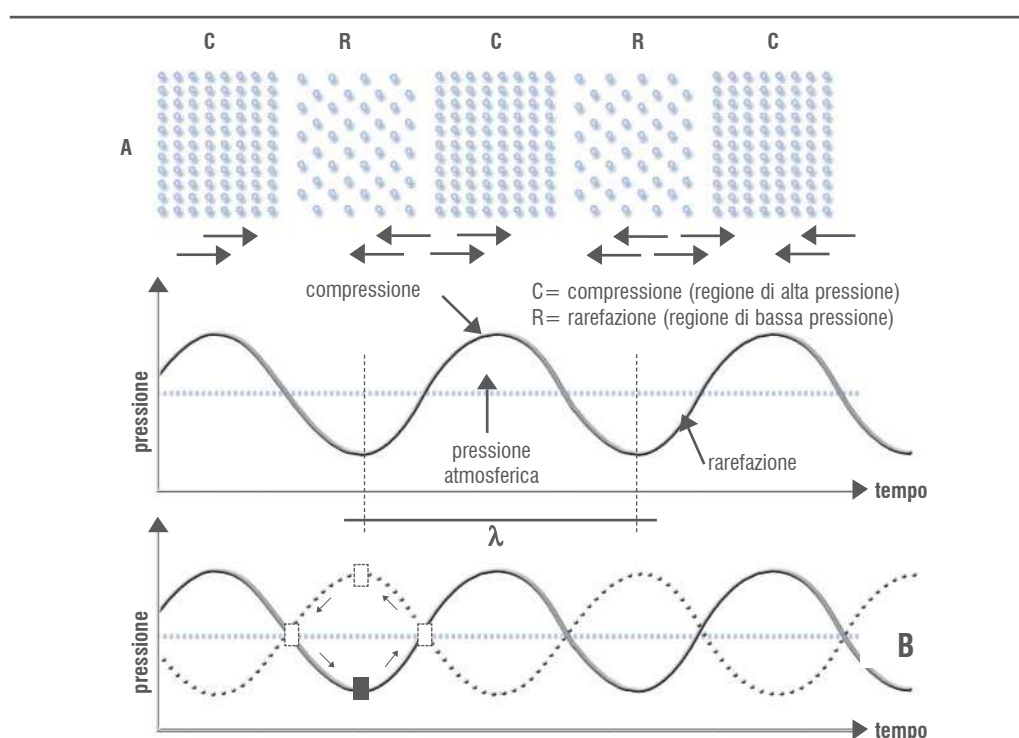


FIG. 2

Le grandezze delle onde sonore sono:

- ▶ **frequenza** "f" espressa in Hz, equivale al numero di cicli nell'intervallo di tempo di un secondo. Affinchè queste pulsazioni possano essere percepite dall'orecchio umano esse devono essere comprese tra 20 e 20.000 Hz;
Hertz = velocità del suono (m/sec) / lunghezza d'onda (m)
- ▶ **lunghezza d'onda** "λ" equivale alla distanza, espressa in metri, fra una compressione o una rarefazione e la successiva;
- ▶ **periodo** "T" equivale all'intervallo di tempo tra due istanti consecutivi nei quali si ha un massimo e un minimo della pressione, ossia l'inverso della frequenza (1/f);
- ▶ **velocità** "c" equivale alla velocità di propagazione che risulta proporzionale alla densità del mezzo attraversato;

$$c = k \sqrt{E/m}$$

$$\lambda = cT = c/f$$

c=velocità propagazione m/s
 k=costante
 E=modulo elasticità N/m²
 m=densità kg/m³

LA VELOCITÀ È PROPORZIONALE ALLA DENSITÀ DEL MEZZO

MEZZO	temperatura C°	v. (m/s)	
<i>ossigeno</i>	0	317	
<i>aria</i>	20	343	1200Km/h=0.333Km/sec=1Km ogni 3 sec
<i>piombo</i>	20	1230	
<i>idrogeno</i>	20	1286	
<i>acqua</i>	20	1450	
<i>legno</i>	20	3300	
<i>rame</i>	20	3560	
<i>mattoni</i>	20	3600	
<i>cemento</i>	20	3700	
<i>alluminio</i>	20	5100	
<i>ferro</i>	20	5130	
<i>granito</i>	20	6000	

FIG. 3

L'onda sonora dovrà dunque usufruire di un mezzo con caratteristiche elastiche perché possa attraversare lo spazio tra l'emissione e la ricezione e la sua velocità sarà proporzionale alla densità del mezzo usato (fig. 3).

Usufruento dell'aria come mezzo elastico l'energia sonora percorre 1 km in 3 secondi. Osserviamo un temporale: il tuono ed il lampo sono sincroni ma noi avvertiamo il fenomeno in tempi differenti; ciò è dovuto alla diversa velocità di propagazione:

luce 300.000 km/sec.
suono 343 m/sec.

Avvertire con più o meno ritardo questo fenomeno ci fa intuire la distanza ed il verso di spostamento del temporale.

Esaminiamo un vecchio giocattolo:
collegiamo due bicchierini di plastica con uno spago sottile (fig. 4).

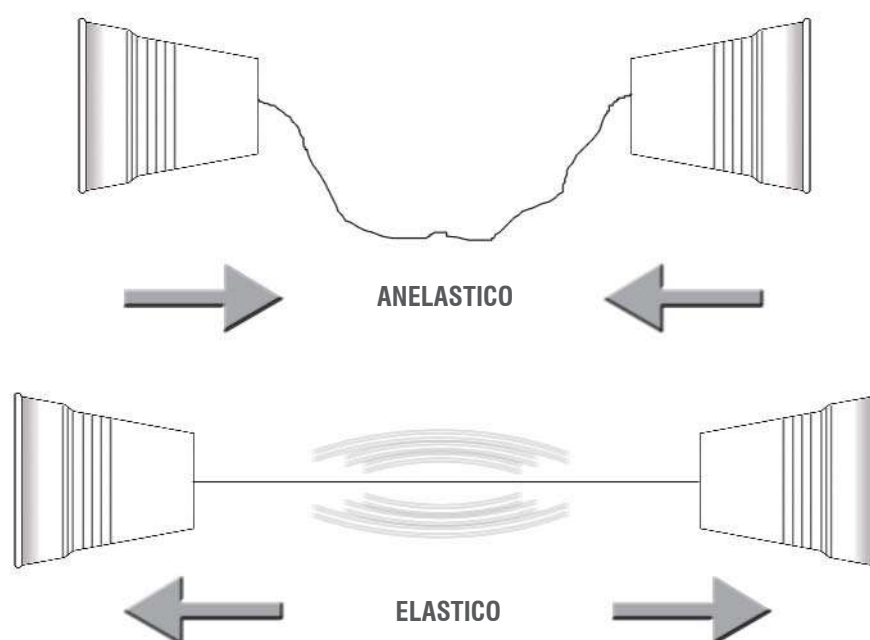


FIG. 4

Conferiamo delle caratteristiche elastiche al sistema interfonico mettendo in tensione lo spago. In questa condizione lo spago, una volta sollecitato dall'energia sonora, entrerà in vibrazione trasformandosi in veicolo di trasmissione. Annullando la tensione il sistema diventerà anelastico; lo spago non potrà più vibrare e sarà azzerata la trasmissione.

L' esempio sottolinea due cose fondamentali:

- ▶ L' assoluta necessità di avere un corpo elastico per ottenere una trasmissione acustica e di conseguenza l' importanza di usare un elemento anelastico come elemento inibente.
- ▶ Quanto sia facile realizzare un ponte acustico (in questo caso la sezione dello spago).
- ▶ Quanto sia delicato un qualsiasi sistema fonoimpedente.

QUALCHE FORMULA ...

La pressione sonora (**P**) viene misurata in Pascal ($1\text{Pa}=1\text{ N/m}^2$) e varia da:

$$2 \times 10^{-5} \text{ Pa} < P < 2 \times 10^3 \text{ Pa}$$

soglia di udibilità < P < lesioni uditive

Una sorgente sonora irradia una certa potenza **W** misurata in watt ($1\text{W}=1\text{Nm/s.}$) es:

$$\text{voce umana } 10^{-6} \text{ w}$$

$$\text{Jet } 10^4 \text{ w}$$

La potenza **W** trasportata da un'onda su un fronte di superficie **S** (m^2) si definisce **intensità sonora**.

$$I=W/S$$

Il campo di variabilità delle pressioni può variare con un rapporto da 1 a 10 milioni.

Il rapporto tra la pressione minima percepibile ($0,00002$ Pascal) e la massima sopportabile (20 Pascal), è pari ad un milione. Per evitare di lavorare su di un'area così vasta si è ricorso all'uso del logaritmo come compressore di scala.

L'impiego del logaritmo è anche giustificato dal fatto che tutte le sensazioni entrano nel nostro corpo compresse, nel senso che al raddoppio dello stimolo non c'è mai un raddoppio della sensazione.

