

Indice

Le misure dell'intelligibilità del parlato

_STI index e MTF method

Il software Ramsete

_Osservazioni durante la prova

I materiali e l'acustica

_I materiali fonoisolanti

_La legge di massa

_Il potere fonoisolante

_Indice di valutazione del potere fonoisolante

Le misure dell'intelligibilità del parlato: note generali

Con intelligibilità del parlato si intende la comprensibilità di un suono, di una conversazione, da parte di un ascoltatore. Questa caratteristica risulta, sotto il punto di vista acustico, decisamente rilevante, e svariati sono anche i sistemi di misurazione utilizzati per quantificarla rispetto ad uno spazio preciso. I luoghi in cui risulta più importante l'applicazione di questo tipo di analisi sono teatri, chiese, auditorium, ecc.

Un metodo al quale si ricorre frequentemente è un test a vocabolario chiamato **Test ALCons** e permette di avere una conoscenza abbastanza precisa della risposta di soggetti tipo, nella comprensione del parlato, all'interno di un'ambiente chiuso.

Esso si basa su di una sorta di dettato, in cui un certo numero di lettori provvede a leggere alcuni gruppi di parole, non necessariamente di significato compiuto, ad un gruppo di ascoltatori, distribuiti in maniera omogenea e a copertura dell'area interessata. Il dettato dura circa 30 minuti.

Il metodo di valutazione consiste nel ricavare il numero percentuale di parole correttamente percepite in rapporto al totale delle parole che sono state lette. Al fine di svolgere questa misurazione in modo efficace risulta molto importante avere a disposizione una grande quantità di persone.

Ovviamente esistono misurazioni ancora più precise ed accurate, sebbene più complesse, come vedremo nel prossimo paragrafo.

STI index e MTF method

L'indice **STI** (Speech Transmission Index), fu sviluppato nel 1973 da Houtgast, Steeneken e Plomp ed ha lo scopo di quantificare, in modo oggettivo, l'intelligibilità del parlato in una specifica posizione di un ambiente, quando il "parlato" viene prodotto attraverso un segnale normalizzato in un'altra specifica posizione dell'ambiente stesso.

Questo parametro "riassume" una quantità fisica detta MTF (modulation transfer function), dipendente sia dalla frequenza acustica considerata, sia dalla frequenza di modulazione.

Il segnale utilizzato in questo tipo di misurazione è un segnale particolare, che cerca di riprodurre le caratteristiche di ampiezza e modulazione tipiche della voce umana: viene scelto un segnale di frequenza f_1 (portante), che assume ampiezza variabile nel tempo, secondo una legge imposta da un segnale di frequenza più bassa f_2 (modulante).

Vediamo ora come lo si può creare.

Per la misurazione di STI, la portante è considerata come rumore rosa (filtrato in banda di ottava che preferisco). Per ricreare la voce umana considero quindi una variazione di ampiezza, effetto dato tramite la moltiplicazione per la funzione modulante, generalmente una sinusoidale, di pochi hertz, che fa variare il valore risultante della portante tra 0 ed 1.

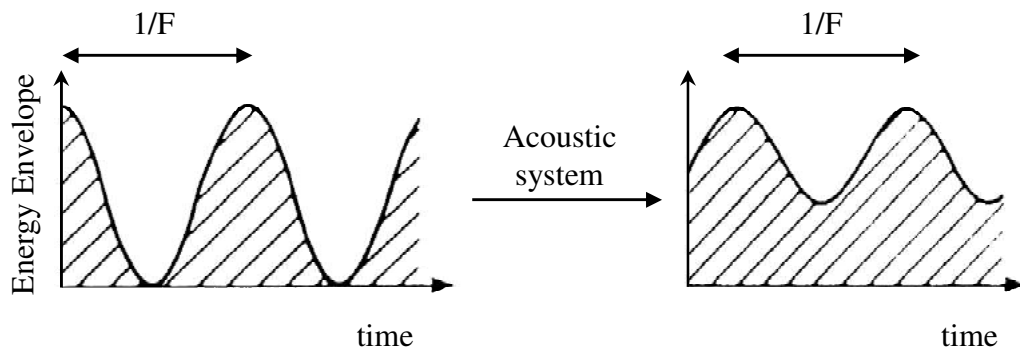
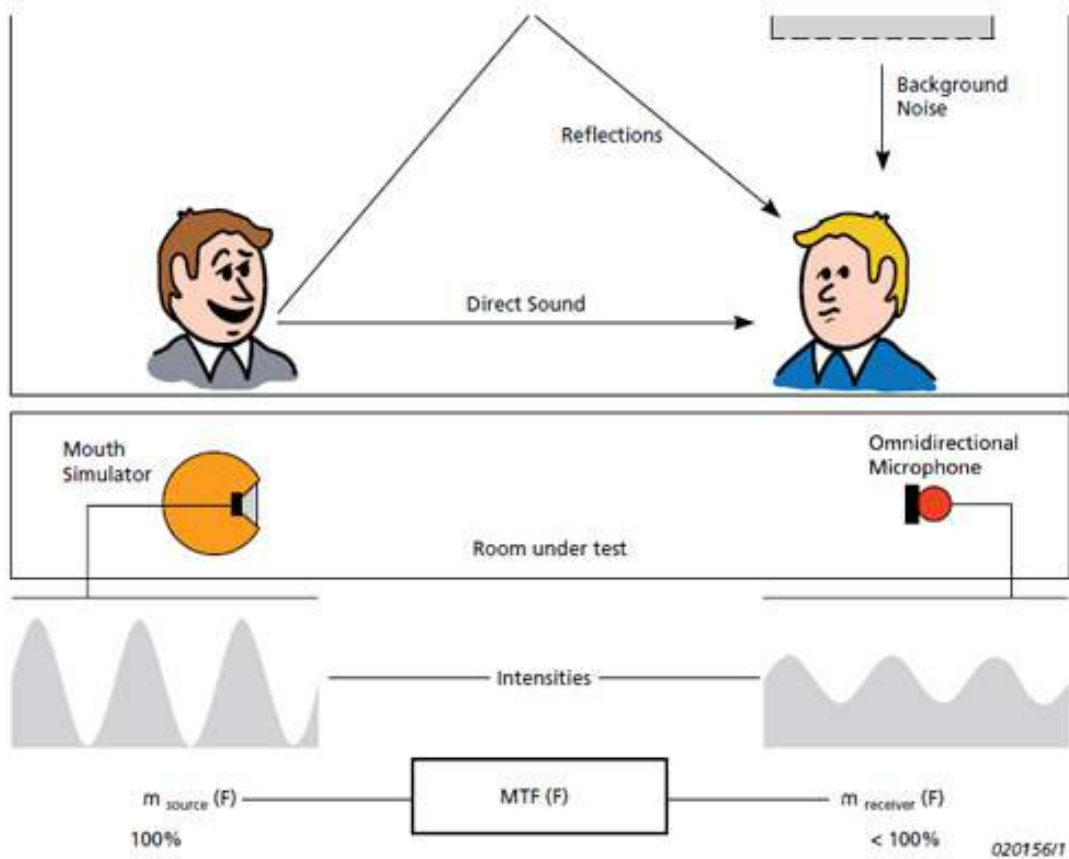
Questo passaggio vuole ricreare il movimento effettuato normalmente dalla nostra bocca (bocca chiusa= 0 Hz, bocca aperta= valore massimo di 10 Hz) durante l'atto di parlare.

