Propedeutica ai fenomeni acustici nella progettazione architettonica

PHD. Ing. Maria CAIROLI
BIOBYTE s.r.l.
progettazione acustica e teatrale

DUE OBBIETTIVI

- **Benessere acustico**
  - Inquinamento acustico
  - Isolamento acustico

➡ ***Riduzione del Rumore***

- **Qualità acustica**
  - Condizionamento ambientale

    (anche isolamento acustico, ma soprattutto fono assorbimento, sfruttamento positivo delle prime riflessioni, ecc.)

➡ ***"Amplificazione" del Suono***

Requisiti acustici edifici

	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

- R'w : Indice del Potere Fonoisolante apparente
- D2m,n,T,w: Indice di isolamento acustico standardizzato di facciata
- L'n,w: Indice del livello di rumore di calpestio di solai normalizzato
- LASmax: livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow
- LAeq: livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A

- Categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili
- Categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili
- Categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
- Categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
- Categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e ammissibili
- Categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
- Categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

il **Potere Fonoisolante Apparente** di elementi di separazione fra ambienti R, definito dalla norma **EN ISO 140-5:1196.**
il **livello di rumore di calpestio di solai normalizzato** (L_n), definito dalla norma **EN ISO 140-6 1996**

L'Indice di Potere Fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti si calcola secondo la norma UNI 8270, Parte 7, para. 5.1.
L'Indice del livello di Rumore di calpestio di solai normalizzato si calcola secondo la norma UNI 8270, Parte 7, para. 5.2.

L'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$) è definito da:
$D_{2m,nT}=D_{2m}+10 \log T/T_0$
dove
$D_{2m}=L_{1,2m}-L_2$
$L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora esterno a 2 m dalla facciata, prodotto da rumore di traffico se prevalente o da altoparlante con incidenza del suono di 45° sulla facciata
L_2 è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente, valutato a partire dai livelli misurati nell'ambiente ricevente mediante la seguente formula

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

Il **tempo di riverberazione T** è definito dalla norma **ISO 3382**
T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento assunto pari a 0.5 s.
Le misure dei livelli L_i devono essere eseguite in un numero di n per ciascuna banda di terzi d'ottava.
Il numero n è il numero intero immediatamente superiore ad un decimo del volume dell'ambiente: in ogni caso il valore minimo di n è 5.

Il Suono

- Il **suono** è una perturbazione dello stato di equilibrio di una massa fluida, che comporti rapide variazioni locali della massa volumica (densità) e quindi della pressione, **tale da essere percepita dall'orecchio umano**
- Tale perturbazione può essere di **carattere oscillatorio**, cioè prodotta ed eventualmente sostenuta da un sistema vibrante, che induce variazioni di densità nell'aria
- Può essere di **carettere impulsivo**, cioè prodotta da una improvvisa e repentina variazione dello stato di quiete o moto del fluido, con conseguente variazione della massa volumica e della pressione
- Sia in un caso che nell'altro può essere descritto come una propagazione di "**onde di pressione**" in un mezzo elastico, ed è quindi caratterizzato da grandezze tipiche dei fenomeni ondulatori, quali la **lunghezza d'onda**, la **frequenza** e la **velocità di propagazione**

La sensazione sonora

- La **percezione** delle "*onde di pressione*" che si propagano nell'aria (*stimolo acustico*) da parte dell'organo UMANO dell'udito (**orecchio**) è limitata ad un campo di frequenze ben preciso: 20 – 20 000 Hz
- La **sensazione sonora** o *loudness* è la **risposta soggettiva allo stimolo acustico,** che può essere variabile da individuo ad individuo a parità di stimolo, o anche per uno stesso individuo in funzione del suo stato psico-fisico.
- Il **rumore** è un suono indesiderato capace di provocare disturbo alla quiete, alla intellegibilità del parlato e comunque a tutte le attività umane che richiedono concentrazione

Caratterizzazione del suono

- Avviene attraverso la misura di un insieme discreto di grandezze fisiche fondamentali:
  - Pressione sonora efficace $p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [P(t) - P_0]^2 dt}$
  - Densità di energia $\bar{e} = \frac{1}{2}\rho_0 v_{eff}^2 + \frac{1}{2}\frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c^2}$
  - Intensità sonora $\bar{I} = \overline{p \cdot v} = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c} = [c \cdot \bar{e}]$ per onde piane stazionarie
  - Impedenza acustica $\tilde{Z} = \frac{\tilde{A}_p}{\tilde{A}_v S}$ $\quad z = \rho_0 c$

per ogni frequenza o banda di frequenze ritenute significative nel campo 20 – 20 000 Hz

.. e tramite i Livelli Sonori

- Livello di Potenza Sonora $L_W = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\overline{\dot{W}}}{\dot{W}_0}\right)$ [dB]
- Livello di Intensità Sonora $L_I = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\bar{I}}{I_0}\right)$ [dB]
- Livello di Pressione Sonora $L_P = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{eff}}{p_0}\right)$ [dB]

con $L_W = L_I = L_P$ se riferiti allo stesso fenomeno sonoro, essendo

$$\overline{\dot{W}} = \langle \bar{I} \rangle \cdot S = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 c} \cdot S$$