Mettendo in relazione l'intensità sonora misurata con il fonometro e l'intensità "zero" (I_0) corrispondente alla nostra soglia uditiva, si identifica il livello di intensità sonora che (espressa in dB, compressa logaritmicamente e moltiplicata per 10), sarà:

$$L_i = 10 \log(I/I_0)$$

L'equivalente di pressione sonora sarà:

$$L_p = 10 \log(p/p_0)^2 = 20 \log(p/p_0)$$

Misurando una intensità sonora pari a zero avremo: $I = I_0$

$$L_i = 10 \log 1 \quad [\log 1 = 0]$$

$$L_i = 10 \times 0 = 0$$

Raddoppiando l'intensità [$I=2I_0$]

$$L_i = 10 \log 2 \quad [\log 2 = 0,3]$$

$$L_i = 10 \times 0,3 = 3$$

Applicando gli stessi dati sulla pressione avremo:

$$\text{Livello di pressione sonora } P = P_0 \quad \Rightarrow \quad L_p = 0$$

$$P = 2P_0 \quad \Rightarrow \quad L_p = 6$$

Ciò sta a dimostrare che al raddoppio dell'energia acustica corrisponderà un aumento di 3 dB se misuriamo il livello di intensità sonora, e di 6 dB se misuriamo il livello di pressione sonora.

Questo ci fa capire come sia possibile che una matita su di un foglio di carta produca 23 dB ed un Jet 140 dB.

Certo non ci vogliono 6 matite per fare il rumore di un aereo.

L'ORECCHIO È SENSIBILE A LIVELLI DI UDIBILITÀ CHE VARIANO DA 0 a 140 dB (soglia del dolore)

140	soglia del dolore	LESIONE ALL'ORECCHIO
120	claxon a m 1	
110	orchestra	
100	metropolitana	ZONA A RISCHIO
90	officina	
80	via a medio traffico	
75	voce forte	
70	conversazione - auto	ZONA DI FATICA
60	ufficio	
50	salotto	RIPOSO (giorno)
40	abitazione	
30	camera da letto	
20	studio di radiodiffusione	RIPOSO (notte)
0	soglia di udibilità	

FIG. 5

AL RADDOPPIO DI UNA ENERGIA SONORA CORRISPONDE UN AUMENTO DI 3 dB.

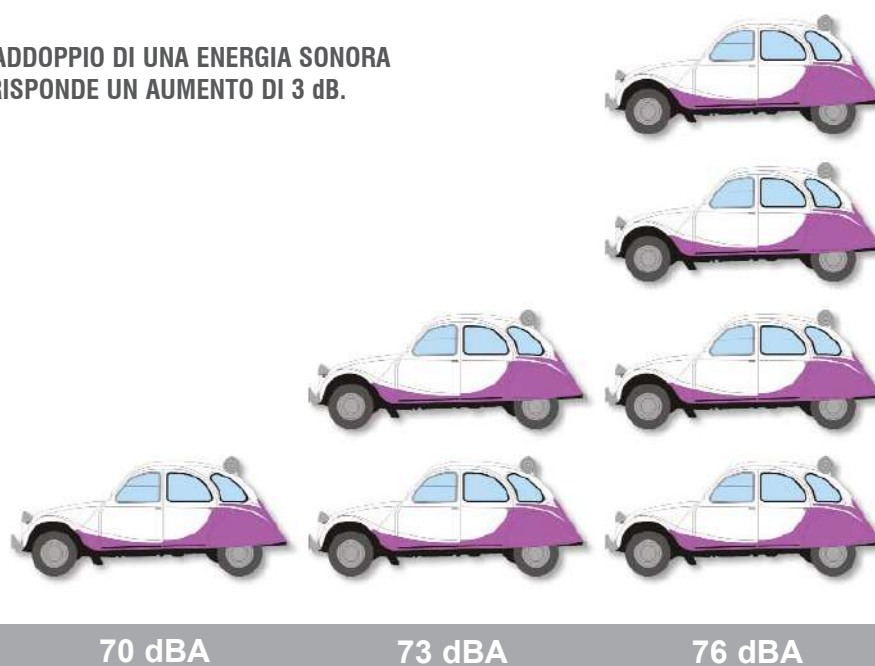


FIG. 6

Come abbiamo visto in precedenza, caratteristica importante del rumore è la **frequenza**, cioè il numero di variazioni di pressione sonora in un secondo; la sua unità di misura è l'**Hertz** (Hz).

L'orecchio umano percepisce suoni da gravi ad acuti, che variano da 20Hz a 20.000Hz (20 Hz 20 KHz) sotto i quali abbiamo gli infrasuoni ed oltre i quali abbiamo gli ultrasuoni.

La risposta del nostro sistema uditivo non è comunque costante; esso descrive una curva per ogni livello sonoro ed è più sensibile ai livelli medi ed alti, piuttosto che ai bassi.

È per questo che tarando l'equalizzatore di uno stereo (quindi cercando di tradurre in rette le curve di risposta fonica), non si fa altro che alzare al massimo i bassi, diminuire i medi e alzare un pò gli alti. In sostanza si descrive una curva (detta curva di ponderazione) che verrà usata per equilibrare le risposte del nostro orecchio alle varie frequenze.

Che cos'è questa curva?

Il fonometro (apparecchio misuratore di rumori) al variare della pressione sonora, ci fornisce una risposta di tipo lineare; munendolo di un filtro si riesce ad ottenere uno strumento capace di comportarsi in maniera simile all'orecchio umano, cioè poco sensibile alle basse frequenze e molto alle alte.

La curva di risposta del filtro (curva di ponderazione "A") è esattamente simmetrica e quindi contraria a quella dell'orecchio umano (fig. 7).

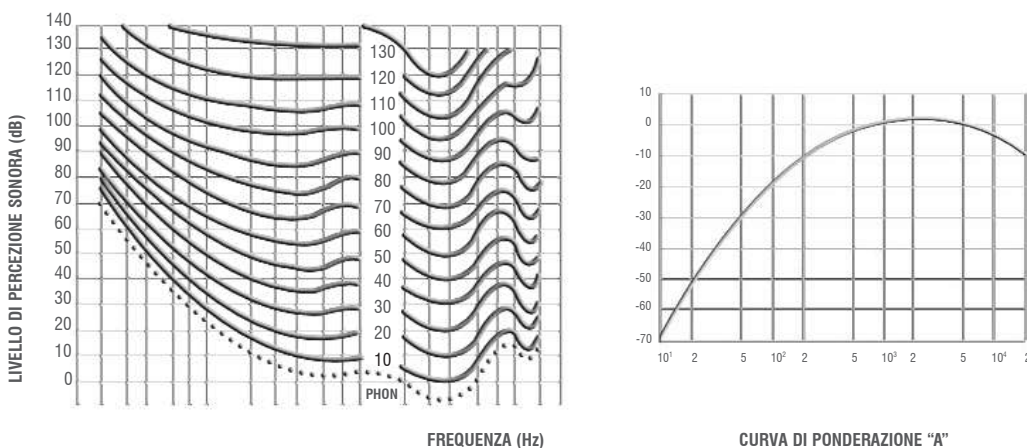


FIG. 7

FONOIMPEDENZA

Quando l'energia sonora (W) incontra un ostacolo, si verificano fenomeni di scomposizione: parte di questa energia oltrepassa l'ostacolo (W_t energia trasmessa), parte rimbalza e viene riflessa nell'ambiente (W_r energia riflessa) e parte viene assorbita dalla struttura stessa (W_a) trasformandosi in calore $W_i = W_t + W_r + W_a$ (fig. 8).

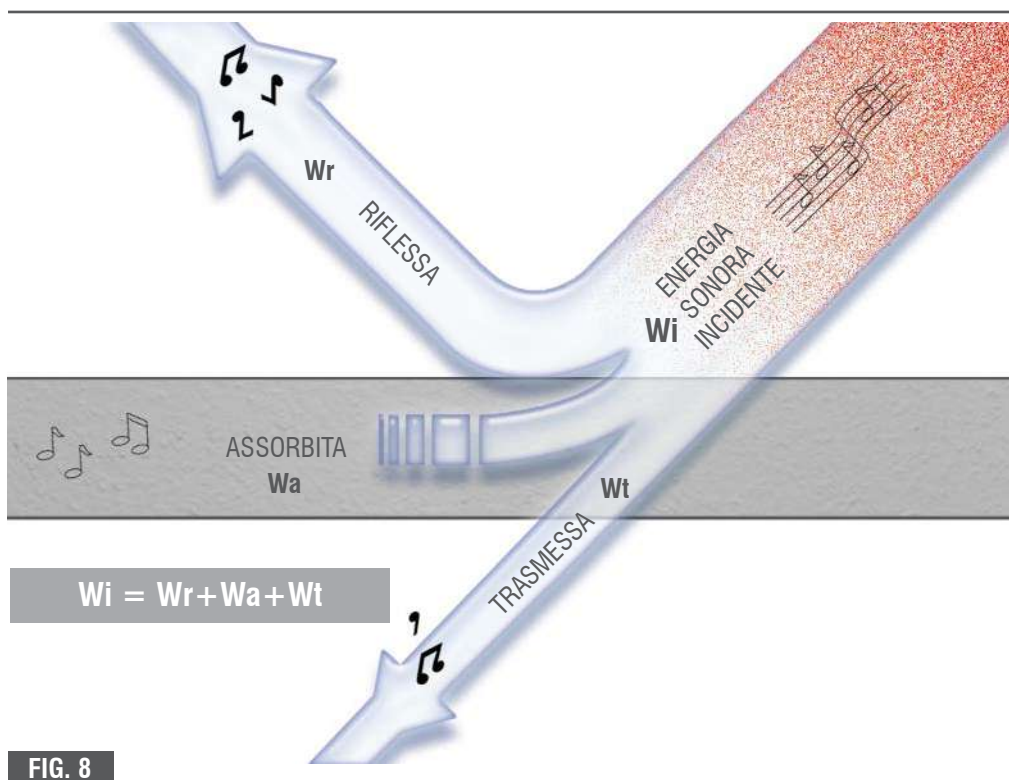


FIG. 8

Se l'obiettivo è quello di migliorare l'isolamento acustico, si dovrà intervenire, anche in maniera diversa, su queste tre componenti, soprattutto sulla componente trasmessa W_t .

