



Pierpaolo Vitriani

IL POTERE FONOISOLANTE DEL VETRO

13 April 2006

PRESENTAZIONE DELL'ARTICOLO

Seguendo il forum si è notata una tendenza a sollecitare nuove tematiche tecniche per il sito. L'articolo si inserisce in questa prospettiva inaugurando uno spazio di fisica tecnica. L'autore ci propone alcuni articoli che illustreranno le proprietà termofisiche e meccaniche di uno dei fondamentali componenti dell'edilizia: il vetro.

Premessa

Tutti sappiamo per quali caratteristiche fisiche si usa il vetro nell'edilizia.

- *Lascia passare la luce;*
- *ostacola la trasmissione del calore dall'ambiente all'esterno;*
- *attutisce i rumori dell'ambiente esterno*

La posa in opera richiede inoltre la conoscenza delle sue caratteristiche di resistenza meccanica per installare un prodotto adeguato alla funzione richiesta. La scelta corretta del vetro da installare deve conciliare tutte le precedenti esigenze per raggiungere comfort e sicurezza. Occorre saper valutare quantitativamente ognuna delle proprietà termofisiche e meccaniche. E' necessario perciò definirle con precisione e stabilire le unità di misura per confrontare diverse tipologie vetrarie, ormai numerosissime. Questo articolo tratta le proprietà acustiche del vetro definendone il potere fonoisolante. Successivi articoli illustreranno le altre proprietà termofisiche e meccaniche.

IL SUONO

Il suono è la sensazione che viene prodotta dalla vibrazione del timpano, la membrana dell'orecchio che separa l'interno del corpo umano dall'ambiente esterno. La membrana vibra per effetto della variazione di pressione dell'aria. La variazione di pressione è una variazione della densità dell'aria prodotta dalla vibrazione di oggetti presenti nell'ambiente e che sono detti per questo sorgenti sonore. Le variazioni locali nella densità dell'aria si propagano come onde longitudinali, cioè le variazioni di pressione avvengono nella stessa direzione della propagazione. La velocità di propagazione è la velocità del suono che è di circa 340 m/s.

La frequenza delle vibrazioni della sorgente è la frequenza del suono e rappresenta il numero di volte che rarefazioni ed addensamenti d'aria si succedono nell'unità di

tempo. Il prodotto della velocità di propagazione, v , per la frequenza f , è la lunghezza d'onda del suono $\lambda = v / f$. Un suono è puro se la sorgente vibra ad una precisa frequenza. L'orecchio umano è sensibile a frequenze comprese tra i 16 ed i 20000 Hz e l'hertz, misura della frequenza, rappresenta il numero di periodi contenuti in un secondo. Il periodo è il tempo che trascorre tra un addensamento dell'aria e quello successivo. Un suono complesso è invece l'onda di pressione prodotta da sorgenti che vibrano a frequenze diverse. Qualunque sia il modo di vibrazione di una sorgente, il suono può sempre essere scomposto nella somma di vibrazioni pure di diversa frequenza. Il rumore è l'insieme non coordinato di frequenze che, a differenza della musica, che comunque è un fatto molto dipendente dalla cultura, risulta sgradito all'individuo.

La frequenza del suono determina il tono (acuto: frequenze alte, grave: frequenze basse). A parità di frequenza la sensazione fisica dipende dall'intensità, J , che è il flusso di potenza sonora per unità di superficie; si misura perciò in W/m^2 . Essa è proporzionale alla densità ρ del mezzo in cui l'onda sonora si propaga, alla velocità di propagazione v , al quadrato della frequenza f , al quadrato dell'ampiezza dell'oscillazione delle molecole, A .

$$J = \rho \cdot v \cdot f^2 \cdot A^2$$

Più che la misura diretta di tale valore, che è il livello sonoro oggettivo, interessa conoscere in che modo esso è percepito dal soggetto, cioè il livello sonoro soggettivo che, in inglese, è detto *loudness*.

E' una misura che deriva dal rapporto tra l'intensità effettiva J e l'intensità minima percepibile o intensità di soglia, J_0 . Matematicamente si usa considerare il logaritmo di questo rapporto moltiplicato 10: si ha la scala in decibel. Il livello di intensità sonora misurato in decibel è dunque

$$L_J = 10 \cdot \log(J/J_0)$$

Il valore di J_0 è quello che corrisponde alla soglia normale di udibilità a 1 kHz:

$$J_0 = 1 \text{ pW/m}^2$$

$$(1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W})$$

La scala dei valori udibili è molto vasta. Preso come riferimento il più debole, detto intensità di soglia, il campo si estende. Se si vuole indicare il livello di pressione acustica

$$L_P = 20 \cdot \log P/P_0$$

Dove $P_0 = 20 \text{ mPa}$ è la pressione di soglia sempre ad 1 kHz.

