



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

5

Il vetro per l'isolamento acustico

Bollettino tecnico

Introduzione

Con la crescita della densità di popolazione, della produzione industriale e del trasporto, i rumori aumentano, lasciando sempre minori vie di scampo. Insieme all'aumento del rumore cresce la consapevolezza degli effetti sulla salute causati dallo stress da inquinamento acustico che si estende ad ambienti una volta silenziosi. Le previsioni per il futuro indicano che il traffico ed i rumori aumenteranno con il venir meno degli spazi di vita. C'è un crescente interesse circa le modalità per proteggere le persone dai rumori ed evitare il considerevole stress che provoca e che, in alcuni casi, può portare a gravi patologie.

Sono stati raggiunti traguardi apprezzabili nel controllo dell'ingresso del rumore negli edifici e nelle aree circostanti, tuttavia abbiamo deciso di concentrarci sul contributo che un'attenta scelta del vetro è in grado di offrire alla risoluzione del problema.

Cos'è il suono?

Da un punto di vista fisico il suono si propaga sotto forma di onde/oscillazioni meccaniche. Già 2000 anni fa un architetto romano impegnato nella costruzione di anfiteatri si ispirava alle onde nell'acqua per migliorare il suo progetto.



Figura 1: il suono si diffonde in maniera simile alle onde in acqua

Ad esempio se colpiamo un diapason, possiamo sentire le oscillazioni, ma non riusciamo a vederle. Le oscillazioni prodotte dal diapason vengono trasmesse alle molecole d'aria, che a loro volta le trasmettono alle altre molecole. Tali oscillazioni sono paragonabili a un'onda nell'acqua, in cui l'altezza dell'onda rappresenta il volume del suono mentre il numero di onde nell'unità di

tempo rappresenta la frequenza del suono, ovvero maggiore è il numero di onde e più elevata è la frequenza. La frequenza viene misurata in cicli per secondo o Hertz. Hertz è il modo corretto per definire la frequenza o picco del suono e viene abbreviato in Hz.

In musica, il La (La più vicino al Do centrale) ha una frequenza di 440 Hz o oscillazioni al secondo in fase di accordatura. Se la frequenza viene raddoppiata a 880 Hz, la nota viene innalzata di un'ottava.

L'orecchio umano di una persona giovane è in grado di percepire frequenze comprese tra i 20 e i 20.000 Hz e di distinguere pressioni sonore o, volendo essere più precisi, fluttuazioni della pressione che vanno da 10^{-5} Pascal (Pa) = 0,00001 (soglia inferiore dell'udito) a 10^2 Pa = 100 Pa (soglia del dolore), traducendole al cervello come sensazioni di volume. Con l'avanzare dell'età la gamma delle frequenze udibili diminuisce da entrambe le estremità della scala per cause naturali o danni all'apparato uditivo.

Il rapporto fra il suono più basso e quello più alto è di 1 a 10 milioni. Poiché una tale escursione è alquanto difficile da gestire, in pratica il livello di pressione sonora, o in breve L, viene espresso mediante una scala logaritmica che rappresenta una conversione della pressione sonora in una misura più pratica, il decibel (dB). La gamma normale si estende da 0 (soglia uditiva) a circa 130 dB (soglia del dolore). Nella figura 3 sono illustrati alcuni esempi.

I modi per generare rumori sono vari e ciascun rumore produce volumi diversi di suono a frequenze differenti. Se come esempio prendiamo gli aerei, c'è una netta differenza tra suoni prodotti da un velivolo a elica, da un jet a reazione o da un aereo militare. Se si traccia il volume in rapporto alla frequenza, l'aspetto è completamente diverso. Quando si tenta di ridurre i rumori, occorre tenere presenti tali variazioni, considerando anche che alcuni tipi di vetro sono più adatti a determinate frequenze rispetto ad altri. Facendo corrispondere le prestazioni rispetto al rumore delle varie tipologie di vetri, possiamo ridurre in maniera selettiva i suoni più fastidiosi per ottenere i vantaggi massimi. Chiunque viva accanto a una pista d'atterraggio privata dove atterrano velivoli leggeri ha problemi differenti rispetto