ENERGIA TRASMESSA (Wt)

Ogni elemento monolitico registra dei poteri fonoisolanti legati a due fattori: frequenza e peso;

► frequenza

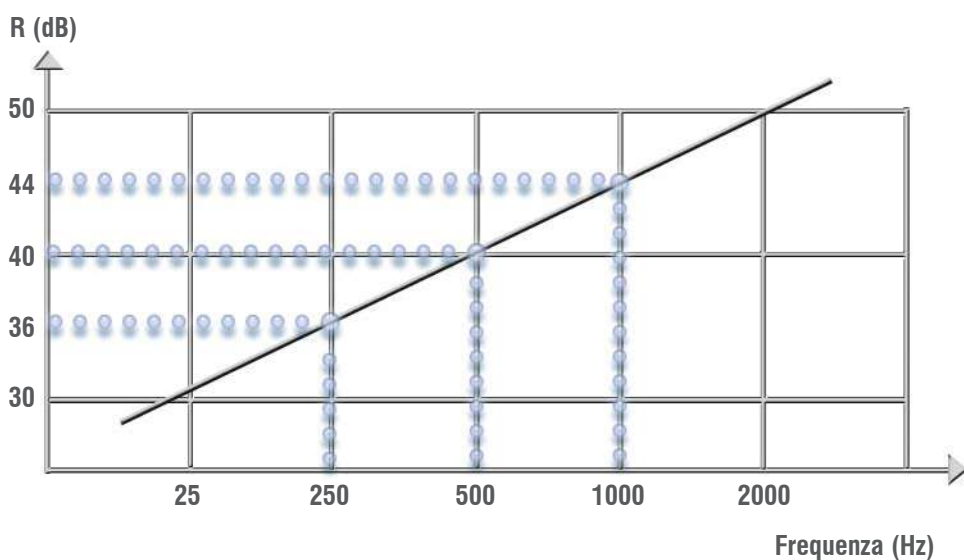


FIG. 9

Ad ogni raddoppio di **frequenza** corrisponde un aumento di circa 4 dB di potere fonoisolante (R^*) (fig. 9).

(*) Il potere fonoisolante, senza aggiunta di definizioni, è una misura di laboratorio; inserendo l'elemento di cui si vuole definire l'R, come parete di separazione tra due ambienti, si fa in modo che il rumore passi dalla stanza disturbata a quella disturbante solo attraverso il divisorio. La stessa misura rilevata in cantiere sopporterà interferenze dovute a transiti di energia create dalla presenza di altre vie di fuga, oltre l'unico elemento diaframmatico (fig. 10).

PROVA SPERIMENTALE IN LABORATORIO

Il sistema di verifica è realizzato ad un impianto assolutamente isolato che consente un'unica via di fuga.

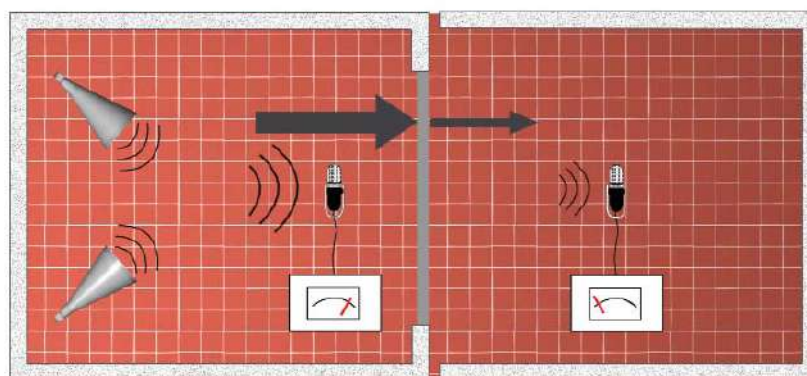
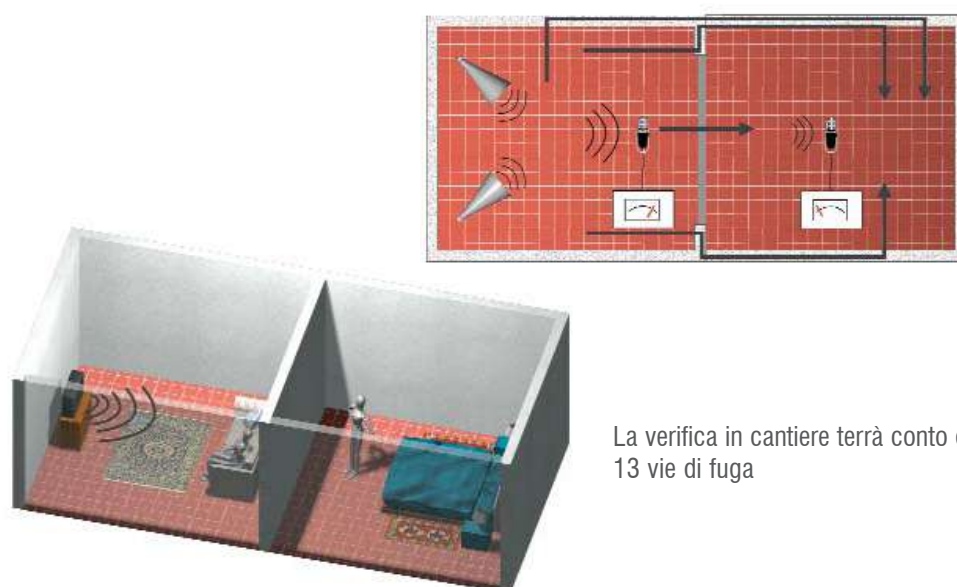


FIG. 10

Il totale di queste trasmissioni sarà di 13 vie di conduzione sonora con le quali dovremo confrontarci (fig. 11). Dal punto di vista della formula l'isolamento acustico risulta essere semplicemente la differenza di livello sonoro tra i due ambienti: una parete molto buona restituirà un risultato elevato.



La verifica in cantiere terra conto di 13 vie di fuga

FIG. 11

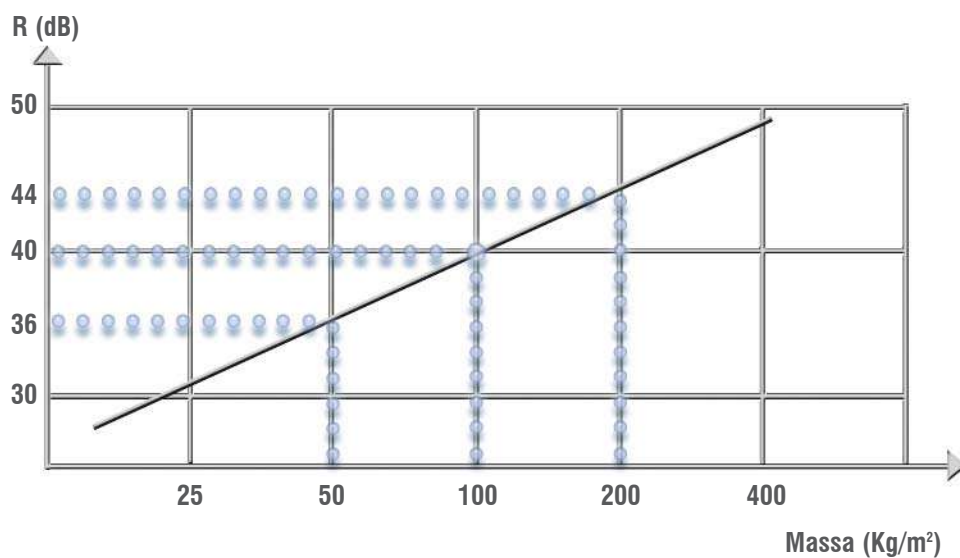


FIG. 12

► **peso**

Ad ogni raddoppio di **peso** corrisponde un aumento di potere fonoisolante (R) di circa 3-4 dB = legge di massa (fig. 12);

CONSIDERIAMO UNA MASSA DI 100 Kg/m²

- A 250 Hz determinerà un potere fonoisolante di 36 dB
- A 500 Hz determinerà un potere fonoisolante di 40 dB
- A 1000 Hz determinerà un potere fonoisolante di 44 dB

► Legge di massa

$$R = 20 \log fMs - 48$$

Il potere fonoisolante di elementi monostato realizzati con materiale omogeneo e con rigidità trascurabile, varia di circa 3dB quando la massa superficiale si raddoppia o si dimezza (fig. 13).