Il segnale risultante sarà quindi contraddistinto dalla frequenza della portante (f) e dalla frequenza di modulazione (F).

Abbiamo detto che il suono creato sarà quindi diffuso nell'ambiente, ma che la misurazione dell'intelligibilità del parlato sarà effettuata in un altro punto della stanza, al fine di valutare come questo suono si diffonde.

Ciò che noterò è che il segnale recepito dal ricevitore sarà diverso da quello di partenza: le riflessioni e la presenza di rumori nella stanza difatti degradano il suono iniziale, il quale non avrà più una modulazione del 100% come quello iniziale.

Definiremo quindi **MTF** il rapporto tra modulazione del segnale in uscita e modulazione del segnale in ingresso. Esso indica sostanzialmente quanto si è degradato il segnale a causa delle riflessioni e del rumore di fondo (background noise). Più l'MTF è ridotta più il rumore sarà degradato.



Il valore della MTF è possibile calcolarlo grazie alla risposta all'impulso (h), con la formula di Manfred Schroeder. $m(F)$ avrà sempre dei valori minori di 1. Importante notare che questa prima formula tiene unicamente conto del riverbero (quindi delle riflessioni).

$$m(F) = \frac{\int_0^{\infty} h_f^2(\tau) \cdot \exp(-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot F \cdot \tau) \cdot d\tau}{\int_0^{\infty} h_f^2(\tau) \cdot d\tau}$$

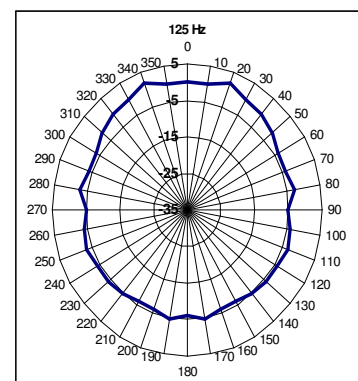
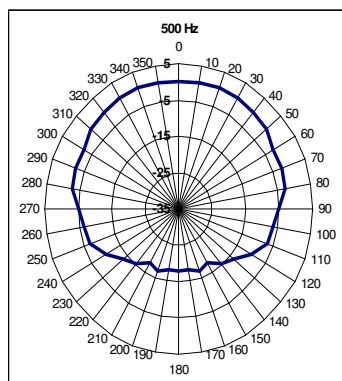
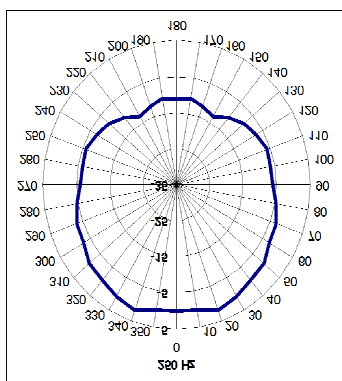
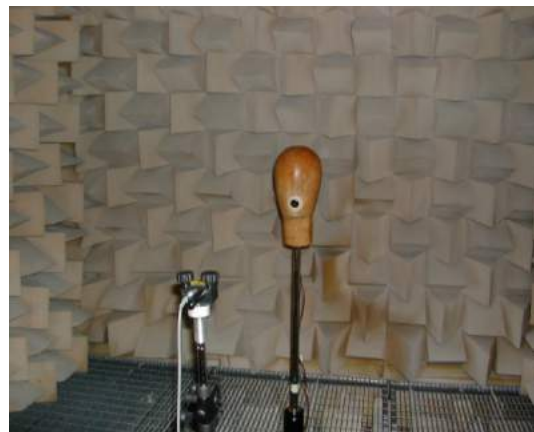
Bisogna considerare anche il rapporto segnale/rumore; ciò permette di includere nella misura anche la riduzione dovuta al rumore di fondo. La formula prende quindi una forma diversa, dove $m'(F)$ è il risultato della formula precedente.