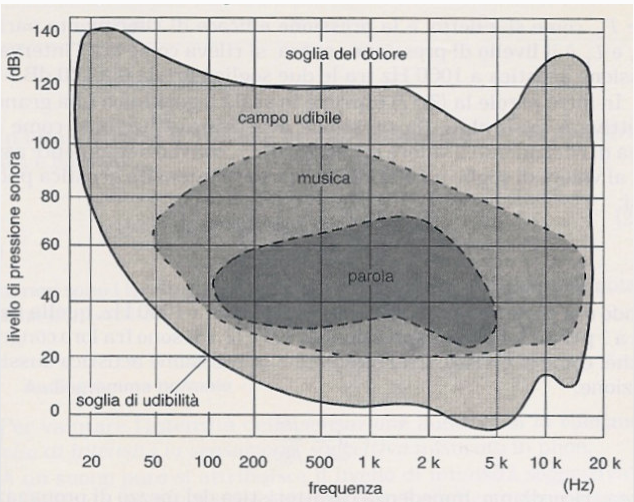
Livello equivalente

- Valore del livello sonoro ponderato nel tempo

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10}\left(\sum_i \frac{t_i}{t} 10^{\frac{Li}{10}} \right)$$

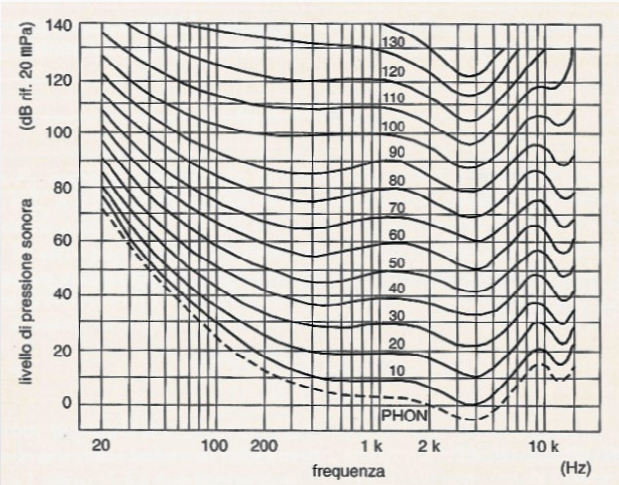
Caratterizzazione della sensazione sonora

- Campo di audibilità: legame Livello P.S. - Frequenza



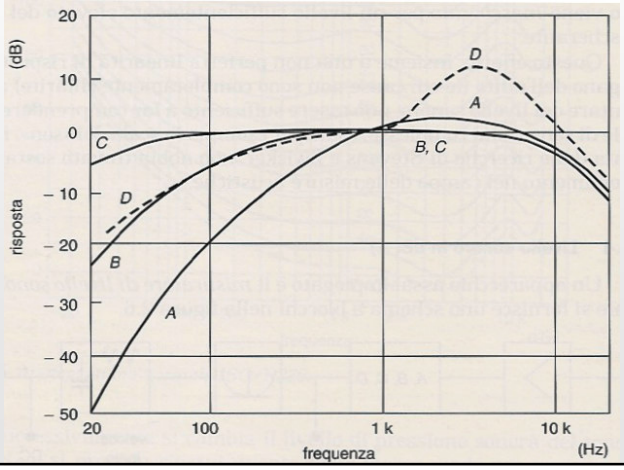
Caratterizzazione della sensazione sonora

- Audiogramma normale ISO/R226: Livello di Sensazione Soggettiva (in Phon)



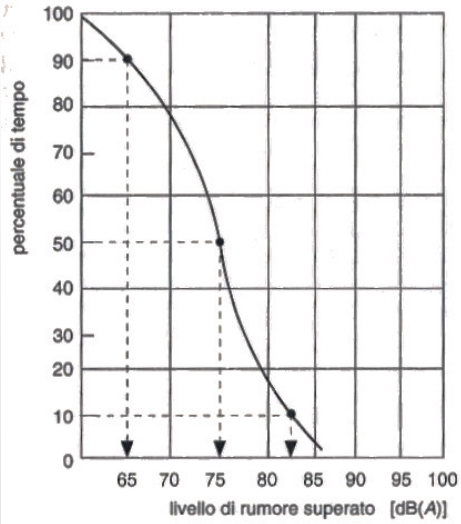
Caratterizzazione della sensazione sonora

- Curve di ponderazione **A**, B, C, e D: misura pratica della Sensazione Sonora



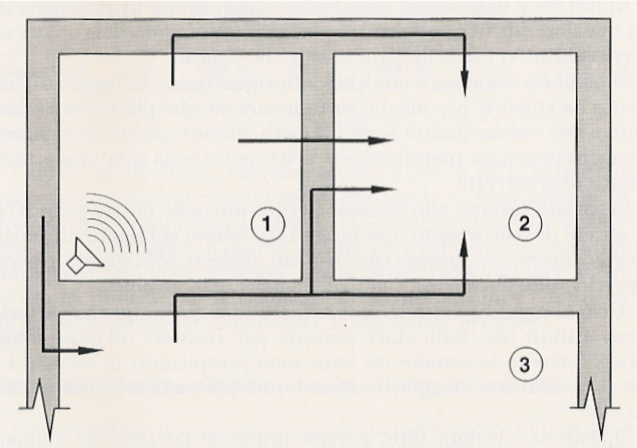
Caratterizzazione della sensazione sonora