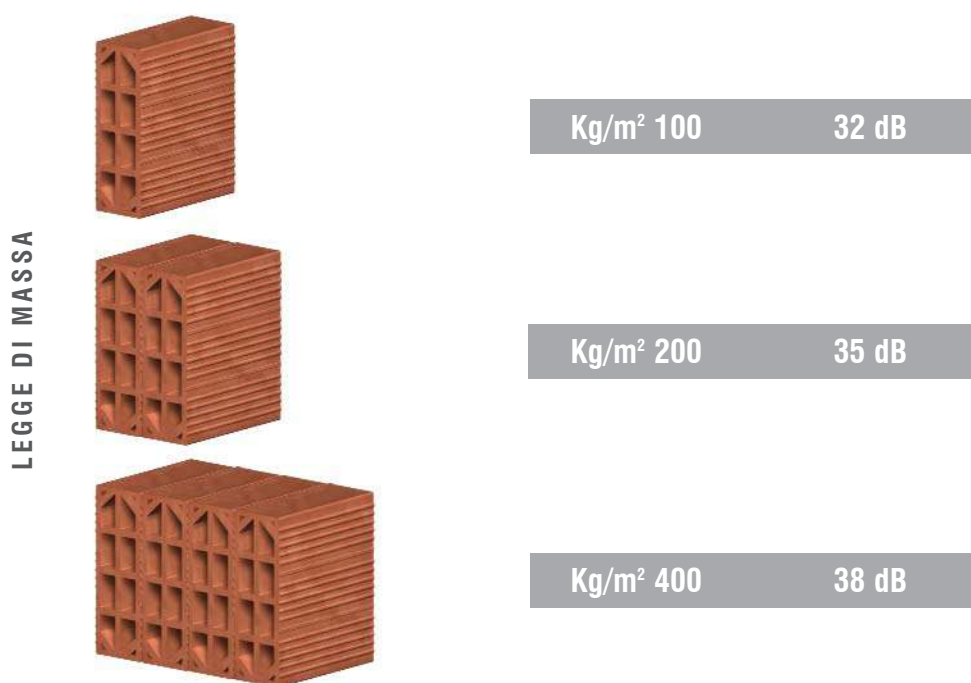


FIG. 13

Se andiamo a verificare in laboratorio un elemento monolitico come la tramezza, vedremo che il grafico non è proprio così. Avvengono dei fenomeni che la legge di massa non può prevedere perché non è stata concepita in tal senso (fig. 14).

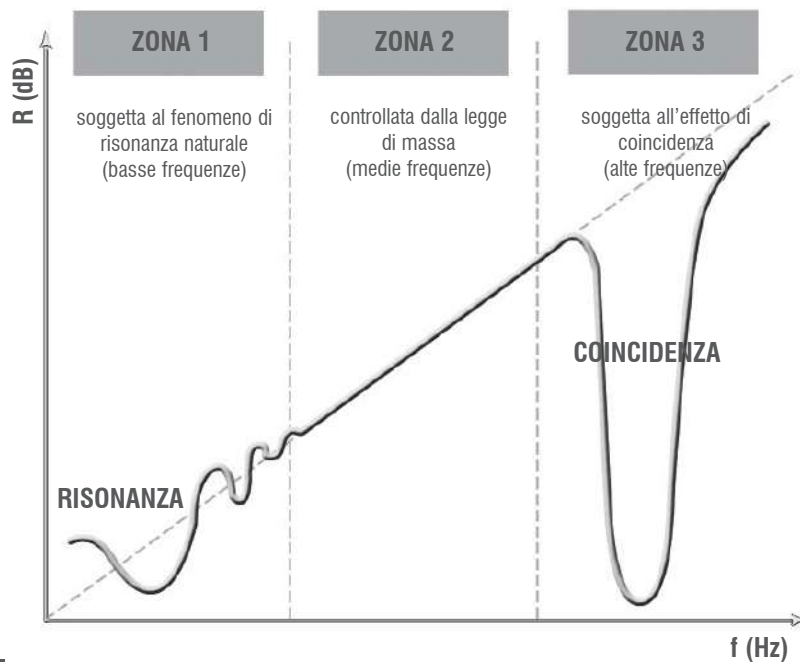


FIG. 14

- ▶ **RISONANZA:** alle basse frequenze il comportamento del materiale assume valenze molto scomposte, dettate dalle frequenze naturali.
- ▶ **COINCIDENZA:** alle alte frequenze, quando la velocità delle onde flessionali corrisponde alla velocità del suono nell'aria, il grafico tende a zero.

ALLE BASSE FREQUENZE...

Consideriamo una parete (per comodità una parete sottile in legno o acciaio vincolata ai bordi) assimilabile ad un sistema elastico; una volta sollecitata essa vibra ad una frequenza caratteristica di questa struttura ed essendo assimilabile ad un elemento bidimensionale avrà più modi di vibrare. I primi sono caratterizzati dalle dimensioni, dalle condizioni di vincoli, dall'elasticità del sistema che governa la trasmissione del suono. Tanto meno vibra, tanto meno essa trasmette energia. La parete, a queste frequenze naturali, comincia a vibrare e trasmette energia dall'altra parte. La trasmissione di energia è favorita in corrispondenza di queste frequenze naturali.

$$f = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Questo succede alle basse frequenze perché le pareti hanno grandi dimensioni; se invece consideriamo una finestra, la frequenza di risonanza si alza interessando il campo uditivo.

Il piombo, ottimo materiale fonoimpedente, oltre ad avere un'ottima lavorabilità ed una consistente massa, è un materiale cedevole, quindi con una frequenza di risonanza molto bassa, abbondantemente sotto l'udibile, ed una frequenza di coincidenza oltre l'udibile per cui il campo in cui vale la "legge di massa", è molto vasto.

Nel monolite il fattore importante è la sua massa

Ma quando un elemento monolitico non è più sufficiente, dobbiamo ricorrere ad elementi stratificati. Ricorriamo quindi ad un isolamento dinamico (fig. 15) che una sintesi fisica potrebbe identificare in un "ammortizzatore";



FIG. 15

Esempio:

Immaginiamo tre stanze A, B e C (fig. 16).

L'energia sonora emessa dalla stanza A, a fatica raggiungerà la stanza C.

L'isolamento risulterà ottimo. Più avvicineremo le due pareti, costringendo il vano B, più l'isolamento tenderà a peggiorare; l'aria, sempre più rigida, trasmetterà meglio riducendo così la fonoimpedenza. Considerando la rigidità dell'aria tanto più elevata quanto più bassa è la sua frequenza, con l'assottigliarsi dell'intercapedine le due pareti oscilleranno in sintonia tanto da non avere nessun beneficio dal sistema.

È estremamente importante tener presente che l'aria trasmette in misura diversa al variare della frequenza.

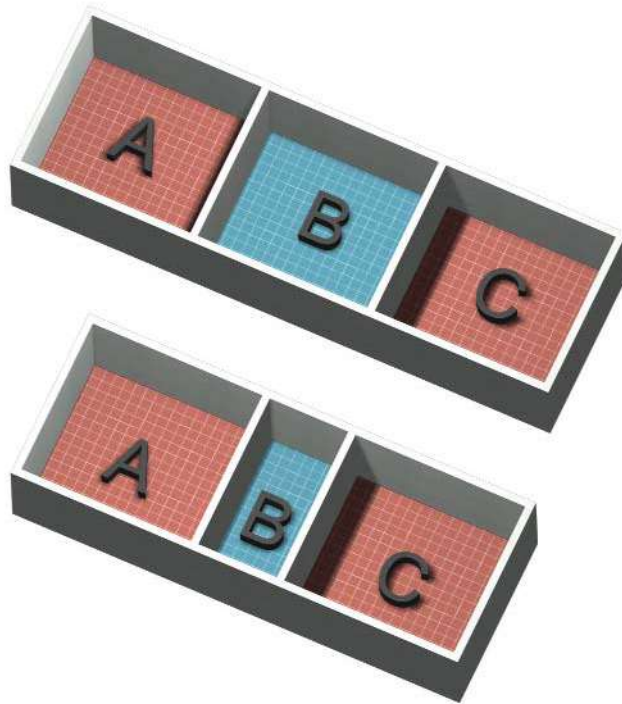


FIG. 16

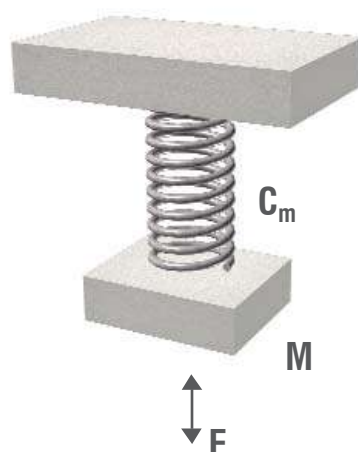
- ▶ A bassa frequenza è rigida e si muove in sintonia con la muratura; *l'efficienza è contenuta.*
- ▶ Ad alta frequenza, viceversa, l'aria è cedevole e quindi trasmette male il campo acustico; *l'isolamento è elevato.*

Se nella catena di trasmissione si inserisce anche del materiale fonoassorbente, nel momento in cui l'energia si propaga al suo interno, parte dell'energia verrà dissipata sotto forma di calore, inibendo la classica formazione di onde stazionarie che, rimbalzando da una parete all'altra, si generano all'interno dell'intercapedine.

Condizione fondamentale per un buon isolamento è garantire che i meccanismi di trasmissione da una parete all'altra risultino bassi, quindi sarà opportuno garantire che esse siano svincolate.

Le murature standard non raggiungono accettabili valori di fonoisolamento.

È in questa circostanza che all'interno della stratificazione muraria sarà necessario inserire un pannello fonoimpedente capace di soddisfare i valori imposti dalla normativa.



massa - molla - massa

FIG. 17

Un sistema dinamico può essere costruito in svariati modi ed è assimilabile ad un composto meccanico di due masse legate con una molla (fig. 17).

Il suo comportamento si diversifica al variare della frequenza: l'inizio è stabile, poi subisce un peggioramento ed infine permette di isolare.