$$m(F) = m'(F) \cdot \frac{1}{1 + 10^{\left(\frac{L_{noise} - L_{signal}}{10}\right)}}$$

I valori ottenuti non sono però realistici, devo tenere conto dell'effettivo spettro della mia voce, misurato in bande di ottava: per ottenere valori più simili alla realtà userò quindi Aurora audition, con relativi plugin, per ottenere valori di risposta all'impulso e rumore di fondo più esatti.

Si ricorda che per una corretta misurazione, in riferimento anche alle norme, è necessario calibrare il microfono, registrare il rumore di fondo, e calcolare l'intelligibilità del parlato usando un livello di pressione sonora di 60 dB (A) ad una distanza di almeno 1 m.

Inoltre, il suono dovrebbe essere emesso da una bocca artificiale, il **mouth simulator**. Questo elemento è un altoparlante inserito all'interno di un manichino; particolare attenzione è stata data alla conformazione della bocca artificiale, che rappresenta un buon modello di direttività, variabile rispetto alle frequenza, e di spettro di emissione della voce umana sia maschile che femminile (esistono normative precise che indicano le curve di direttività a cui deve essere conforme)



- Tramite lo stesso software potrò calcolare lo STI. I dati necessari sono:
- lo spettro in bande di ottava, del segnale emesso (che avevo precedentemente salvato e riportato nella colonna "Signallevel")
 - lo spettro del rumore di fondo (inserito in "background level")
 - la risposta all'impulso

L'esito del calcolo produce un diagramma suddiviso in 4 curve, corrispondenti all'MTF in 4 frequenze fondamentali (125 Hz, 500 Hz, 2000 Hz, 8000 Hz). In ascissa avrò le frequenze di modulazione.

La stessa cosa potrà comunque essere visualizzata come tabella: i valori presenti sono quelli dell'MTF, le colonne indicano le diverse frequenze di portante, le righe quelle di modulazione

“Band STI values” indica i valori medi per colonna, tramite i quali con media pesata, si ottengono “STI male” e “STI female”, due valori leggermente diversi che evidenziano la differenza di timbro uomo/donna.

La tabella indica anche il valore RASTI: questo era un valore semplificato di STI usato negli anni precedenti, quando calcolare il reale STI risultava troppo complesso.

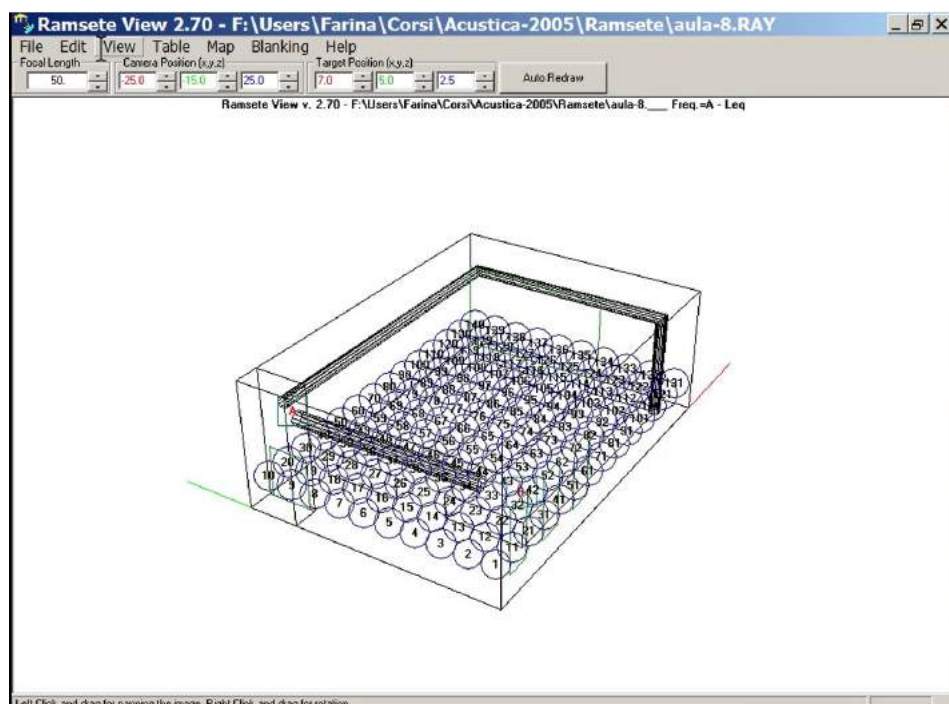
Il software Ramsete

RAMSETE è un software per le simulazioni acustiche di spazi chiusi, utilizzabile, seppure con risultati meno precisi, anche in luoghi aperti. Il suo nome si ispira alla civiltà egizia, legandosi alla figura geometrica della piramide: il software difatti lavora su un tracciamento a piramidi.

Questo non è però l'unico software ad occuparsi di questa tematica; tra quelli più noti ricordiamo Odeon e Caat Acoustic.