Definizione della frequenza

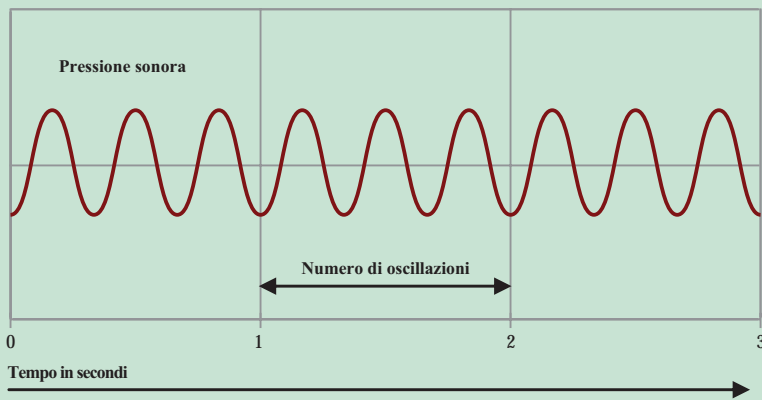


Figura 2: Definizione della frequenza

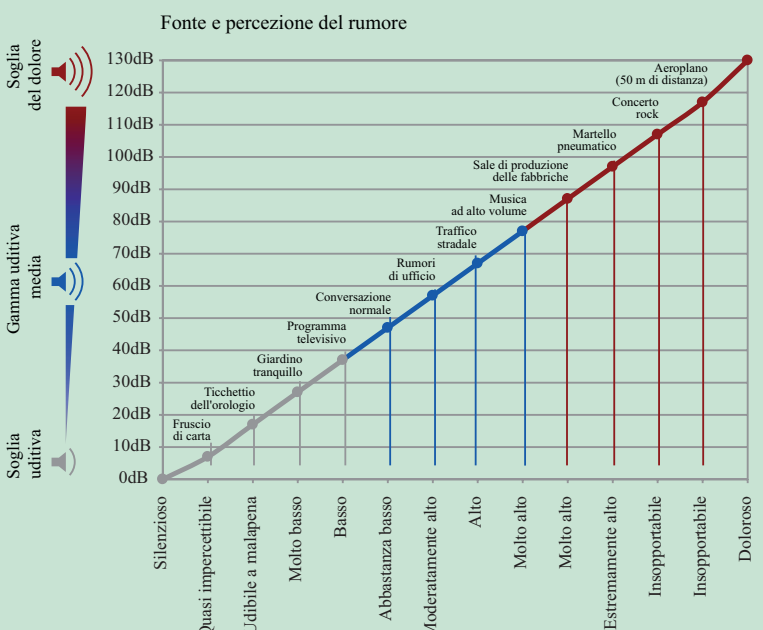


Figura 3: Sorgente e percezione del rumore (fonte: Kuraray, Troisdorf)

a coloro che vivono accanto a una base militare. La soluzione al problema del rumore sarà l'utilizzo di una diversa tipologia di vetro.

È possibile determinare il livello di rumorosità in svariati modi. Per i progetti più grandi e complessi è possibile commissionare un'indagine sulla rumorosità del sito a consulenti acustici che utilizzino dispositivi sensibili per misurare i livelli di rumorosità e farne la media in base alla frequenza nell'arco di un periodo. Queste indagini offrono dati precisi sul livello di rumore da attenuare a ciascuna frequenza. Le informazioni sono spesso espresse sotto forma di report che suddividono il rumore in tabelle che mostrano le frequenze in ottava, ovvero:

Frequenza Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Pressione sonora dB	30	36	42	44	48	50

È possibile misurare il suono *in loco*, accanto alla sorgente o a una distanza intermedia. Nei casi questi dati non siano disponibili, è possibile eseguire una regolazione del suono che tenga conto della distanza. Maggiore è la distanza dalla sorgente e minore è l'impatto.

Esempio: calo del rumore in funzione della distanza.

La rumorosità del traffico stradale diminuisce di circa 3 dB raddoppiando la distanza, in perpendicolare, rispetto alla strada. Se, ad esempio, L rappresenta il livello di rumorosità dB a 5 metri, il calo del rumore obbedisce alla formula:

5 metri	L	dB
10 metri	(L-3)	dB
20 metri	(L-6)	dB
40 metri	(L-9)	dB
80 metri	(L-12)	dB
160 metri	(L-15)	dB

Il livello di rumorosità viene spesso misurato nell'arco di un periodo e calcolato in media per eliminare l'effetto sproporzionato di forti rumori isolati ed eccezionali, quali il suono di un clacson. È possibile determinare un livello di energia sonora che rappresenti una media ponderata a lungo termine chiamata L_{eq} (Livello acustico con-

tinuo equivalente) Il livello di rumore L_{eq} , e non i picchi isolati, dovrebbe essere alla base del progetto. Lo scopo del progetto di conseguenza deve essere quello di controllare la rumorosità generale piuttosto che le eccezioni, altrimenti i criteri per la riduzione della rumorosità diventerebbero estremi. Per certe applicazioni può essere adatto l'utilizzo di una sola parte dei tre periodi o di un indicatore di rumori occasionali che ricorrono solamente per breve di tempo.