- **Curva cumulativa**
  Percentuale di tempo, all'interno dell'intervallo di misura, rispetto al quale il livello sonoro considerato è stato superato.
- L_{10} => per il 10% del tempo sono stati superati 83 dB(A)
- L_{50} => per il 50% del tempo sono stati superati i 75 dB(A)
- L_{90} => per il 90% del tempo sono stati superati i 65 dB(A)



Trasmissione del suono

- Trasmissione diretta: ambiente-parete-ambiente
- Trasmissione laterale: ambiente-strutture-ambiente



Potere fonoisolante semplice

- Il potere fonoisolante di una parete senza discontinuità è definito come:

$$R = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{W_{inc}}{W_{tras}}\right) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{\tau}\right)$$

dove

W_{inc} è l'energia incidente sulla parete

W_{tras} è l'energia trasmessa al di la della parete

τ è il coefficiente di trasmissione (o trasmittanza acustica) della parete

Potere fonoisolante composto

- Il potere fonoisolante di una parete con discontinuità è definito come:

$$R_m = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{1}{\tau_m}\right) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{\sum_{i=1}^{N} S_i \tau_i}\right) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} S_i}{\sum_{i=1}^{N} S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}}\right)$$

dove

S_i è l'area della superficie dell'elemento i-esimo

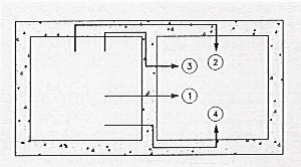
τ_i è il coefficiente di trasmissione dell'elemento i-esimo **in parallelo**

R_i è il potere fonoisolante semplice dell'elemento i-esimo **in parallelo**

I fenomeni di fiancheggiamento

- Il potere fonoisolante tra **due ambienti adiacenti** A e B è definito come:

$$R_{A,B} = -10 \cdot \log_{10}\left(10^{\frac{-R_1}{10}} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=2}^{N} 10^{\frac{-R_{ij}}{10}}\right)$$



dove

R_1 è il potere fonoisolante della parete comune, ***relativo alla trasmissione diretta***

M è il numero di elementi strutturali che costituiscono l'inviluppo dell'ambiente disturbato

N è il numero di vie di trasmissione indiretta del suono attraverso gli altri elementi

R_{ij} è il potere fonoisolante dell'elemento i-esimo relativo alla j-esima via di **trasmissione indiretta**

Isolamento Acustico

- Nell'ipotesi di campo sonoro diffuso nei due ambienti confinati (disturbante 1 e disturbato 2) e trascurando gli effetti di fiancheggiamento si ha:

$$D = L_{P_1} - L_{P_2} = R - 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{S}{A_2}\right)$$

dove

D è **l'ISOLAMENTO ACUSTICO**

R è il potere fonoisolante

S è l'area della superficie del divisorio

A_2 è n° di unità assorbenti dell'ambiente ricevente

con

$$A_2 = \sum_{i=1}^{N} S_i \cdot \alpha_i$$

α_i = coeff. assorbimento

Isolamento Acustico Normalizzato

- Si definisce ISOLAMENTO ACUSTICO NORMALIZZATO la differenza tra le pressioni sonore Lp_1 e Lp_2 misurate nei due ambienti corrette con un termine che depura in modo convenzionale l'effetto di rinforzo del campo riverberante:

$$D_n = L_{P_1} - L_{P_2} + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{A_0}{A_2}\right) \qquad [\cong R]$$

dove

D_n è **l'ISOLAMENTO ACUSTICO NORMALIZZATO**

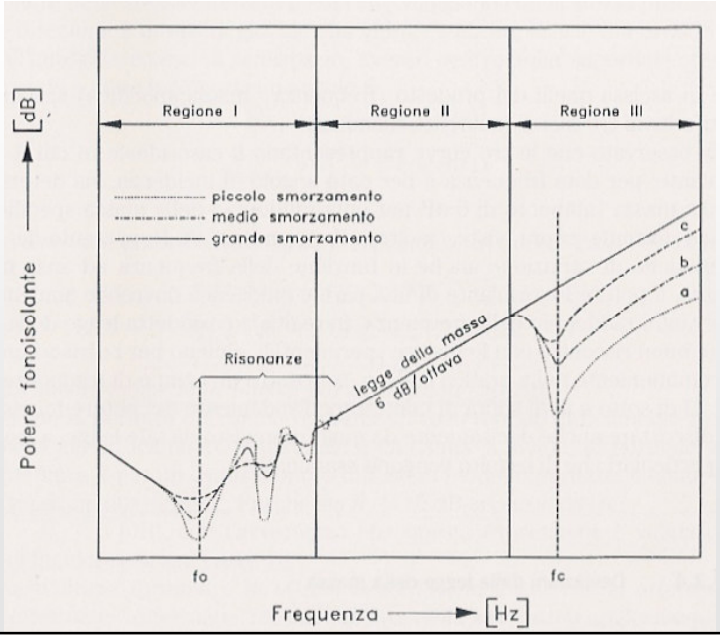
A_0 è l'area di riferimento (=10 m^2 ISO S140)