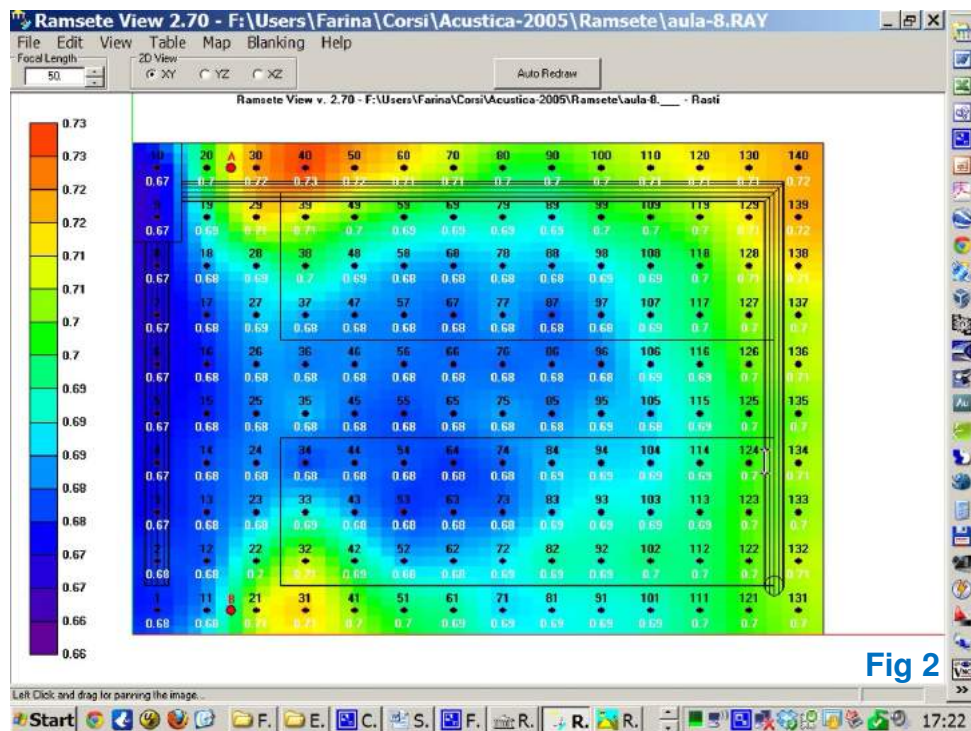
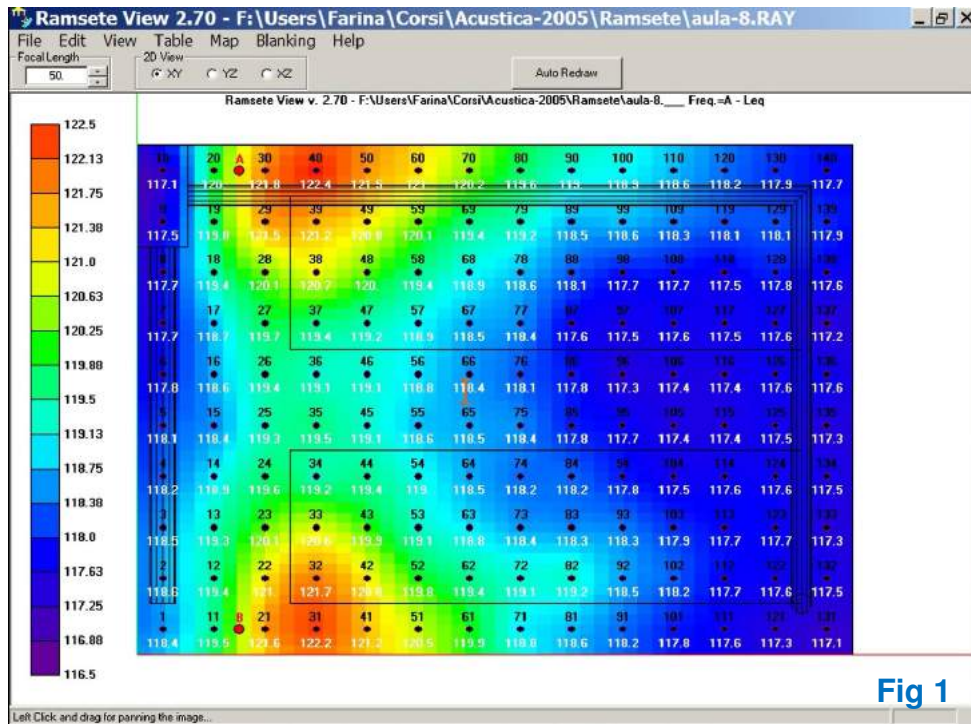
I dati necessari al fine di ottenere una corretta simulazione sono:

- Il modello a pelle dell'ambiente da analizzare. Con modello a pelle si intende l'involucro dell'edificio che confina l'aria all'interno, senza struttura, pilastri, ecc.
- Scegliere con cura i materiali del modello, in quanto ogni materiale ha un suo coefficiente di assorbimento.
- Posizionare la sorgente e gli ascoltatori o ricevitori, cioè i microfoni che registrano il campo sonoro; collocarli in modo esatto rispetto agli ascoltatori è fondamentale per avere una simulazione realistica.