Talvolta è possibile registrare i dati con pesatura A per mezzo di dispositivi di misurazione del rumore. Nei casi in cui siano impostati i limiti interni di rumorosità, essi sono solitamente espressi in dBA o L_{Aeq} . La pesatura A rappresenta una regolazione del rumore a ciascuna frequenza in base ad una curva standard. La pesatura A prende quindi in considerazione il fatto che l'orecchio umano non reagisce allo stesso modo ed allo stesso volume ad ogni frequenza, ovvero alcune frequenze sembrano a un volume più elevato rispetto ad altre, anche se trasmesse con la stessa energia. È importante quindi tenere presente la reazione umana al rumore, piuttosto che decidere in base a strumentazioni che misurano il suono in maniera assoluta.

Nei casi in cui non vengano condotte indagini, sono disponibili esempi di studi che consentono ai progettisti di presupporre i livelli tipici di rumorosità derivanti da fonti comuni quali traffico, musica, conversazioni, treni, aerei, ecc.

Nei casi in cui non siano disponibili le informazioni relative alle bande a terzi di ottava o alle bande di ottava, esistono numerose espressioni abbreviate per il rumore. Tra queste, vengono solitamente utilizzati i parametri R_w e R_{tra} , per semplificare le informazioni. Per le prestazioni del vetro, le abbreviazioni sono determinate ponendo su un grafico l'attenuazione del rumore per frequenza e confrontandola esattamente con le curve standard finché non vi sia una buona corrispondenza. La riduzione del rumore ad una frequenza fissata sulle curve standard fornisce i parametri R_w e R_{tra} .

Quando il livello di rumorosità è noto, è possibile far corrispondere le prestazioni del vetro per ottenere il livello di rumorosità residua desiderato. È importante che gli indici della misurazione corrispondano o che venga utilizzata la stessa scala per un calcolo preciso.