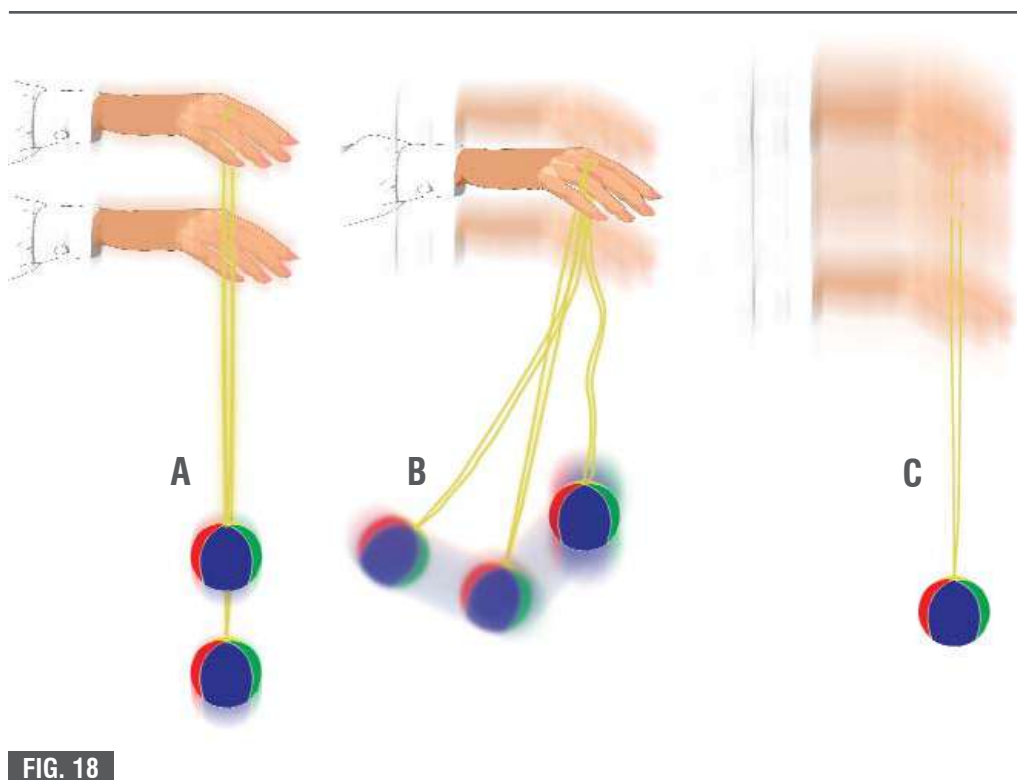
Supponiamo di prendere una palla alla quale leghiamo un elastico a sua volta legato alla nostra mano (fig. 18).

Facendo oscillare con una frequenza molto bassa la mano, la palla segue la molla senza difficoltà (A); aumentando la frequenza la palla genera delle oscillazioni superiori a quelle della mano entrando in risonanza (B). Aumentando ulteriormente la frequenza, la palla sta praticamente ferma: l'elastico riesce a fungere perfettamente da molla, assorbendone l'energia (C).

Trasferendo l'esempio in un diagramma constateremo che a frequenze molto basse il sistema trasmette integralmente; di seguito, nell'ambito della risonanza, l'isolamento peggiora per poi iniziare a guadagnare nella terza fase.

Quindi tutti questi sistemi, sia per pareti che per pavimenti, hanno valenza nulla alle bassissime frequenze, si trasformano in amplificatore nella fase centrale, per poi trasformarsi in vero e proprio isolante nella terza fase.

L'importante sarà quindi confinare le prime due fasi al di sotto della sensibilità dell'orecchio umano, mediamente compresa tra 125 e 4000 Hz.



R (dB)

f (Hz)

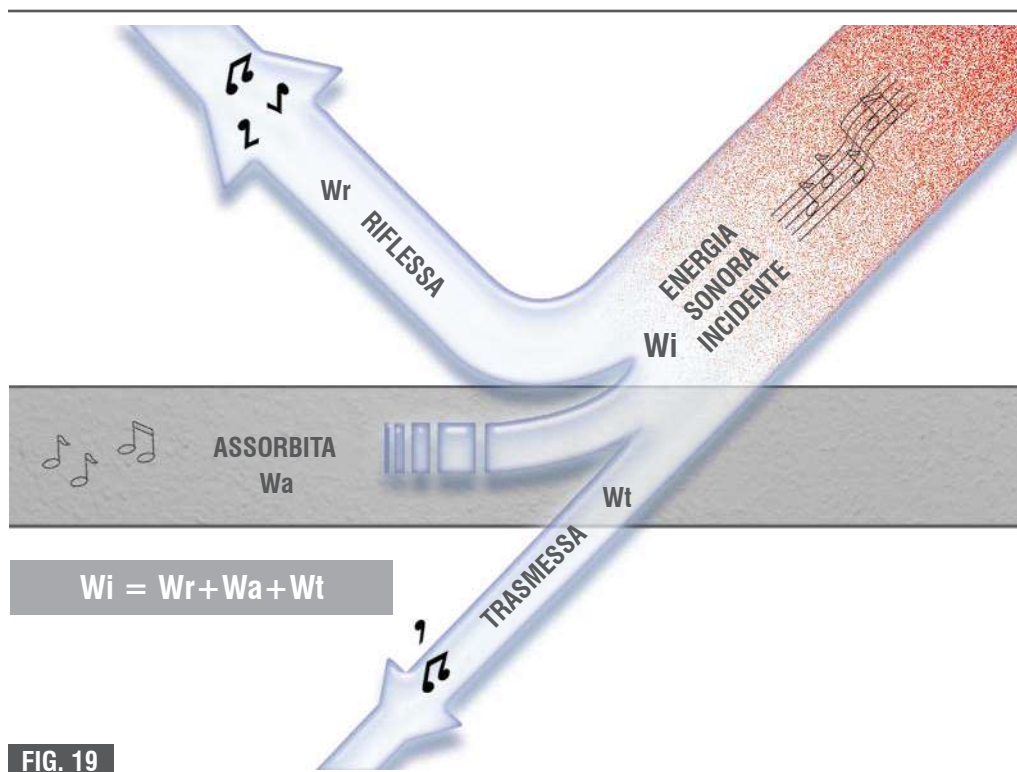
FONOASSORBENZA - ENERGIA RIFLESSA W_r

All'interno della formula

$$W_i = W_t + W_r + W_a$$

W_r rappresenta l'energia riflessa, vale a dire la quantità di energia che stanza all'interno del locale di emissione, rimbalzando sulle pareti perimetrali, il soffitto ed il pavimento (fig. 19).

L'energia emessa descrive percorsi diversi per arrivare al punto di ricezione, coprendo ognuno una distanza diversa.



Il ritardo così provocato genera quel fastidioso rimbombo (riverbero), che spesso notiamo negli ambienti vuoti (fig. 20). Per evitare questo disturbo si rende necessario introdurre nell'ambiente elementi capaci di evitare che l'energia rimbalzi, quindi aventi struttura porosa.

Generalmente l'eco che avvertiamo in cantiere tende a scomparire a mano a mano che vengono aggiunti elementi costruttivi o di arredo, con forti caratteristiche di fonoassorbente. Qualora il tutto non fosse sufficiente, è necessario ricorrere ad elementi addizionali, pannelli in genere con struttura porosa a cellula aperta, capaci di imprigionare l'energia sonora e trasformarla in calore (fig. 21).

Il percorso più lungo dell'energia sonora causa ritardo e quindi riverbero.