Con questi dati il programma è in grado di darvi più informazioni:

- la risposta di impulso ai ricevitori e il tempo di riverbero
- le mappe per vari parametri acustici ad esempio:
 - _ il livello sonoro in dB(A) (Fig 1)
 - _ lo STI che mi dice quanto “bene” si sente il parlato (Fig 2)
- le traiettorie dei raggi dalla sorgente ai ricevitori, sia quelli diretti, sia quelli riflessi (Fig 3)



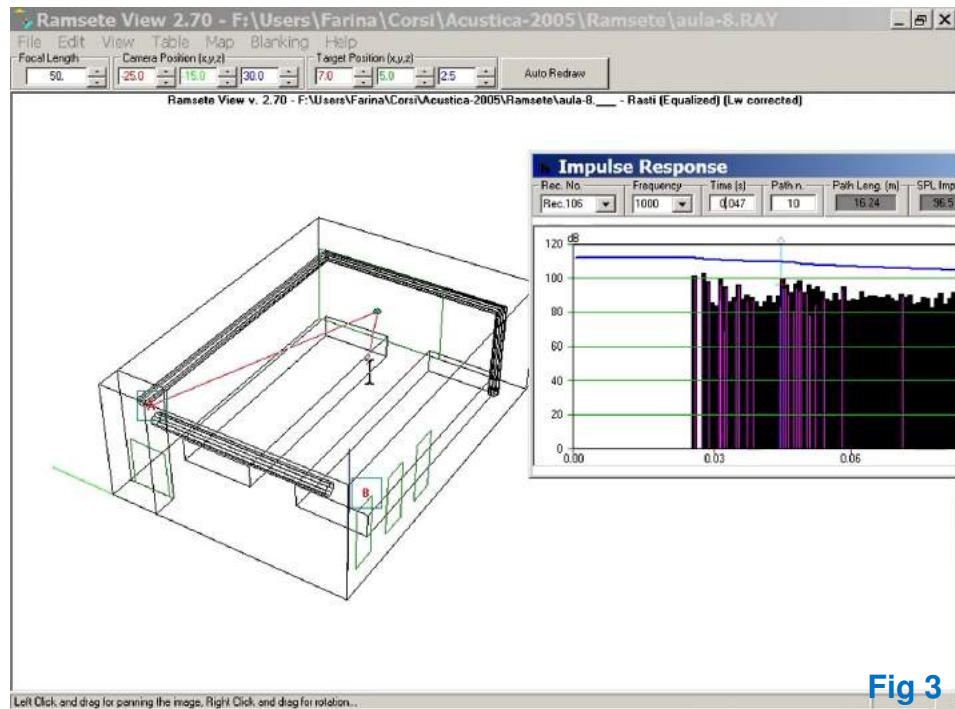


Fig 3

Osservazioni durante la prova

Per l'acustica è sempre meglio progettare spazi non troppo regolari, a scatola, in modo da evitare l' "effetto ping-pong" che si verrebbe a verificare. Allo stesso modo è anche meglio evitare le superfici concave per non avere un suono distorto.

Altra buona norma per migliorare l'acustica di una stanza è avere, vicino alla sorgente, una parete riflettente e quella di fondo assorbente, tramite, ad esempio, il posizionamento di tende.

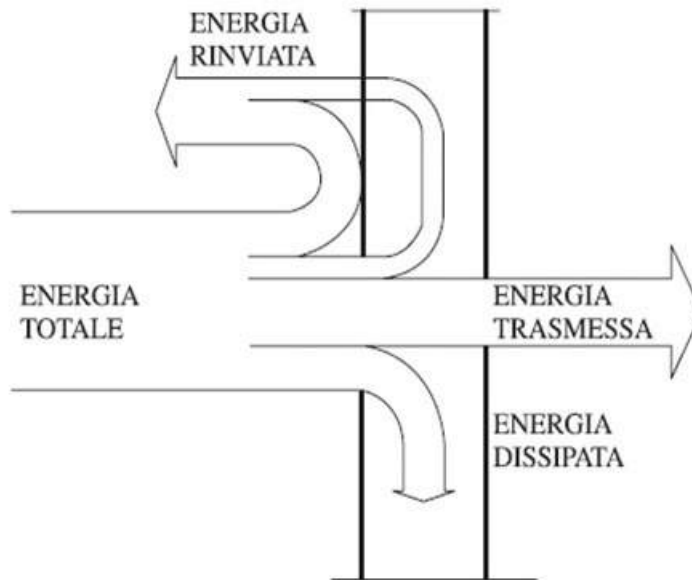
Caratteristiche acustiche dei materiali

Esiste una sostanziale differenza fra materiali fonoisolanti e materiali fonoassorbenti.

I materiali **fonoassorbenti** sono impiegati per controllare le riflessioni indesiderate, la riverberazione ed il rumore; sono generalmente caratterizzati da una bassa densità e da una finitura a celle porose aperte o a fibre. Il compito principale di un materiale fonoassorbente non è quello di riflettere e ostacolare il propagarsi delle onde sonore, al contrario i materiali fonoassorbenti sono di solito realizzati con forme che permettano di riflettere il meno possibile della energia acustica che ricevono. In questo modo, si ottiene che buona parte dell'energia acustica attraversante un materiale assorbente si trasformi in calore (o altri tipo di energia). Detto in altro modo, riferendosi allo schema dei flussi, un buon materiale fonoassorbente diminuisce l'energia rinviata e favorisce l'energia trasmessa.