A_2 è n° di unità assorbenti dell'ambiente ricevente

con

$$A_2 = \sum_{i=1}^{N} S_i \cdot \alpha_i \qquad \alpha_i = \text{coeff. assorbimento}$$

R in funzione della Frequenza



"Legge di Massa"

- Nel campo di linearità tra *R* ed *f* (frequenza), il primo può essere espresso in funzione del secondo come:
  - per incidenza normale

$$R_0 = 20 \cdot \log_{10}(f \cdot M_S) - 42{,}3 \qquad [dB]$$

  - per un angolo d'incidenza θ

$$R_\theta = 20 \cdot \log_{10}(f \cdot M_S \cdot \cos(\theta)) - 42{,}3 \qquad [dB]$$

  - per campo diffuso e mediamente diffuso

$$R_{diff} = R_0 - 10 \cdot \log_{10}(0{,}23 R_0) \qquad [dB]$$

$$R_{diff} = R_0 - 5 \qquad [dB] \qquad \text{per } R_0 > 15\ dB \text{ e } \theta_{i,\lim} = 78°$$

Coincidenza: il fenomeno

- Accoppiamento tra vibrazione flessionale della parete e componente tangenziale dell'onda acustica

$$f_c = \frac{c_0^2}{\pi s}\sqrt{\frac{3\rho(1-\sigma^2)}{E}}$$

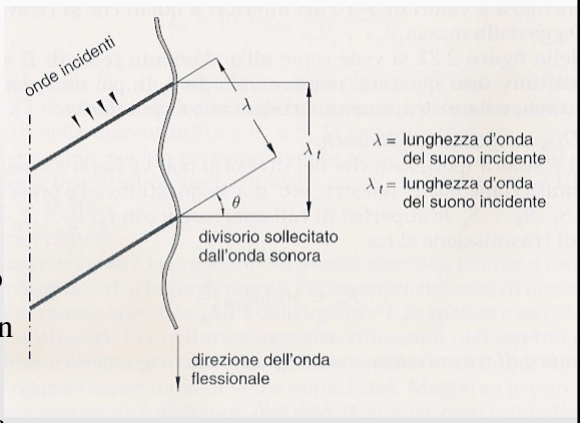
$$\lambda_c = \frac{c_0}{f_c}$$

con E modulo elastico

σ coeff. di Poisson

s spessore parete

ρ massa volumica



Pareti leggere doppie: Norma DIN 4109

Si tratta di pareti divisorie interne realizzate con lastre di cartongesso e struttura portante di montanti il lamiera piegata. All'interno della cavità è inserito solitamente un pannello di materiale fonoassorbente.

Nei casi pratici i valori del potere fonoisolante sono influenzati dal tipo e forma dei telai utilizzati, dallo spessore della cavità, dal grado di riempimento e dal tipo di materiale fonoassorbente, dalle modalità di posa in opera ecc..

La frequenza critica di lastre sottili è nell'ordine di 2500 -3150 Hz. Alle basse frequenze i valori del potere fonoisolante risultano solitamente piuttosto bassi.

La stima dell'indice di valutazione del potere fonoisolante di queste pareti viene solitamente effettuata con formule empiriche ricavate dall'elaborazione dei dati sperimentali ottenuti in laboratorio.

$Rw = 20 \log m' + 10 \log d + e + 12$

m' massa areica totale [kg/m2]
d spessore dell'intercapedine [cm]
e spessore del materassino fonoisolante [cm]

Pareti pesanti multistrato

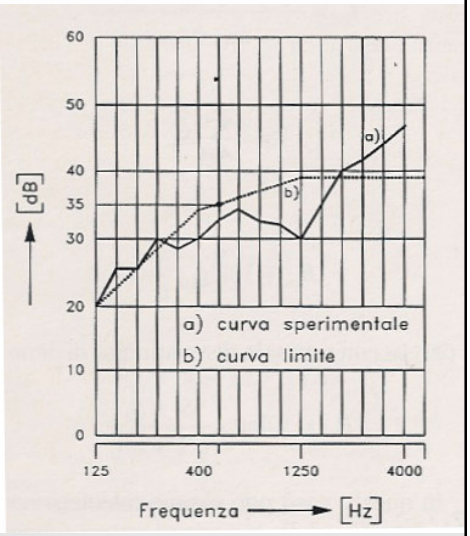
Per pareti doppie, quando la dimensione della cavità è inferiore a 5 cm ed in assenza di materiale fonoassorbente e di intonaco su una delle pareti interne, le due pareti sono da considerarsi accoppiate. Ne consegue che il potere fonoisolante presenta un andamento che nella maggior parte dei casi è simile a quello di una parete semplice di massa superficiale pari alla somma delle singole masse superficiali delle due pareti. I questo caso si ricorre alla Norma UNI EN 12354