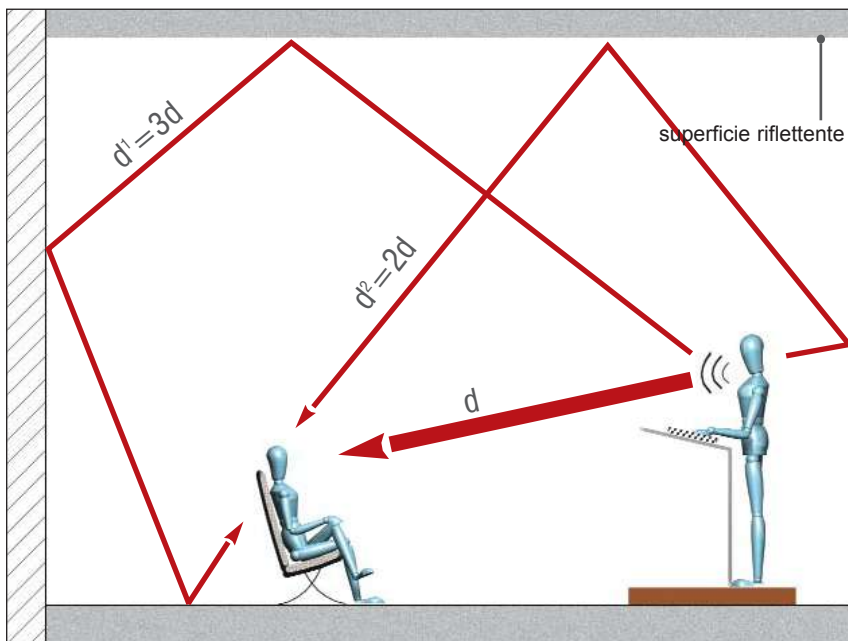


FIG. 20

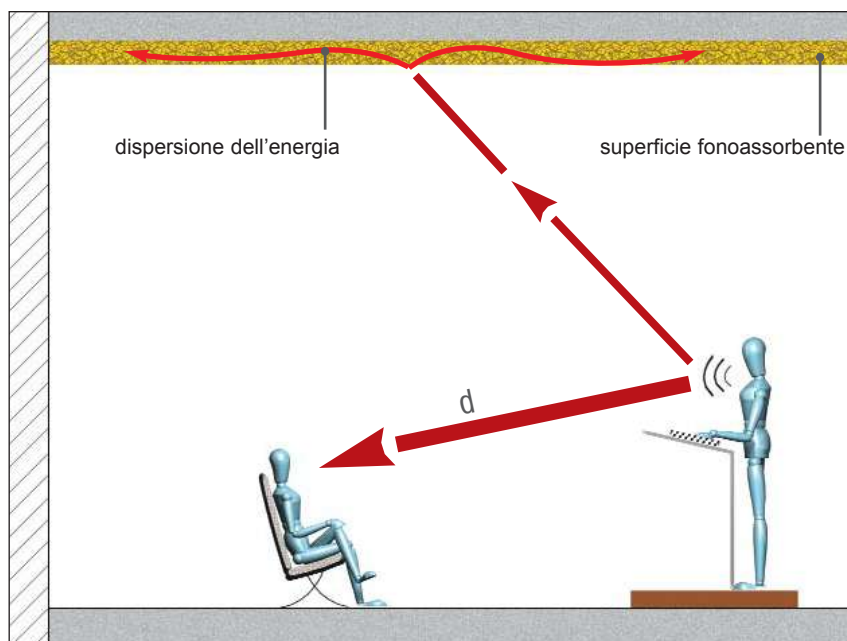


FIG. 21

ENERGIA ASSORBITA

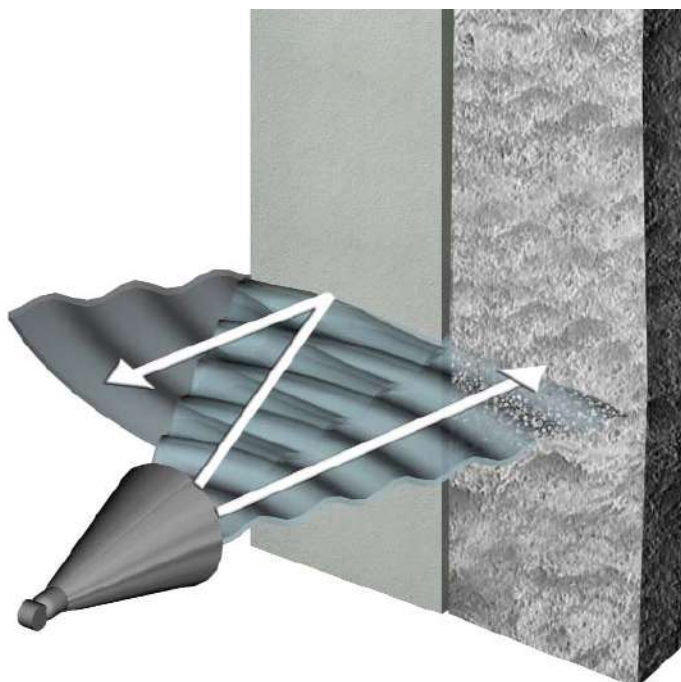


FIG. 22

MIGLIORARE L'ASSORBIMENTO

Per ottenere un miglioramento dell'efficacia, alle basse frequenze è necessario collocare il pannello ad una distanza

pari a $\lambda/4$ dalla parete rigida

Esempio:
a 2000 Hz

corrisponde una lunghezza d'onda
 $\lambda = c/f = 334 / 2000 = \text{ml } 0.17$

dovremmo adottare un pannello di cm $17/4 = 4.25$

Se applichiamo l'esempio precedente
a 500 hz

dovremo usare un pannello di **cm 17**

questo sta a testimoniare quanto sia difficile assorbire le basse frequenze

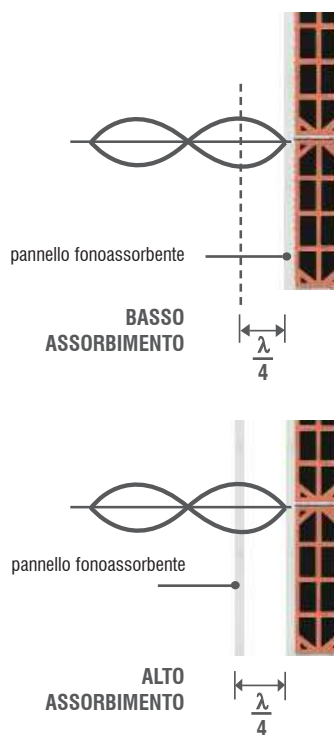
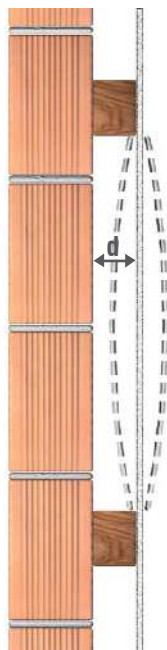


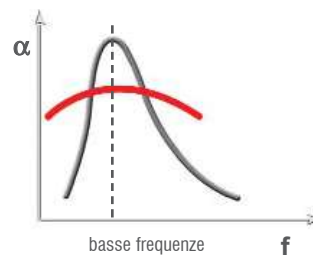
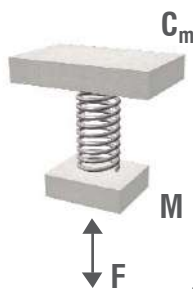
FIG. 23



RISONANZA DI MEMBRANA

Pannello - aria intercapedine
L'aria chiusa nella cavità funziona da

AMMORTIZZATORE



massa - molla - massa

FIG. 24

Oltre all'uso di materiali con superficie porosa, si possono realizzare elementi fonoassorbenti utilizzando sistemi risonanti.

Esempio:

Immaginiamo un pannello sottile distanziato da una struttura muraria (fig. 24).

Al sopraggiungere del campo acustico il pannello entra in movimento. L'aria retrostante funge da ammortizzatore esercitando la sua caratteristica di elasticità. La sintesi fisica è quindi una massa vincolata ad una molla.

Il pannello verrà identificato nella massa e avrà una sua densità superficiale (d); l'aria sarà equivalente alla molla e avrà caratteristiche di elasticità (K).

Immaginiamo di sollecitare il pannello; esso si sposterà dalla sua posizione di equilibrio iniziando a vibrare ad una frequenza ben precisa

$$F = \frac{1}{2} pv k/m$$

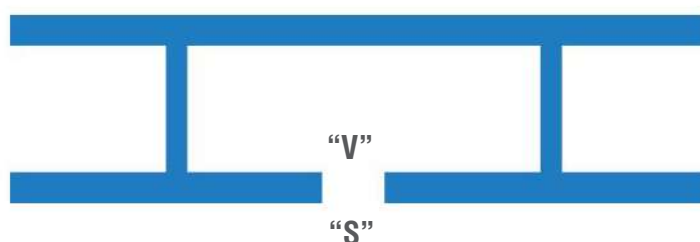
La vibrazione genera una forte velocità delle particelle, quindi una forte dissipazione e quindi una trasformazione di energia acustica in calore.

Il sistema funziona in maniera estremamente selettiva generando graficamente un picco.

Esso può comunque essere ammorbidito e quindi interessare un "range" più esteso di frequenza, inserendo al suo interno un materassino fonoassorbente.

In realtà il "k" è anche inversamente proporzionale allo spazio interessato dall'aria, quindi a "d" (distanza dell'intercapedine). Tanto più esso è grande tanto più è piccolo il "k" e quindi più cedevole.

Un altro sistema per realizzare materiali fonoassorbenti con proprietà selettive, è quello del risonatore di Helmutz - risonanza di cavità (fig. 25).



La cavità "V", comunicante con l'ambiente perturbato attraverso l'apertura a collo "s", è in grado di dissipare in modo efficace e selettivo energia acustica nell'intorno della frequenza di risonanza (f_0).

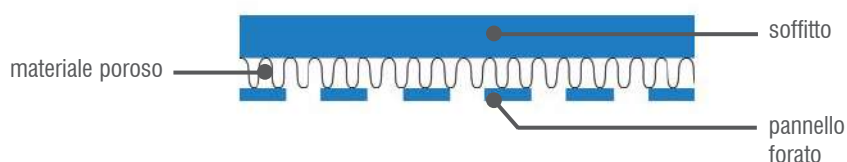


FIG. 25

Una parte dell'aria che è contenuta nel collo di questa cavità "s", funziona come una massa e l'aria all'interno della cavità "v" ancora una volta funziona come una molla.

Anche questi sistemi sono caratterizzati da una loro frequenza ben precisa che dipende dalla massa (in sostanza dalla dimensione del foro del pannello e dalla dimensione del volume interno).

Da un punto di vista pratico un controsoffitto fonoassorbente si comporta come segue: l'energia sonora che oltrepassa il foro intercetta all'interno della cavità un volume di pertinenza riconducibile allo schema precedente; ogni forellino viene a determinare a seconda del volume che sottende, dei volumi che si comportano come delle molle (fig. 26).

Un pannello così formato assume delle proprietà fonoassorbenti fortemente selettive ad una certa frequenza.