Determinazione del valore di isolamento acustico R_w

Pilkington Optifloat™ 10 mm - 16 mm aria - Pilkington Optiphon™ 9,1 mm

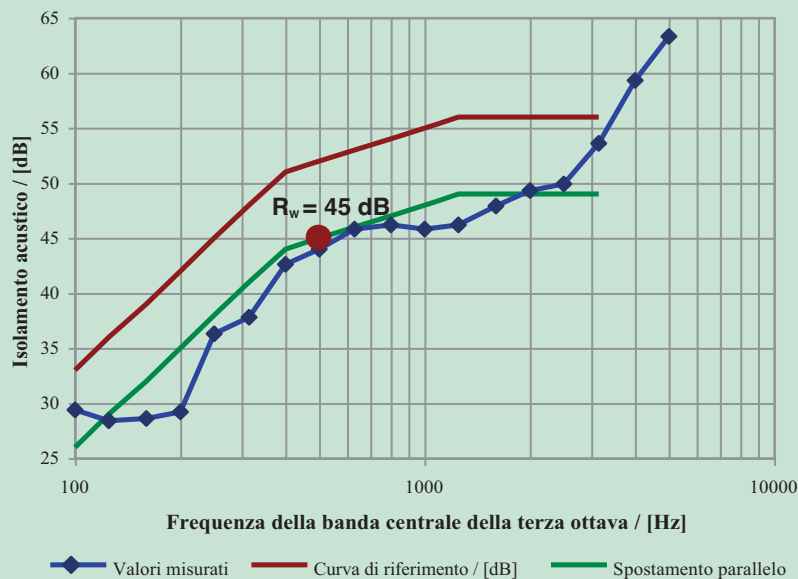


Figura 4: determinazione dell'isolamento acustico

* noto in precedenza come Pilkington Optilam™ Phon

Per approfondire

I valori misurati per Pilkington Optifloat™ 10 mm – camera d'aria di 16 mm – Pilkington Optiphon™* 9,1 mm sono riportati in blu. La curva di riferimento specificata nella sezione 4 di EN 717 viene riportata in rosso. La curva di riferimento viene ora spostata verso il basso in incrementi di dB interi, finché la somma delle deviazioni dei valori misurati dalla curva di riferimento spostata non viene massimizzata ed è inferiore a 32 dB. Vengono presi in considerazione solo i valori misurati, inferiori ai valori di riferimento. Il valore y della curva di riferimento spostata (Fig. 4, curva verde) a una frequenza di 500 Hz rappresenta il valore R_w – desiderato, in questo esempio equivale a 45 dB.

Sfortunatamente la formula riportata in precedenza che lega il valore della pressione sonora al volume percepito non è semplice come sembra, poiché il nostro udito è più sensibile ad alcune gamme rispetto ad altre. Ciò significa che percepiamo un tono da 1000 Hz come più alto rispetto ad un tono da 100 Hz, anche se il volume è lo stesso. Nella forma della curva di riferimento si tiene presente questa proprietà dell'orecchio umano.

Confronto tra le strutture di due vetri isolanti in cui

$R_w = 39 \text{ dB}$

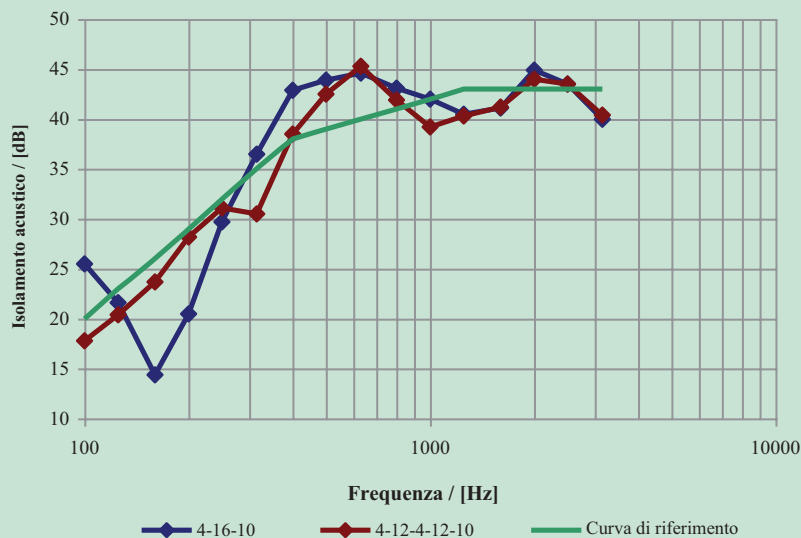


Figura 5: confronto tra le strutture di due vetri isolanti

Determinazione dell'isolamento acustico dei tipi di vetro

Poiché risulterebbe dispendioso e costoso misurare ciascun sistema direttamente, tutti gli spettri di isolamento acustico vengono registrati in condizioni standard (linea blu in Figura 4). E' evidente che l'isolamento acustico è strettamente dipendente dalla frequenza. Per evitare di dover lavorare con il set completo di dati, è possibile ridurre lo schema ad un solo valore. La procedura standard viene illustrata in figura 4. Il risultato è un numero singolo, in questo caso $R_w = 45 \text{ dB}$, utilizzabile per ulteriori calcoli.

Lo svantaggio della riduzione ad un valore singolo sta nella possibilità di ottenere lo stesso risultato con una curva dalla forma totalmente diversa, come si vede dalla Figura 5.

Se si utilizzano curve di riferimento personalizzate per i requisiti specifici, si ottengono specifiche con valori singoli più rappresentativi.

Tali casi speciali sono rappresentati da C e Ctr. Tengono in considerazione i diversi spettri della frequenza dei rumori residenziali e quelli provocati dal traffico, rendendo possibile la ricerca di soluzioni adeguate ai problemi in questione, in modo semplice.

Il valore C considera le fonti di rumore:

- Attività residenziali (conversazioni, musica, radio, TV)
- Bambini che giocano
- Traffico ferroviario a media e alta velocità
- Traffico autostradale > 80 km/h
- Jet piuttosto vicini
- Aziende che emettono principalmente rumori a frequenza medio-alta

Il valore C_{tr} considera fonti di rumore quali:

- Traffico stradale urbano
- Traffico ferroviario a bassa velocità
- Velivoli a elica
- Jet molto lontani
- Discoteche
- Aziende che emettono principalmente rumori a frequenza bassa e media

Di conseguenza, se l'edificio si trova in città, nei pressi di un'arteria principale il valore C_{tr} è il più adeguato. Se l'edificio si trova nei pressi di un'autostrada il valore C è il più appropriato.