(Per la definizione di pascal ($\text{Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ nbar}$ vedi [qui](#))

Sorgente	Intensità	Livello dB
Soglia	1	0
Respiro normale	10	10
Stormire di foglie	10^2	20
Voce bisbigliata	10^3	30
Ristorante tranquillo	10^4	40
Ufficio silenzioso	10^5	50
Conversazione tra due persone	10^6	60
Ufficio rumoroso	10^7	70
Autotreno a 15 m	10^8	80
Cascate del Niagara	10^9	90
Metropolitana	10^{10}	100
Complesso rock	10^{11}	110
Martello pneumatico	10^{12}	120
Fuoco mitragliatrice	10^{13}	130
Decollo piccolo aereo	10^{14}	140
Fuoco mitragliatrice	10^{15}	150
Galleria aerodinamica	10^{16}	160
Decollo di un grande aereo	10^{17}	170
Decollo del missile Saturno	10^{19}	190

TRASMISSIONE DEL SUONO ATTRAVERSO LE STRUTTURE

Il livello di intensità sonora accettabile negli ambienti è stabilito da normative ambientali specifiche. Il principale modo per ottenere il livello desiderato di confort consiste nel ridurre l'intensità delle sorgenti di rumore, quindi nell'attenuarlo con una corretta esecuzione delle pareti di separazione tra gli ambienti.

Quando l'onda sonora incontra una parete divisoria, una parte è riflessa, una parte assorbita, una parte trasmessa. Occorre allora valutare il modo in cui il suono si trasmette attraverso le strutture. Le superfici vetrate sono una delle strutture fondamentali dell'edilizia.

Il potere fonoisolante **R** di un divisorio è dato dall' attenuazione del livello sonoro misurato in decibel, cioè dalla differenza tra il livello in decibel del rumore incidente, **L_{Ji}**, sulla parete ed il livello sonoro trasmesso, **L_{Jt}**, all'ambiente.

$$R = 10 \cdot \log (J_i/J_t) = L_{Ji} - L_{Jt}$$

NB: Il **fonoisolamento** consiste nell'ostacolare la propagazione del suono attraverso le strutture ed è quanto maggiormente interessa il vetro; ricordiamo che il **fonoassorbimento** è invece la tecnica per limitare la riverberazione del suono che ha raggiunto l'ambiente.

Legge di massa.

Il potere fonoisolante dipende da molti fattori. Uno di questi è la massa della parete divisoria. Si ha così la cosiddetta legge di massa. La legge varia a seconda dell'angolo di incidenza dell'onda sonora. L'angolo di incidenza è l'angolo formato dalla direzione del suono con la perpendicolare alla superficie. Per un angolo inferiore ai 78°, si ha

$$R = 20 \cdot \log (f \cdot M_s) - 47,3 \text{ dB}$$

Dove **f** è la frequenza del suono ed **M_s** la massa specifica, cioè la massa per unità di superficie del divisorio (kg/m²). Raddoppiare la massa della parete divisoria, che a parità di materiale significa raddoppiarne lo spessore, permette di aumentarne di 6 dB il potere fonoisolante **R**.

Indice di valutazione del potere fonoisolante.

Il potere fonoisolante varia con la frequenza. La normativa **ISO 717** ha però introdotto un indice di valutazione globale per poter confrontare con un unico numero le varie strutture.

In un laboratorio, secondo modalità precisata dalla norma ISO 140 parte 3, si ricava la risposta in frequenza reale della struttura. Si misurano cioè le attenuazioni a determinate frequenze comprese tra 125 e 4000 Hz. Si ottiene in tal modo una curva caratteristica che viene confrontata con una curva di riferimento. Il confronto avviene sovrapponendo le due curve e facendo traslare verso l'alto la curva limite fino a quando si verificano le seguenti condizioni:

1. La somma delle differenze tra la curva di riferimento e la curva caratteristica nella zona in cui quest'ultima sta sotto la curva di riferimento, diviso il numero di ottave considerate (un'ottava corrisponde ad un raddoppio di frequenza), non deve superare 2 dB;
2. Il massimo scarto non deve superare 5 dB

L'indice di valutazione ISO R_w è il valore in dB letto in corrispondenza ai 500 Hz sulla curva limite

Nel caso di figura 1 ad esempio la curva di riferimento è spostata rispetto alla curva corrispondente alla risposta effettiva del vetro in esame fino ad ottenere le condizioni richieste. Il massimo scarto di 5 dB si ha a 1000 Hz. La somma degli scarti all'interno della zona in cui la curva di riferimento sta sopra è di 11 dB e le ottave considerate sono 6. Quindi $11/6 < 2$. In corrispondenza alla frequenza di 500 Hz sulla curva di riferimento si legge 37 dB: è questo l'indice di valutazione R_w che caratterizza il vetro dal punto di vista dell'isolamento acustico.