Per tener conto dell'effetto della dimensione della cavità si può calcolare il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante Rw con la seguente relazione:

$Rw = 20 \log m' + 20 \log d - 10$

Indice di Isolamento Acustico Aereo– ISO 717

- Per avere un unico valore indicativo delle caratteristiche di isolamento al posto dell'analisi spettrale
- Definito come valore in dB a 500 Hz ricavabile dal riposizionamento dello spettro di riferimento
- Tale riposizionamento deve rispettare il vincolo:
  - somma degli scarti negativi presi in modulo < di 10 dB per analisi in banda di ottava
  - < di 32 se in terzi di ottava



Isolamento per Rumore da Calpestio

- Livello di rumore da calpestio:

  livello di pressione acustica che si rileva nel locale sottostante (amb. disturbato) quando sul pavimento del locale sovrastante (amb. disturbante) agisce un ***generatore di calpestio normalizzato***

$$L_n = L_p + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

dove

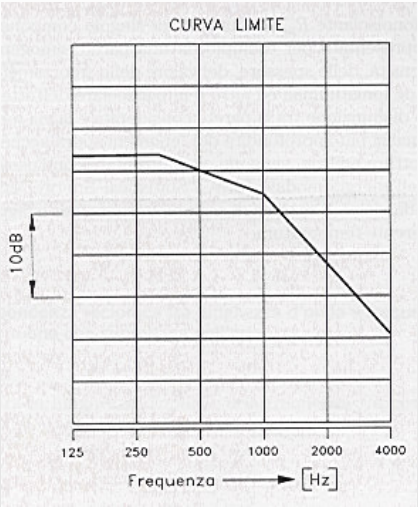
L_p è il livello di pressione sonora misurato

A_0 è l'area di riferimento (=10 m^2 ISO S140)

A è n° di unità assorbenti dell'ambiente ricevente

Indice di Isolamento Acustico da Calpestio – ISO 717

- Per avere un unico valore indicativo delle caratteristiche di isolamento al posto dell'analisi spettrale
- Definito come valore in dB a 500 Hz ricavabile dal riposizionamento dello spettro di riferimento
- Tale riposizionamento deve rispettare il vincolo:
  - somma degli scarti negativi presi in modulo < di 10 dB per analisi in banda di ottava
  - < di 32 se in terzi di ottava



Contributo sonoro degli impianti

- Il rumore prodotto da un impianto interno all'ambiente può essere calcolato come:

$$L_p = L_W + 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R^*}\right)$$

$$\text{con} \quad R^* = \frac{S \cdot \alpha_m}{1-\alpha_m} \quad \text{costante della sala}$$

dove

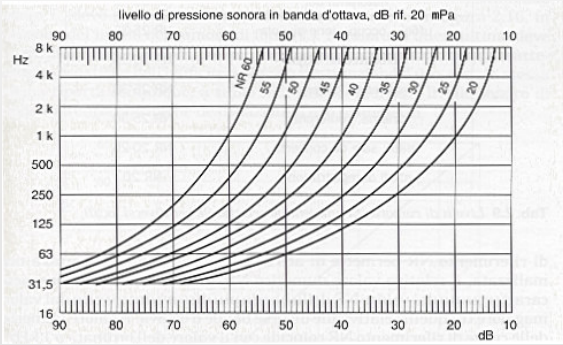
L_W	è il livello di potenza sonora sonora dell'apparato
Q	è il fattore di direttività della sorgente sonora
r	è la distanza dalla sorgente del ricettore

Indice NR (*Noise Rating*)

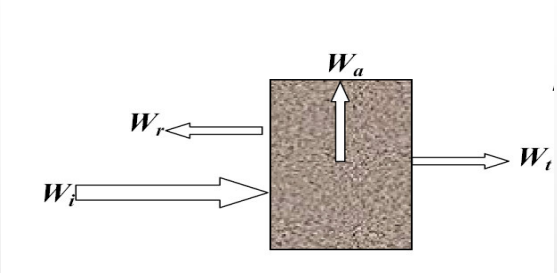
- Si pondera in dB(A) il livello sonoro prodotto dall'impianto
- Si confronta lo spettro del romore dovuto all'impianto così calcolato con le curve normalizzate NR
- L'indice NR attribuito è quello della curva iso-NR che è sempre superiore allo spettro del rumore

ambiente	tollerabilità
fabbriche pesanti	NR 55-75
fabbriche leggere	NR 45-65
aree sportive	NR 35-50
ristoranti, bar	NR 35-45
uffici, occupazione singola	NR 25-35
biblioteche, aule	NR 30-35
ospedali, degenze	NR 25-30
cinema, conferenze	NR 25-30
teatri, sale da concerto	NR 20-25
studi di registrazione	NR 20

Livelli di rumorosità ambientale accettabile per diversi locali.