Regole di calcolo

Sebbene l'utilizzo della scala in dB faciliti l'ottenimento di cifre convenienti, esso origina alcune "regole di calcolo" abbastanza insolite. Se la sorgente di rumore si raddoppia il valore espresso in dB aumenta solo di 3 dB. Un aumento di dieci volte, per esempio dieci ventole elettriche invece di una, portano a un aumento solo doppio del rumore, per esempio 10 dB.

Per completare la spiegazione, dovremmo inoltre menzionare che il dimezzamento del livello di rumorosità all'orecchio non equivale a un dimezzamento del volume. In generale è vero che:

- La differenza di 1 dB praticamente non è percettibile
- La differenza di 3 dB è appena percettibile
- La differenza di 5 dB è chiaramente percettibile
- La differenza di 10 dB dimezza/raddoppia il rumore.

Tipi diversi di isolamento acustico

Massa

Come accennato in precedenza, il suono si diffonde per mezzo di onde, provocando l'oscillazione delle molecole del mezzo in questione. A causa di questo metodo di trasmissione il rumore è soggetto a un'attenuazione naturale, dovuta alla massa in gioco. Ovvero: l'attenuazione è direttamente proporzionale all'aumento di massa tra la sorgente che trasmette e il ricevente.

Il modo più semplice per aumentare l'isolamento acustico del vetro è perciò quello di utilizzare molto vetro. Quindi un vetro singolo da 12 mm è caratterizzato da un valore R_w di 34 dB, mentre il valore corrispondente di un vetro da 4 mm corrisponde soltanto a 29 dB.

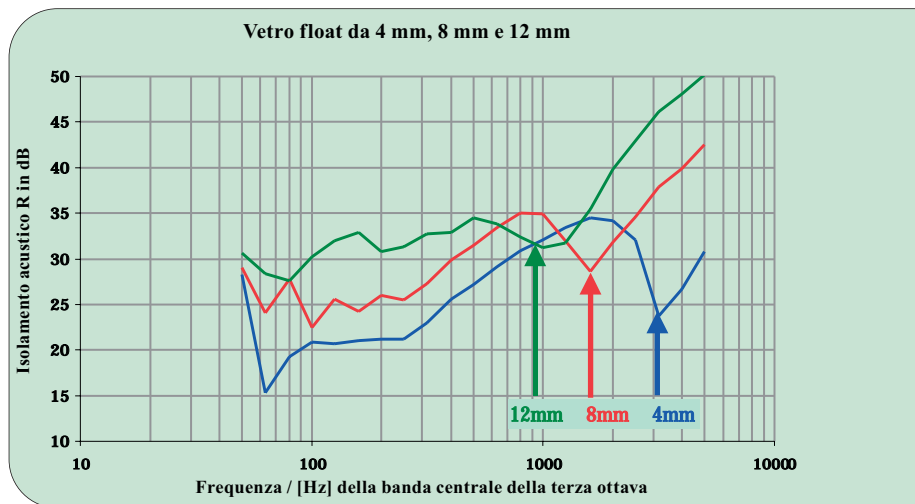


Figura 6: influenza dello spessore del vetro sulla frequenza di coincidenza

Frequenza e asimmetria coincidenti

Se si paragonano gli spettri di vetro float da 4 mm, 8 mm e 12 mm, è possibile notare una contrazione nella sezione destra.

Questa caduta di prestazioni in determinati punti dello spettro si verifica in corrispondenza della frequenza di coincidenza del materiale, quando la componente tangenziale delle onde incidenti viene a coincidere con la risonanza del materiale. La cosiddetta frequenza coincidente è specifica dei materiali e dipende dallo spessore del vetro. Come calcolo approssimativo:

$$f_g = \frac{12000 \text{ Hz}}{d}$$

(in cui d rappresenta lo spessore del materiale)

In base a questa formula, f_g è pari a 3000 Hz per vetro float da 4 mm, 1500 Hz per vetro float da 8 mm e 1000 Hz per vetro float da 12 mm; valori che corrispondono agli spettri in Figura 6.