Se invece i forellini sono diversi, avremo frequenze diverse, per cui alla fine il risultato potrà essere una curva costruita ad arco che abbraccia una pluralità di frequenze.

Se all'interno di questa intercapedine inseriamo materiale fonoassorbente i vari picchi verranno smussati, realizzando un diagramma simile ad una curva quasi continua a più ampio spettro (fig. 27).

Schema distributivo energia sonora all'interno di una intercapedine di controsoffitto

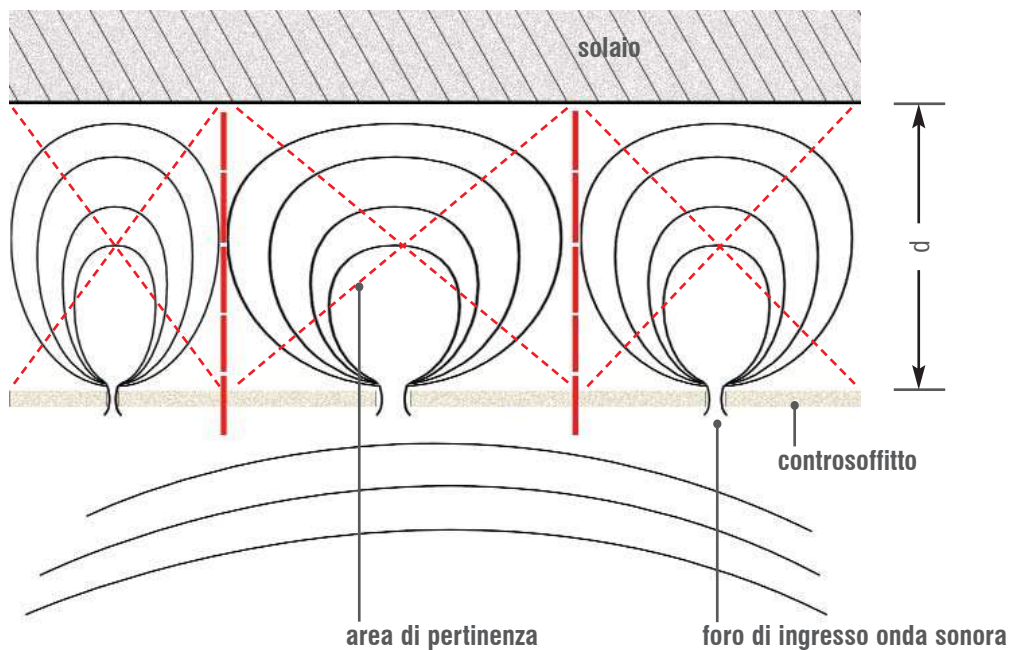


FIG. 26

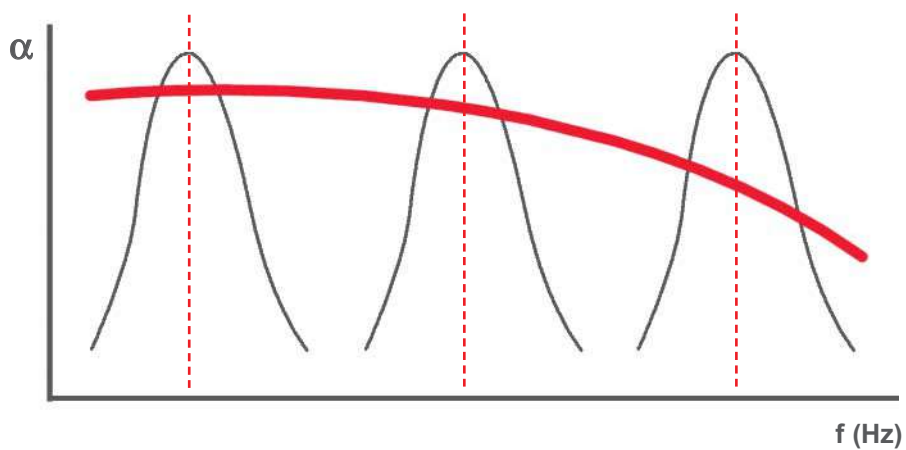
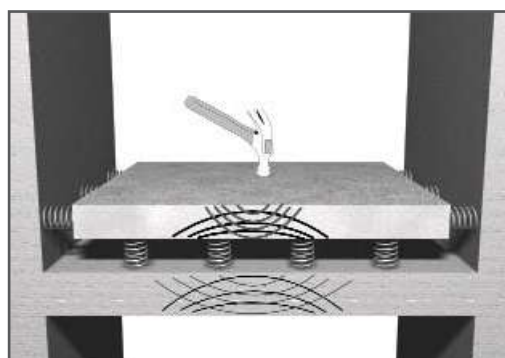


FIG. 27

RUMORI DA CALPESTIO

A differenza del rumore aereo, che viene assorbito dall'aria e si dissipa in ragione della distanza, il rumore impattivo (il classico piatto che si infrange sul pavimento, la sedia che si sposta trascinandola o la lavatrice in centrifuga) coinvolge nella sua vibrazione altri elementi, generando una sorta di amplificazione, veicolata da strutture orizzontali (solai), o verticali (murature in genere) superando anche notevoli distanze.



**IL RUMORE DA CALPESTIO
VA AFFRONTATO
CON LO STESSO CRITERIO:**

MASSA - MOLLA - MASSA

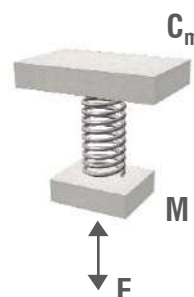


FIG. 28

A questo punto, nella necessità di esaminare il fenomeno per ridurre le sollecitazioni meccaniche che insistono sulla struttura, si rende opportuno realizzare un pavimento galleggiante, usufruendo di un sistema che è ancora riconducibile al sistema massa molla massa (fig. 28).

Il solaio, sottoposto a sollecitazione, in corrispondenza della sua frequenza naturale, genererà una grande trasmissione.

L'energia trasmessa, rispetto a quella incidente, raggiungerà il suo massimo in corrispondenza della frequenza naturale del solaio (il newton rilevato da una parte lo ritroveremo esattamente uguale dall'altra), ma al di sopra di questa soglia la quantità di energia trasmessa risulterà sempre più piccola.

La soluzione consiste nel progettare questo pavimento galleggiante con delle frequenze naturali che siano le più basse possibile rispetto alle frequenze di eccitazione del pavimento.

I risultati si ottengono lavorando ancora sul rapporto k/m utilizzando massetti grandi, forti spessori, masse elevate.

Ricorrendo all'uso di elementi elastici, con un "k" molto basso, (quindi con una frequenza naturale molto bassa) si potrà lavorare in un campo di frequenza dove la riduzione delle forze trasmesse risulta enorme.

COME SI MISURA IL RUMORE DA CALPESTIO ?

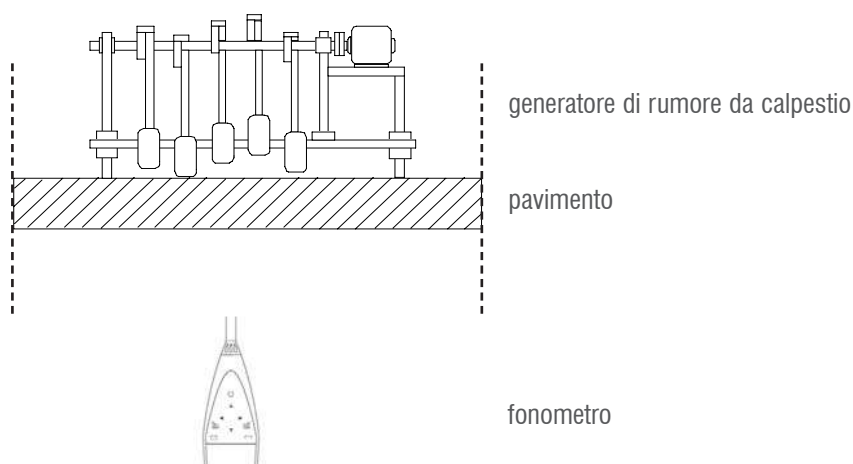


FIG. 29

Operando su strutture orizzontali, siamo costretti, per evitare collassi, ad usare materiali a cellula chiusa che non hanno caratteristiche fonoassorbenti ma che consentono l'uso dell'aria come materiale cedevole, garantendo di rientrare nella posizione iniziale una volta sollecitati a schiacciamento.

Il livello del rumore da calpestio è la misura rilevata nella stanza disturbata da sollecitazioni impattive note di contatto sul solaio.

Tanto minore è il dato rilevato, tanto maggiore risulterà la prestazione del solaio.

SUGGERIMENTI ALLA PROGETTAZIONE

Le nuove normative, come già descritto, impongono dei valori di soglia da rispettare estremamente pesanti e difficili da raggiungere.

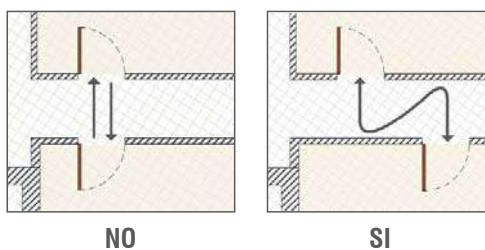
Questo costringe la progettazione ad adoperarsi in modo da agevolare ed alleggerire l'importante compito dei "fonoimpedenti". Quando si progetta, anche se non in maniera esplicita, ci si fa carico di problemi statici legati alla compatibilità dei materiali, a problemi di coibentazione, di isolamento termico, etc.