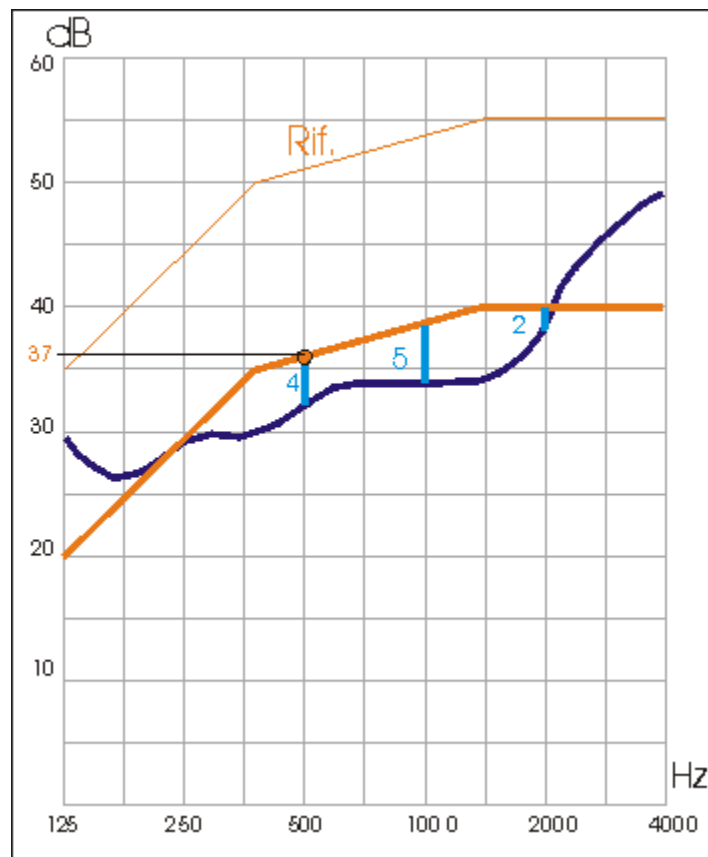


fig. 1

VETRI

La tabella mostra l'indice R_w per differenti spessori e tipologie vetrarie.

Tabella 2

Tipo di vetro	M_s (kg/ m^2)	Indice ISO R_w a 500 Hz	Iso 717-1	
			C	C_{tr}
Cristallo 3 mm	7,5	26		
Cristallo 4 mm	10	27,5		
Cristallo 5 mm	12,5	28,5		
Cristallo 6 mm	15	30	-1	-2
Cristallo 8 mm	20	32	-1	-2
Doppio vetro 4+4 mm	20	32	0	-3
Cristallo 10 mm	25	33	-1	-2
Stratificato 11/12 mm	27	37		

Innanzitutto osserviamo che il doppio vetro non presenta un vantaggio acustico: un vetro singolo con lo stesso spessore dei due vetri dà luogo allo stesso indice in accordo con quanto previsto dalla legge di massa.

Un miglioramento si otterrebbe solo per intercapedine d'aria di valore esagerato (20 cm). Benefici si ottengono usando vetri di spessore diverso, oppure riempiendo l'intercapedine con un gas pesante (SF_6 : esafluoruro di zolfo). Il vetro stratificato ha un poterere fonoisolante più elevato per l'azione del foglio di plastica interposto, che abbassa la frequenza di risonanza propria del vetro e sposta la frequenza critica al di fuori dell'intervallo 100-3200 Hz.

E' comunque importante ricordare che la posa in opera è di estrema importanza: se non si rispettano precise norme il potere fonoisolante può subire una riduzione di oltre 10 dB rispetto a quello teorico.

La norma ISO 717-1 ha introdotto due fattori correttivi per l'indice R_w , che declassano il potere fonoisolante in funzione della sorgente di rumore. Si ha quindi $R_{w(C,C_{tr})}$ dove C e C_{tr} sono numeri negativi che equivalgono ai decibel da sottrarre all' R_w in base al tipo di rumore. L'indice C_{tr} è quello più gravoso ed è per il rumore dovuto al traffico