Un materiale, invece, viene definito **fonoisolante** se la sua caratteristica fondamentale è quella di riflettere l'energia acustica che riceve. Ovviamente

per essere definito come fonoisolante un materiale deve avere delle caratteristiche di riflessione dell'energia acustica molto superiore alla media. Una parete potrà entrambe le funzioni solo tramite l'unione di due materiali diversi, con rispettive funzioni fonoassorbente (generalmente posto più vicino sul lato più vicino alla sorgente) e fonoisolante (posto di conseguenza).



Si ricorda inoltre che:

$$a + t + r = 1$$

Dove: a = coefficiente di assorbimento
 t = coefficiente di trasmissione
 r = coefficiente di riflessione

I materiali fonoisolanti

Nel materiali fonoisolanti il coefficiente che interessa maggiormente è il coefficiente di trasmissione t , dato dal rapporto tra la potenza trasmessa (W_t) e la potenza incidente (W_o):

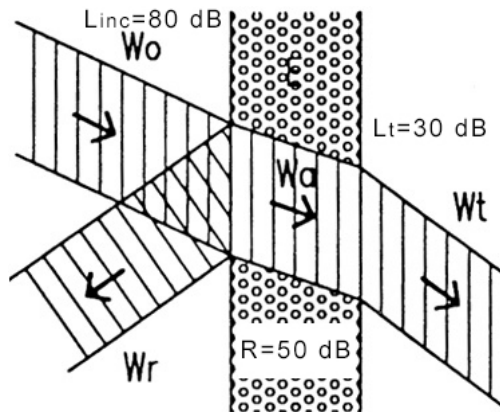
$$t = \frac{W_t}{W_o}$$

Questo coefficiente sarà un numero puro compreso tra 0 e 1. Mediamente però i produttori forniscono il potere fonoisolante R :

$$R = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t} \right] \quad (\text{dB})$$

Esso indica di quanti decibel si riduce il suono nel momento in cui attraversa la parete

ESEMPIO NUMERICO

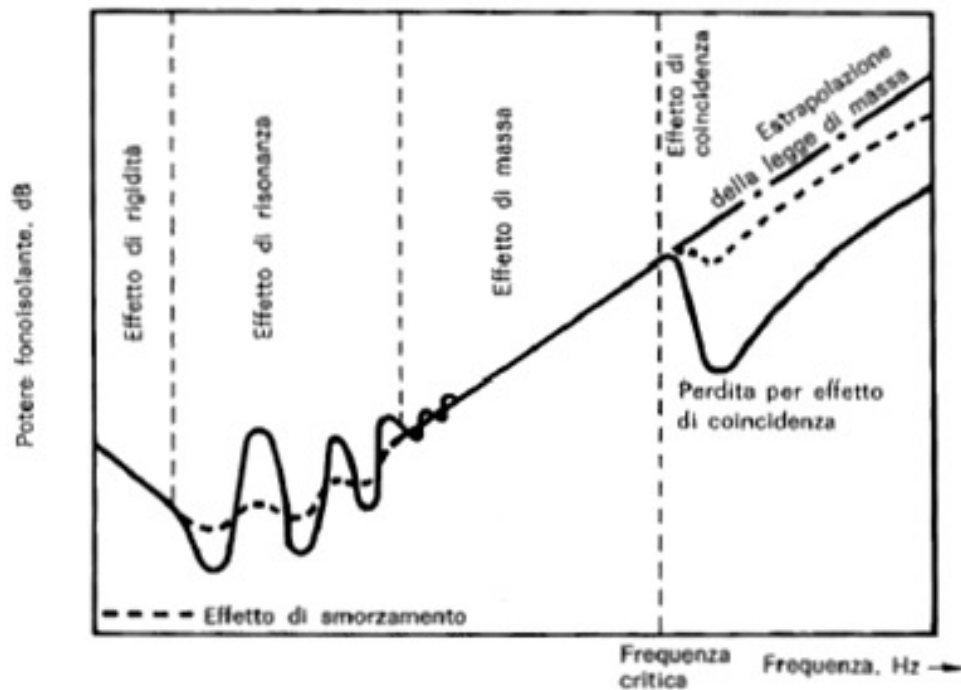


$$L_{inc} = 80 \text{ dB}$$

$$R = 50 \text{ dB}$$

$$L_t = 30 \text{ dB}$$

Il potere fonoisolante varia fortemente con la frequenza.



Nel diagramma sopra, viene indicato con una curva nera continua il tipico andamento del potere fonoisolante di un materiale omogeneo e poco smorzato, come, ad esempio, una lastra di vetro di una finestra o una lamiera di acciaio.

La curva nera tratteggiata rappresenta, invece, l'andamento in frequenza di un materiale più smorzato come, ad esempio, un muro fatto di mattoni e malta cementizia.

- La prima regione che va da 0 Hz ai 30 Hz è governata dalla **rigidità** del pannello. In questa zona R cala di 6 dB/ottava.
- La seconda regione che va da 30 Hz a 100 Hz è governata dalla **risonanza** (frequenze naturali di risonanza proprie del pannello). E' il suono che si sente quanto si dà un colpo al pannello; in casi come

questo il pannello vibra, nei comenti successive al colpo, solo alle frequenze di risonanza.

Un sistema semplice ha una singola frequenza di risonanza, mentre un sistema complicato come, ad esempio, una parete di un edificio, ne può avere anche tre.

Nella regione delle risonanze sappiamo che ad alcune frequenze si ha una forte caduta di isolamento.

Tra una risonanza e la successiva si crea, inoltre, un'antirisonanza (individuata dalle zone di picco della curva) durante la quale la parete non vibra, e quindi isola, senza pertanto trasmettere il suono dall'altra parte.