Assorbimento acustico

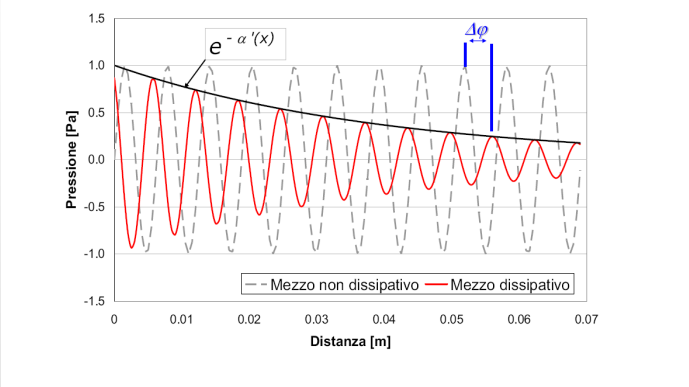


Rw=Wt/Wi

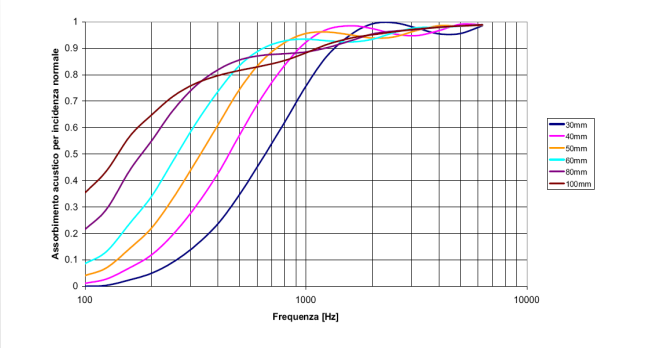
Aw=Wa/Wi

Tw=Wr/Wi

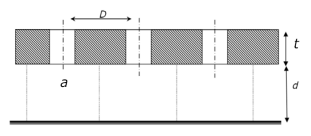
Propagazione delle onde sonore nei materiali dissipativi

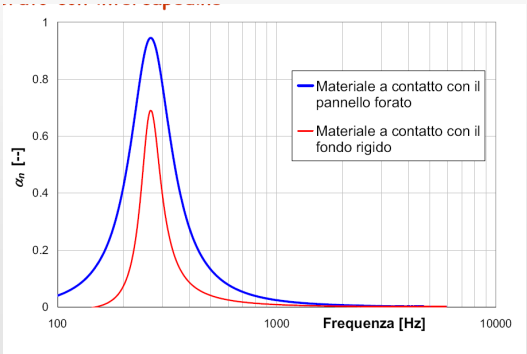


Impedenza di un pannello di fibra poliestere d. 60kg/m³

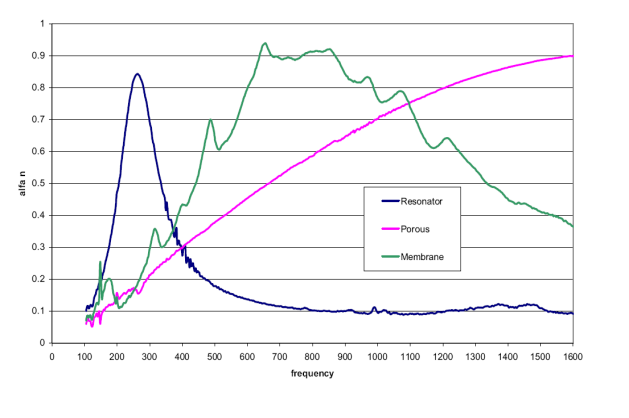


Pannello forato con intercapedine





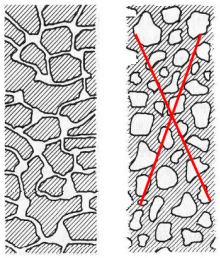
Andamento in frequenza dell'assorbimento



Materiali porosi e fibrosi

- Contengono una elevata percentuale di aria al loro interno, in collegamento con l'ambiente esterno (materiali fibrosi e porosi a cella aperta)
- Consentono al campo acustico di penetrare al loro interno e di dissipare energia per attrito viscoso sulle pareti della struttura del materiale

SI



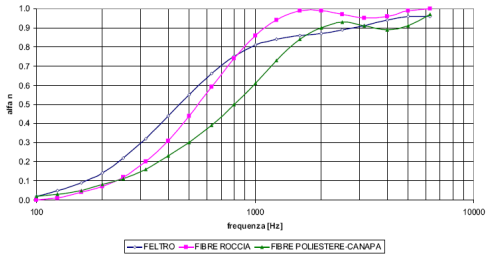
NO

Esempio:

Polietilene, poliuretani a cella chiusa, polistirolo

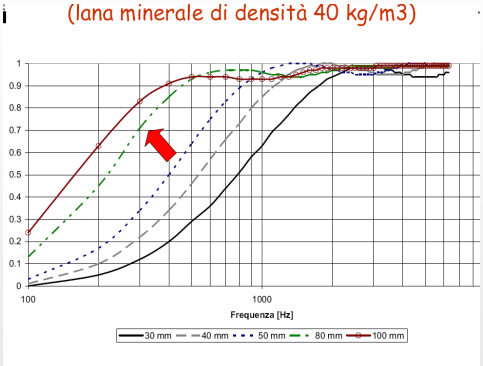
Proprietà fisiche dei materiali fibrosi

Materiale	*Densità kg/m³*	*Porosità*	*Resistività kNs/m⁴*
Fibra di roccia	50	0.99	20
Fibra di poliestere	50	0.98	6
Feltro	80	0.95	50
Fibre di canapa	50	0.98	6

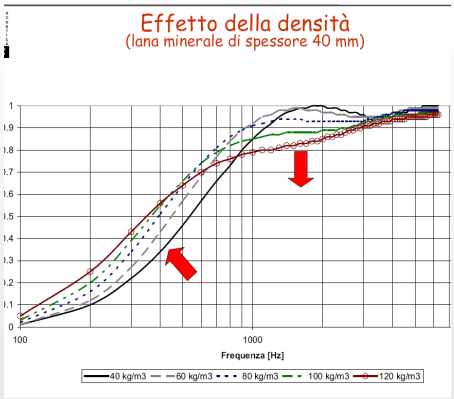


Spessore 40 mm

Effetto dello spessore

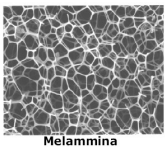


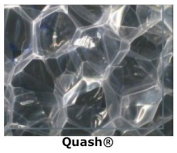
Effetto della densità

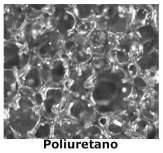


Materiali porosi

Materiale	*Densità caratteristiche Kg/m³*	*Settori di impiego prevalente*
Poliuretani espansi a cella aperta	20-50	Industria, trasporti
Resina melamminica	10	Edilizia, industria, trasporti
Schiuma espansa a base di polietilene	10-20	Edilizia, industria

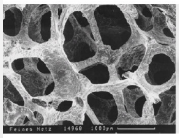

Melammina

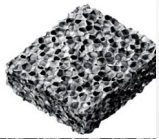

Quash®

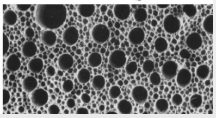

Poliuretano

Schiume di alluminio

Materiale	*Densità caratteristiche Kg/m³*	*Settori di impiego prevalente*
Schiume di alluminio	10-100	Trasporti

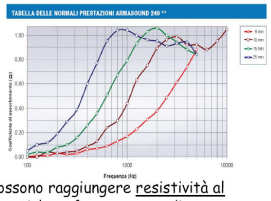






Aggregati di elastomeri espansi

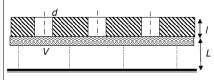
Materiale	*Densità caratteristiche Kg/m³*	*Settori di impiego prevalente*
Aggregati di elastomeri espansi	120-240	Industria, trasporti, elettrodomestici

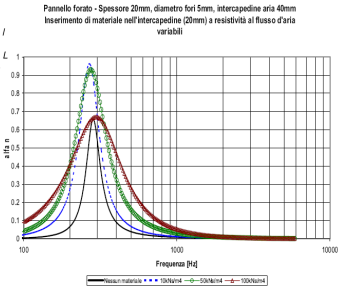


- Hanno porosità limitata (≈0.8) e possono raggiungere resistività al flusso elevate e buone prestazioni acustiche a frequenze medie

Rosuonatori per cavità

- PANNELLO FORATO CON MATERIALE FONOASSORBENTE





Aumentando la dissipazione interna del sistema è possibile incrementare sia il picco di assorbimento che la larghezza della banda in frequenza, mentre la frequenza di risonanza rimane pressochè immutata

Valutazione della Qualità Acustica

- La qualità dell'ascolto dipende da:
  - caratteristiche geometriche ed acustiche dell'ambiente
  - posizione relativa dell'ascoltatore rispetto alla sorgente
  - caratteristiche soggetive dell'ascoltatore
  - tipologia del suono considerato (parlato, musica sinfonica, opera)
- Indici diversi basati su:
  - composizione spettrale
  - valutazione del rapporto tra segnale e rumore
  - analisi statistica dei livelli di pressione sonora
  - durata del transitorio di estinzione di un fenomeno sonoro (*tempo di riverberazione*)
  - analisi statistica della percezione musicale, influenzata da parametri qualitativi del linguaggio musicale, oltre che da giudizi di tipo estetico ed emozionale

Indici di Qualità Acustica

- ***Tempo di riverberazione*** **: durata del transitorio di estinzione di un fenomeno sonoro**
- Indice di valutazione della qualità del parlato: ***RASTI*** *(Rapid Speech Trasmission Index)*

classe di qualità di trasmissione del parlato	RASTI
cattiva	< 0,32
mediocre	0,32 - 0,45
discreta	0,45 - 0,60
buona	0,60 - 0,75
eccellente	> 0,75

- Indice di valutazione globale di qualità acustica di una sala per conferenze e/o musica: ***indici del Beranek***