Per ovviare al problema in una struttura isolante è possibile utilizzare vetri con spessori differenti in modo che quando un vetro si trova alla frequenza coincidente, l'altro continua a contrastare i rumori. Tali strutture asimmetriche sono perciò in grado di ridurre in modo significativo la contrazione nella gamma coincidente, come illustrato in Figura 7. Una differenza di spessore del 30% non soltanto riduce la leggera flessione ma sposta la scala verso l'alto, aspetto positivo poiché maggiore è la frequenza e maggiore sarà l'efficacia del vetro nella riduzione del livello complessivo di rumorosità.

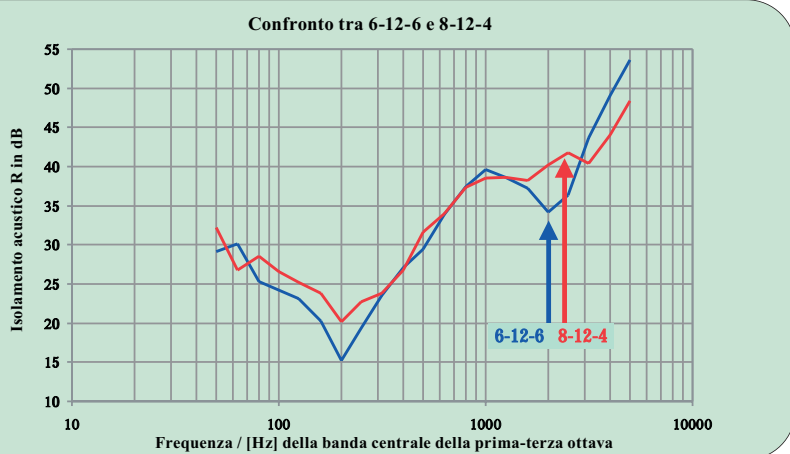


Figure 7: Struttura asimmetrica del vetro per ridurre la coincidenza

Spazio tra le lastre/riempimenti con gas

Un altro metodo per controllare la trasmissione del rumore è quello di variare la distanza tra le lastre di vetro. Nelle vetrate isolanti convenzionali lo spazio tra le lastre ha la sola funzione di preservare le prestazioni termiche ottimali e le dimensioni non sono tali da migliorare in maniera significativa le prestazioni acustiche. Grazie ad una installazione secondaria è possibile ottenere spazi relativamente ampi. Ad esempio una camera d'aria di 60 mm offre miglioramenti reali nelle prestazioni acustiche. È possibile ricoprire lo spazio tra le lastre con piastrelle acustiche per amplificare l'efficacia. Riempire di gas l'intercapedine tra le lastre di vetro di un vetrocamera ha un effetto marginale e non sono evidenti miglioramenti pratici dall'utilizzo di gas argon. Grazie alla sua densità, il cripton offre un lieve vantaggio in termini di guadagno di prestazioni acustiche, fino a 1 dB. L'impiego di gas pesanti di origine chimica, come ad esempio l'esafluoruro di Zolfo, può incrementare le prestazioni. Tuttavia questo gas porta con sé due svantaggi. Innanzitutto peggiora il valore di isolamento termico e poi ha un equivalente di CO₂ di 22.800, che contribuisce ampiamente all'effetto serra. Per tali ragioni, in molti paesi europei è proibito eseguire riempimenti con gas SF₆.

Stratificare / Attenuare

Abbiamo visto che per migliorare le prestazioni acustiche si possono variare gli spessori all'interno di un vetrocamera. Aumentare la massa del prodotto o aumentare la camera d'aria tuttavia può non essere indicato per questioni di peso e spazio. Fortunatamente è possibile migliorare l'isolamento acustico di vetri relativamente sottili aggiungendo nel vetro un effetto di attenuazione. Stratificando il vetro con uno strato intercalare di PVB è possibile ridurre il calo di prestazioni provocate dalla frequenza coincidente e spostare la frequenza alla quale si verifica la contrazione. Grazie all'aggiunta di un prodotto Pilkington **Optilam**™ alla struttura, è spostare ottenere un miglioramento significativo, in particolare nei casi in cui il livello di rumorosità risulterebbe elevato alla frequenza di coincidenza per un vetro monolitico. Le vetrate isolanti sono in grado di offrire ottimi risultati abbinando vetri monolitici (ad es. Pilkington **Optifloat**™) e vetri laminati della gamma Pilkington **Optilam**™.