Non si è mai sicuri dei valori di frequenze ai quali si sviluppa la risonanza e l'antirisonanza, quindi dovremmo ipotizzare per sicurezza, una curva bassa che tocca le "buche" di risonanza.

- La terza regione che va da 100 Hz a 4000 Hz è governata dalla **massa del pannello**. In questa regione si ha un andamento della curva molto lineare, in quanto R cresce di 6 dB/ottava. Una formula semplicissima prevede con estrema accuratezza il comportamento del materiale, per questo motivo, quando si lavora in questa regione, si possono fare delle previsioni molto accurate e di conseguenza dei dimensionamenti ragionevoli, senza dover eccedere con il materiale.
- La quarta regione che va dai circa 4000 Hz è governata dalla **coincidenza**. In questa zona si registra una forte caduta di potere fonoisolante. A seconda di quanto il materiale è smorzato si avrà una caduta diversa, o molto debole o molto importante: questa caduta viene definita coincidenza. Si definisce coincidenza quando vengono a coincidere due quantità fisiche, cioè due lunghezze d'onda, quella del suono nell'aria e quella delle onde flessionali che corrono vibrazionalmente (detto in altre parole: lunghezza d'onda con cui il pannello vibra) nel pannello. Quando i due sistemi hanno la uguale lunghezza d'onda, le due onde si accoppiano: in questo momento si ha un trasferimento di energia molto più facilitato, tra campo acustico e campo della parete, sia verso l'interno che verso l'esterno. In campo edilizio questo fenomeno è alla base dei problemi di acustica creati dalle lastre di vetro delle finestre

La legge di massa

Con la legge di massa, che vale alle frequenze della regione governata dalla massa, è possibile stimare il potere fonoisolante R:

$$R = 20 \cdot \log_{10}(\sigma \cdot f) - 44.0$$

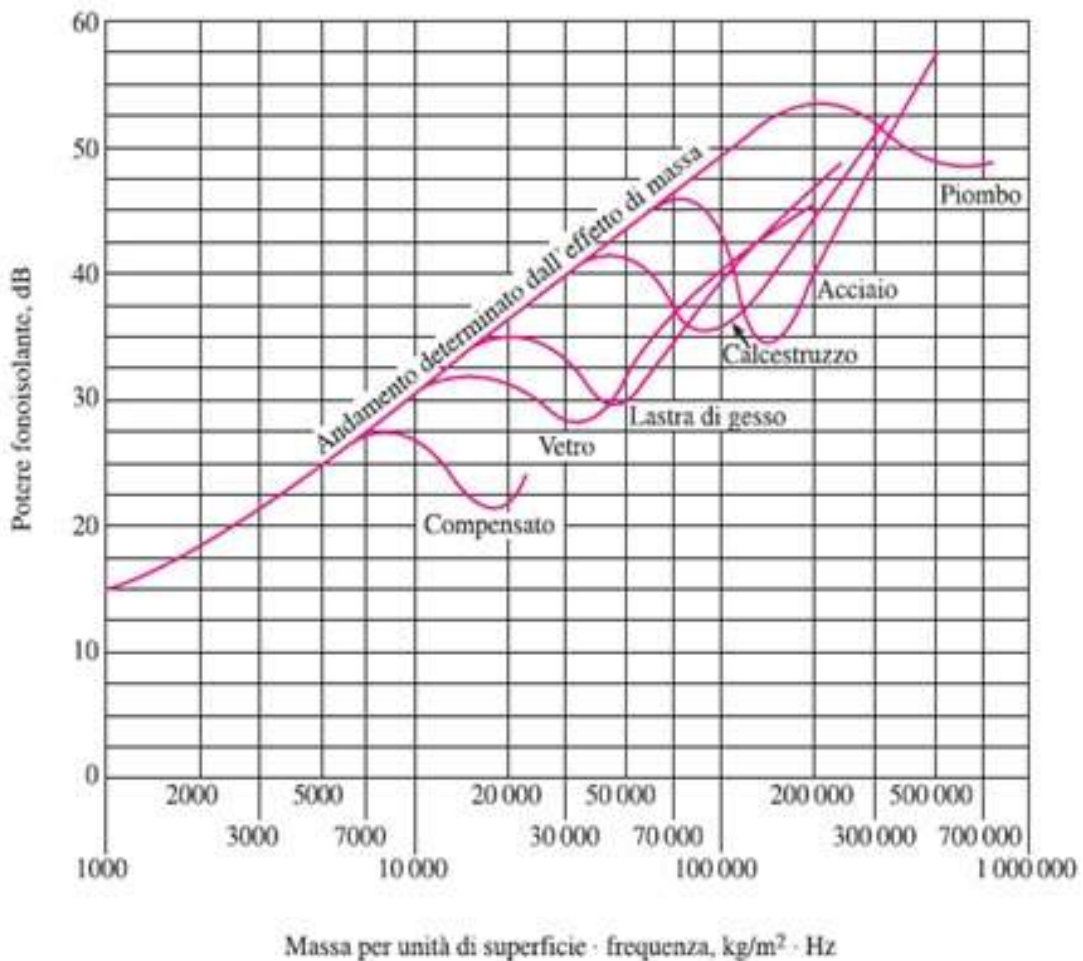
σ = massa areica o massa per unità di superficie o densità superficiale
(kg/m^2)

f = frequenza

Il potere fonoisolante, come si può notare dal diagramma, continua a crescere fino ad arrivare alla regione di coincidenza.
 Esistono tabelle che indicano, per ogni materiale, il valore della frequenza di coincidenza ($\text{Hz} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2$).