Tempo di riverberazione

- Tempo per il quale si ha una un riduzione della densità di energia sonora pari a x dB
- Usualmente x = 60 dB
- **Formula di Sabine** (*ipotesi di assorbimento continuo*)

$$t_{60} = 0{,}16\frac{V}{A} \quad [\mathrm{s}] \quad \text{con } A\text{= unità di assorbimento}$$

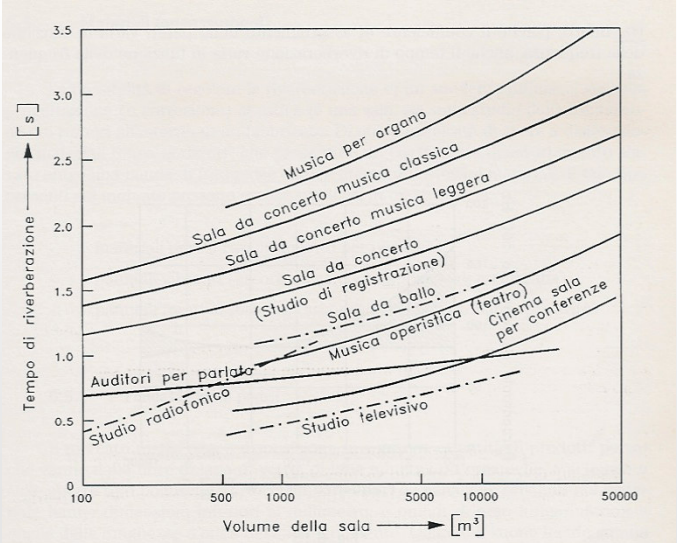
$$t_{60} = 0{,}16\frac{V}{A + 4\alpha V} \quad \text{con } \alpha\text{=assorb. aria}$$

- **Formula di Eyring** (*ipotesi di assorbimento discontinuo*)

$$t_{60} = 0{,}16\frac{V}{S \cdot \left|\ln\left(1-\alpha_m\right)\right|} \quad [\mathrm{s}] \quad \text{con } \alpha_m\text{=assorb. media}$$

$$t_{60} = 0{,}16\frac{V}{S \cdot \left|\ln\left(1-\alpha_m\right)\right| + 4\alpha V} \quad \text{con } \alpha\text{=assorb. aria}$$

t_{60} OTTIMALE



Inquinamento acustico

Legislazione

Il riferimento legislativo nazionale sull'inquinamento acustico ambientale è costituito dal **DPCM 1/3/91** (G.U. 8/3/91 S.G. 57) intitolato: "***Limiti massimi d´esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno***" che fornisce i parametri ai quali adeguare le **emissioni acustiche** delle diverse sorgenti sonore, fisse o mobili, presenti nel territorio.

Legge 447 del 26.10.1995

- Legge quadro sull'inquinamento acustico

Stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico

Definisce le aree per cui è necessaria la valutazione previsionale di clima acustico

Definisce le tipologie che necessitano di impatto acustico

Limiti di esposizione al rumore

Il **DPCM 14/11/97**, pubblicato sulla G.U. dell'1/12/97 , individua i limiti d'esposizione al rumore per le sorgenti fisse e mobili, in maniera più precisa e dettagliata del **D.P.C.M. 1.3.91, introducendo dei nuovi valori limite e specificando che si tratta di immissioni.**

LIVELLI MASSIMI DI IMMISSIONE SONORA (D.P.C.M. 14.11.97)

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	LIMITE DIURNO $L_{EQ}(A)$	LIMITE NOTTURNO $L_{EQ}(A)$
I Aree particolarmente protette	50	40
II Aree prevalentemente residenziali	55	45
III Aree di tipo misto	60	50
IV Aree di intensa attività umana	65	55
V Aree prevalentemente industriali	70	60
VI Aree esclusivamente industriali	70	70
Limite differenziale (per tutte le zone ad esclusione della VI)	5	3

LIVELLI MASSIMI DI EMISSIONE SONORA (D.P.C.M. 14.11.97)

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	LIMITE DIURNO $L_{EQ}(A)$	LIMITE NOTTURNO $L_{EQ}(A)$
I Aree particolarmente protette	45	35
II Aree prevalentemente residenziali	50	40
III Aree di tipo misto	55	45
IV Aree di intensa attività umana	60	50
V Aree prevalentemente industriali	65	55
VI Aree esclusivamente industriali	65	65
Limite differenziale (per tutte le zone ad esclusione della VI)	5	3

ZONE ACUSTICAMENTE OMOGENEE

CLASSE I
Aree particolarmente protette
Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
CLASSE II
Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività artigianali ed industriali.

ZONE ACUSTICAMENTE OMOGENEE

CLASSE III
Aree di tipo misto
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraver-samento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con li-mitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali in-teressate da attività che impiegano macchine operatrici.
CLASSE IV
Aree di intensa attività umana
Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali ed uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.

ZONE ACUSTICAMENTE OMOGENEE

CLASSE V
Aree prevalentemente industriali
Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali con scarsità di abitazioni.
CLASSE VI
Aree esclusivamente industriali
Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Grazie per la cortese attenzione

mariacairoli@biobyte.net