Per soddisfare requisiti superiori è possibile utilizzare i prodotti Pilkington **Optiphon**™. In questi prodotti sono utilizzati intercalari speciali per laminare due lastre di vetro, preservando la sicurezza di impatto del vetro stratificato. Osservando il profilo della curva di Pilkington **Optiphon**™ si nota che il calo di prestazioni che sarebbe avvenuto alla frequenza coincidente è stato eliminato quasi del tutto. È possibile scegliere il prodotto che corrisponde al profilo sonoro desiderato per prestazioni superiori, senza aumentare in modo significativo lo spessore del vetro. Tutto questo offre una maggiore flessibilità di progettazione, senza pregiudicare i criteri di messa in opera.

Nella parte sinistra degli spettri si nota un'ulteriore contrazione. Si tratta della cosiddetta frequenza di risonanza. È la frequenza alla quale il componente oscilla a causa della risonanza, trasmettendo molto bene le oscillazioni sonore con uno scarso isolamento.

È possibile migliorare l'isolamento acustico spostando la frequenza di risonanza del componente a un altro valore (lontano dalla frequenza che provoca fastidio o dove l'orecchio umano percepisce con difficoltà). Tutto ciò si ottiene "disaccoppiando" il vetro isolante, rendendolo denso e flessibile allo stesso tempo. Ciò si ottiene unendo due lastre di vetro con resine fuse speciali (morbide) oppure

grazie a intercalari di PVB sviluppati appositamente per tale applicazione.

Nota importante

L'obiettivo di selezionare il prodotto acustico giusto è quello di rendere gli ambienti interni confortevoli e liberi dallo stress associato alla rumorosità. Il livello di rumorosità residua non è lo stesso per tutti i luoghi e le linee guida nazionali sono messe a punto per la maggior parte degli ambienti. Ad esempio, in una biblioteca il rumore di sottofondo deve attestarsi intorno ai 30 dB, mentre in una camera da letto è diverso rispetto ad un salotto. L'assenza completa di rumori non è desiderabile e solitamente si trova in camere anecoiche, generalmente riservate ai test. L'assenza completa di rumori può essere un'esperienza strana poiché l'orecchio si concentra su altri suoni che diventano fonte di distrazione.

Ecco la formula indicativa:

$$\text{fonte di rumore} - \text{attenuazione dell'edificio} = \text{rumore residuo}$$

Si tenga presente che è tutto l'edificio a dover contribuire e che il solo vetro non risolve tutti i problemi acustici. Per entrare in un edificio il rumore ha bisogno solo di una piccola fessura, al contrario di una perdita di calore che di solito è proporzionale all'area della superficie. Per abbattimenti acustici della vetrata che si aggirano intorno ai 35 dB, sono sufficienti finestre normali senza bocchette di aerazione. Oltre questo livello le prestazioni delle finestre sviluppate per la riduzione dei rumori devono essere consone a quelle del vetro per garantire che il prodotto finale funzioni (vetro+infisso).

Per riassumere

Sono cinque i fattori che, combinati, sono in grado di influenzare in maniera positiva l'isolamento acustico delle vetrate isolanti.

- Massa del vetro
- Struttura asimmetrica
- Camera d'aria ampia tra i vetri
- Utilizzo di gas alternativi
- Utilizzo di vetri speciali laminati di sicurezza **Optiphon™** o prodotti CIP (Cast In Place).