Tabella 14.4 Frequenze critiche per alcuni materiali

Materiale	Frequenza critica per massa per unità di superficie ($\text{Hz} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2$)	Massa per unità di superficie per unità di spessore ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
Piombo	600 000	11,2
Acciaio	97 700	8,1
Calcestruzzo armato	44 000	2,3
Mattone	42 000	1,9
Vetro	39 000	2,5
Perspex	35 000	1,15
Cemento-amianto	33 600	1,9
Alluminio	32 200	2,7
Masonite	30 600	0,81
Lastra di gesso	32 000	0,75
Compensato	13 000	0,58



ESEMPIO NUMERICO

Calcolare il potere fonoisolante di una parete di mattoni spessa $s = 200 \text{ mm}$ alla frequenza $f = 500 \text{ Hz}$. Da tabella si ricava che $1,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ è la massa per unità di superficie per unità di spessore del mattone.

$$\sigma = 1,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot 200 \text{ mm} = 380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

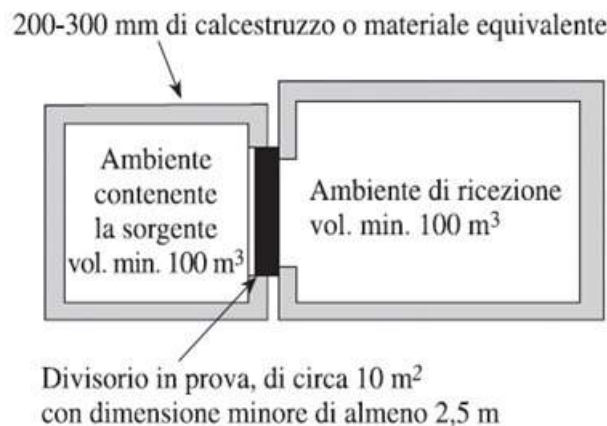
$$R = 20 \cdot \log_{10} \left(380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 500 \text{ Hz} \right)$$

Il potere fonoisolante

Vediamo il legame fra potere fonoisolante e isolamento acustico.

Il potere fonoisolante si misura in un laboratorio. Lo strumento è costituito da due camere mediamente abbastanza disuguali, per evitare che le risonanze di una camera siano in coincidenza con le risonanze della camera adiacente. Mediamente, si ha una camera piccola, usata come trasmittente, ed una camera più grande, usata come ambiente ricevente. Le strutture delle camere sono completamente svincolate e indipendenti. Nel portello che si viene a situare tra i due ambienti si installa il divisorio di prova, di circa 10 m^2 , come da normativa.

La prova consiste nell'inserire nella camera più piccola una sorgente, cioè un altoparlante, che produce rumore rosa o rumore bianco e con un microfono si misura il livello sonoro interno alla camera sorgente (L_1) e quello presente nella camera di ricezione (L_2).



Il potere fonoisolante è dato dalla seguente formula:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} \frac{S}{\sum \alpha_i \cdot S_i}$$

$L_1 - L_2 = D$ = differenza di livello fra l'ambiente contenete la sorgente e l'ambiente di ricezione

S = superficie della parete di prova

α = coefficiente di assorbimento

L_2 si può anche calcolare con la formula di campo riverberante, vale a dire:

$$L_2 = L_w + 10 \log \frac{4}{A}$$

L_w = livello di potenza

A = unità assorbenti dell'ambiente ricevente = $\sum \alpha_i S_i$

Se volessi calcolare la differenza di livello $L_1 - L_2$:

$$L_1 - L_2 = R - 10 \log \frac{S}{A}$$

Quindi, l'effettivo isolamento che si va a conseguire peggiora al crescere della superficie della parete (S), ma migliora all'aumentare delle unità assorbenti dell'ambiente ricevente (A).

Guardando la formula, per logica, in fase di collaudo degli edifici, sarebbe più conveniente svolgere la prova inserendo nell'ambiente ricevente molte unità assorbenti, come ad esempio gli arredi, divani tappeti, tende, ecc., in modo che ci sia più assorbimento e di conseguenza più isolamento. La norma italiana, però, non consente questo "trucco": la legge afferma che il valore R va misurato in opera, quindi senza arredi. R quindi dipenderà solamente dal materiale con cui è stato fatto il divisorio.

Indice di valutazione del potere fonoisolante

Come si è visto precedentemente, il potere fonoisolante varia con la frequenza, ma la legge dà dei valori a singolo numero.

Come si trova un valore a singolo numero secondo la normativa ISO 717?

Si fa applicando alla curva sperimentale dei poteri fonoisolanti una curva di riferimento, che viene fatta scendere dall'alto verso il basso, a passi di 1 dB, sino a che la somma degli scarti sfavorevoli risulta inferiore a 32.

A questo punto si guarda qual è il valore dell'indice di valutazione del potere fonoisolante alla frequenza di 500 Hz (dato fornito dalla normativa), facendo riferimento alla curva dell'indice di valutazione (curva rossa).

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è un singolo numero in dB che indica il potere fonoisolante complessivo, su tutte le frequenze della parete. Esso, perché il collaudo sia positivo, deve essere maggiore di 50 dB come stabilito da normativa.

Un fonometro moderno può fornire direttamente l'indice di valutazione del potere fonoisolante.