Alla luce quindi dei limiti descritti si dovrà progettare pensando anche all'inquinamento acustico.

A volte si possono ridurre problematiche anche pesanti con piccoli accorgimenti;

- uno di questi consiste nella realizzazione dei cosiddetti "labirinti acustici": deviare su percorsi più lunghi o articolati l'energia sonora, equivale alla perdita di intensità, quindi alla riduzione del disturbo (fig. 30).

COMUNICAZIONE ACUSTICA TRA AMBIENTI IN FUNZIONE DELLA COLLOCAZIONE DELLE PORTE



PONTE SONORO DOVUTO ALLA VICINANZA DELLE FINESTRE

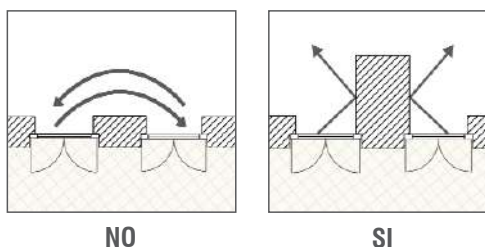


FIG. 30

- Il semaforo è un grande inquinatore acustico, trattenendo ferme auto che sviluppano una elevata energia.
All'intorno di queste sorgenti sonore sarà opportuno creare vie di dispersione e dissipazione e non specchi di riflessione rivolti magari all'interno di corti pensate come luogo di riposo e tranquillità (fig. 31).
Attenzione alla scelta dell'appartamento (fig. 32-33).

VARIAZIONE DELLA MODALITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE SONORE ALL'ESTERNO DI UN INSEDIAMENTO IN FUNZIONE DELLA DISPOSIZIONE PLANIMETRICA DEGLI EDIFICI

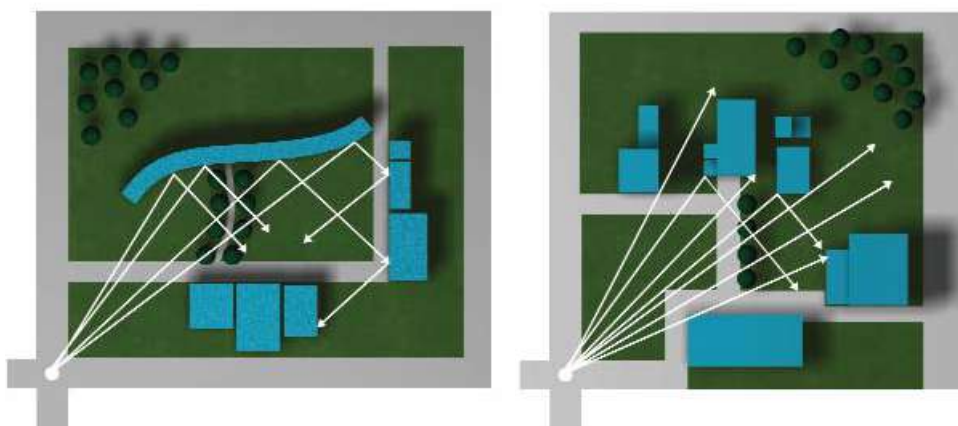


FIG. 31

**EDIFICI ALTI COSTITUISCONO UNA PROTEZIONE ACUSTICA NEI CONFRONTI
DI FABBRICATI BASSI UBICATI DALLA PARTE OPPOSTA
RISPETTO ALLA SORGENTE SONORA**



FIG. 32

**EDIFICI DI MINORE ALTEZZA CONTRIBUISCONO ALLA DIFFUSIONE SONORA
NEI CONFRONTI DI ORGANISMI EDILIZI ALTI COLLOCATI DALLA PARTE OPPOSTA
RISPETTO ALLA FONTE DEL RUMORE**

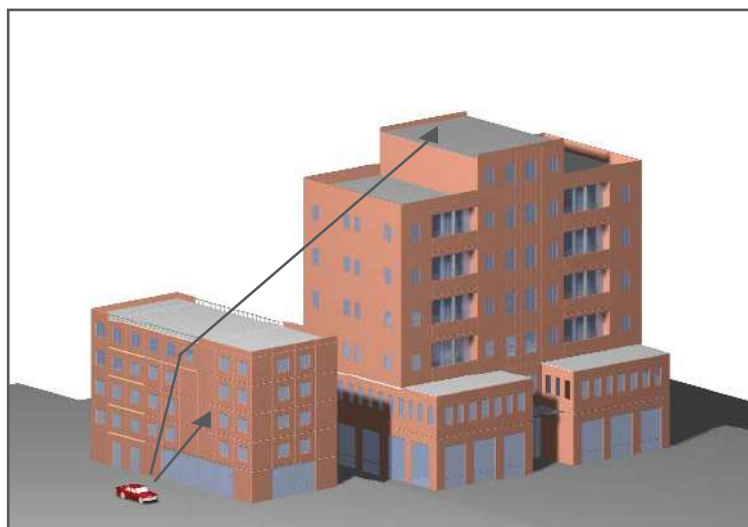


FIG. 33

UNO SGUARDO AGLI IMPIANTI

- Per uno strano fenomeno dovuto alla sfericità della terra, l'acqua nel suo processo di caduta gravitazionale non segue un percorso lineare ma entra in cavitazione in senso antiorario nell'emisfero nord e in senso orario in quello sud.
Osservando gli impianti sanitari, l'effetto di cavitazione all'interno delle tubazioni genera vibrazioni anche abbastanza intense; ciò non rappresenterebbe un grosso problema se le pareti in aderenza alle tubazioni non fungessero da cassa di risonanza. Per ovviare a questi fenomeni si dovrà ricorrere ad opportune fasciature che inibiscano la trasmissione (fig. 34).

CRITERI DI MONTAGGIO DEGLI APPARECCHI SANITARI CHE CONSENTONO DI LIMITARE LA PROPAGAZIONE DEI RUMORI ALLE STRUTTURE DI SOSTEGNO

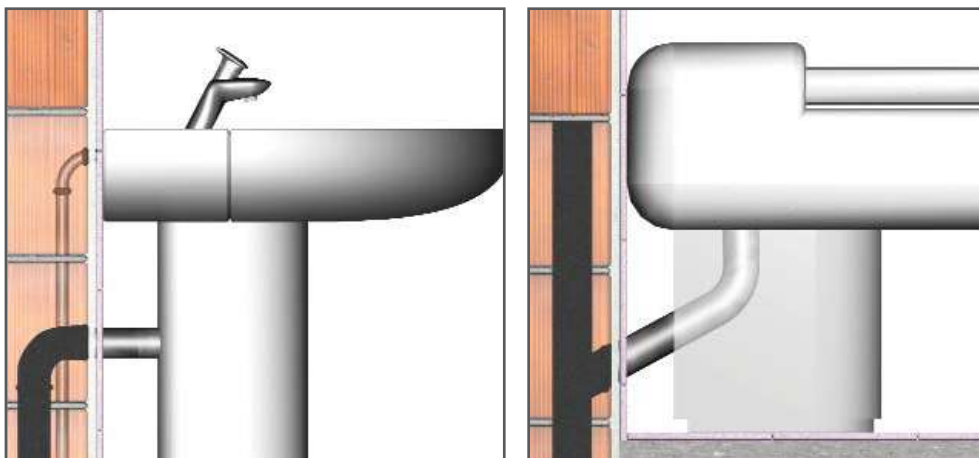


FIG. 34

- I serramenti costituiscono un enorme ponte acustico; nei confronti del peso di una muratura, spesso la finestra ed il cassonetto in particolar modo, rappresentano un elemento quasi trasparente all'energia sonora. Il rumore transita attraverso il telaio caratterizzato da un peso trascurabile. Il tutto rappresenta un vero e proprio ponte acustico.

Per quanto riguarda le porte, volendo garantire un maggior comfort acustico tra ambienti, è importante considerare l'utilizzo di porte silenziose (fig. 35).

**INFISSO DOTATO DI
GUARNIZIONI DI TENUTA**



PORTA A SOGLIA CON TENUTA

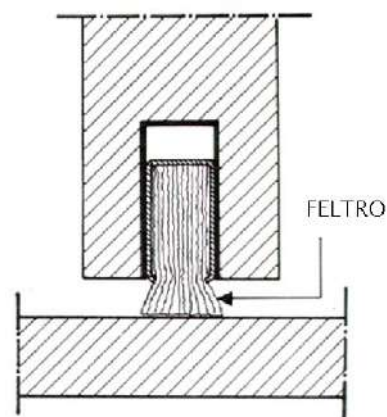


FIG. 35



© Copyright 2003 GHIROTTI TECNO INSULATION

Tutti i diritti di questa pubblicazione sono riservati, non è ammessa alcuna riproduzione, anche parziale, se non preventivamente autorizzata.

L'Opuscolo è stato redatto a cura di:

Arch. Ulisse Roberto (Direttore Tecnico GHIROTTI per il capitolo sulla fisica tecnica.

Ing. Guido Vales (Direttore Commerciale GHIROTTI) per il capitolo sulla normativa.

Impostazione grafica e copertina a cura di ULYSSE GRAPHIC VR



GHIROTTTO acustica

Ghirotto Tecno Insulation srl
Via Cappuccini 643 D
45021 Badia Polesine (RO)
Tel. 0425.59 70 24
e-mail: tecnico@ghirotto.it