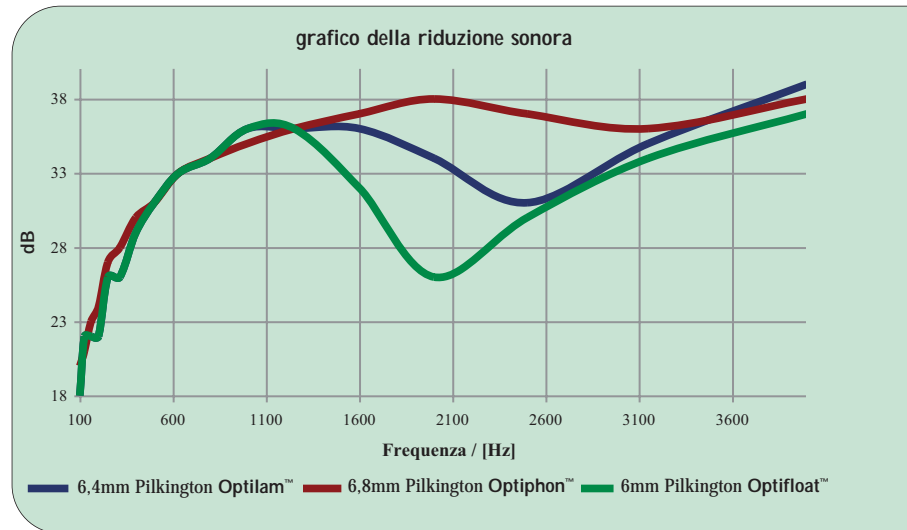


Figura 8: illustrazione della riduzione sonora

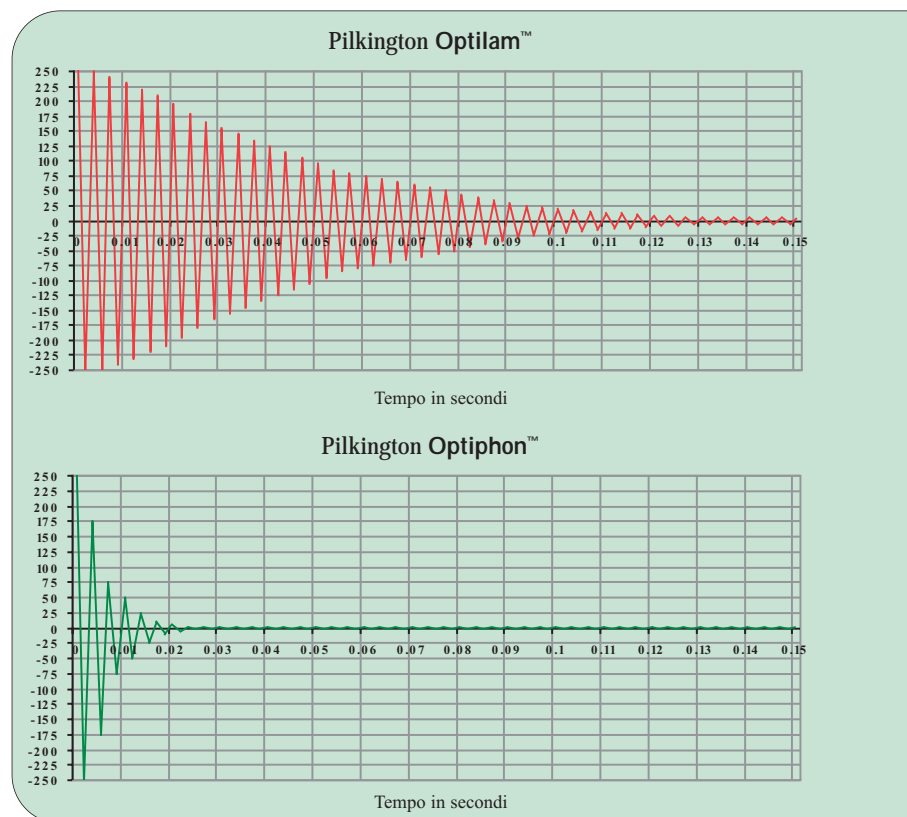


Figura 9: nella figura vengono illustrate le differenze sostanziali di attenuazione tra Pilkington **Optilam™** e Pilkington **Optiphon™** dal punto di vista della progettazione sonora.

Per i requisiti di isolamento acustico superiori, sono sempre più diffusi i vetri stratificati di sicurezza con isolamento acustico come Pilkington **Optiphon™**, rispetto ai prodotti in resina fusa, poiché è possibile ottenere valori R_w superiori a 50 dB e sono disponibili in grandi dimensioni. La compatibilità del PVB con gli altri materiali è ben nota: ed è possibile inoltre ottenere la protezione dal rischio da impatto o installarli in coperture.

Sebbene il presente documento sia stato preparato e presentato in buona fede, Pilkington Group Limited declina ogni responsabilità risultante in qualche modo da errori o omissioni contenuti o dalle conseguenze derivanti da tale presupposto.



PILKINGTON
NSG Group Flat Glass Business

Pilkington Italia S.p.a.

Via delle Industrie, 46 – 30175 Porto Marghera (VE)

Tel: +39 041 5334911 – Fax: +39 041 5317687

Documentazioneedilizia@pilkington.it

www.pilkington.com