



Il vetro e l'isolamento acustico

Bollettino Tecnico



PILKINGTON

Contenuti

Introduzione

Isolamento acustico del vetro

Informazione acustica

Guida al progetto

Introduzione

Per “rumore” si intende comunemente un suono indesiderato. Il rumore è dappertutto, originato dal traffico automobilistico, ferroviario, aereo, dalle industrie, da locali e discoteche, o semplicemente dal vicinato. E' un elemento di disturbo che può creare malessere, peggiorare le prestazioni professionali, fino a contribuire a stati di malattia sia fisica che psicologica, come appurato dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità. Pilkington ha sviluppato una gamma di vetri speciali che possiedono perfezionate proprietà acustiche capaci di soddisfare la domanda di isolamento acustico.

Tutte le finestre provvedono ad un certo grado di isolamento acustico., ma quando la riduzione del rumore è la proprietà principale che viene richiesta, la scelta del vetro diventa critica. Le opzioni attualmente disponibili per il progettista in termini di prodotti vetrari sono:

- Speciali vetri laminati fonoassorbenti
- Vetri laminati comuni
- Vetrate isolanti assemblate con vetri laminati
- Vetri di forte spessore

Le soluzioni tecniche da prendere in esame dipendono da un gran numero di fattori incluso il tipo di rumore, quando e per quanto tempo esso incide ed il tipo di attività svolta dalle persone all'interno dell'edificio.

La guida è studiata per dare delle informazioni acustiche interessanti relative alle vetrate in accordo con i bisogni immediati del lettore. Per chi è già edotto riguardo la materia, i valori di isolamento acustico delle Tabelle 1-3 possono fornire i dati cercati.

Ad ogni modo le condizioni nelle quali vengono considerati, potrebbero richiedere uno studio ulteriore e delle indicazioni supplementari sono fornite, ad esempio per la conversione in valori di attenuazione in accordo con lo spettro del rumore.

Le caratteristiche acustiche essenziali di un'ampia gamma di prodotti vetrari si possono trovare in questa pubblicazione di supporto, così come i valori tipici dello spettro dei più comuni rumori da mezzo di trasporto.

Laddove termini tecnici vengono utilizzati, il significato viene spiegato, e viene fornito un glossario di indici acustici.



Mondial Centre, Heathrow

Isolamento acustico delle vetrate

Vetrata singola Vetro monolitico

Considerazioni teoriche sulla massa indicano che raddoppiando lo spessore di una lastra monolitica, il risultato dovrebbe essere un incremento di circa 6 dB nel potere fonoassorbente. In realtà i fenomeni di risonanza interferiscono con questa tendenza e nella pratica l'aumento è ridotto a circa 4 dB.

I valori misurati sono elencati in Tabella 1. Questi dati mostrano una risonanza significativa – in corrispondenza della quale è visibile un netto abbassamento del potere fonoisolante secondo il fenomeno definito “effetto di coincidenza” – la cui frequenza, in Hertz (Hz), è inversamente proporzionale allo spessore della lastra. La **frequenza critica di coincidenza (fc)** è definita dalla formula:

$$f_c = 12000 / d \quad (\text{Hz})$$

dove **d** è lo spessore della lastra in millimetri (vedi figura 1).

Da un punto di vista acustico il vetro temprato, il vetro armato ed il vetro coatizzato si comportano allo stesso modo del vetro float semplice di pari di spessore.

Il vetro stampato si comporta – sempre da un punto di vista acustico – come un vetro float avente lo stesso spessore medio.

Vetro stratificato di sicurezza Pilkington

Invece di utilizzare un unico vetro monolitico ordinario, lo spessore totale della lastra può essere diviso in componenti più sottili, separati fisicamente tra loro ed incollati tramite un intercalare meno rigido, ottenendo un vetro stratificato. Se in genere questo prodotto viene utilizzato per le sue caratteristiche antinfortuno e di sicurezza, il processo di laminazione può portare anche a benefici in termini acustici dal momento che consente di eliminare la risonanza di coincidenza.

Due sono le tipologie di intercalare comunemente utilizzate: polivinilbutirrale (PVB) sotto forma di fogli, e resine “Cast In Place” (CIP), entrambe con i loro pregi caratteristici.

Le resine CIP utilizzate per i prodotti laminati possono essere studiate appositamente per incrementare il potere fonoassorbente della vetrata, e differenziarsi dai laminati standard prodotti con PVB. Dal momento che le resine CIP sono più “morbide” rispetto ai fogli di PVB, la risonanza avviene a frequenze che corrispondono all'incirca a quelle dei singoli componenti del laminato. Con l'utilizzo del PVB invece la risonanza si verifica alla frequenza corrispondente a quella dello spessore totale del laminato (quindi a frequenze più basse). Di conseguenza un prodotto laminato con resine CIP trasla le risonanze a frequenze più alte dove generalmente influiscono meno sul potere fonoisolante della vetrata. Il laminato acustico Pilkington utilizza una variante speciale di PVB.

Esempi di comportamento acustico di diversi tipi di laminato sono forniti nelle Tabelle 1 e 2.

Uso di intercapedini di grande spessore

Doppie finestre

Dove un elevato valore di isolamento acustico venga richiesto, un'intercapedine di spessore maggiore di 100 mm può essere utilizzata con buoni risultati. In questa applicazione, così come nel caso delle comuni vetrate isolanti, l'utilizzo di due vetri di diverso spessore (uno dei quali spesso almeno 6 mm e preferibilmente 10 mm) può migliorare il comportamento acustico.

Un eventuale rivestimento interno con materiale fonoisolante risulta positivo in quanto riduce il riverbero all'interno dell'intercapedine generando un incremento del potere fonoassorbente compreso tra 2 e 6 dB a seconda dell'area e delle caratteristiche di assorbimento del materiale utilizzato.

L'incremento dello spessore dell'intercapedine produce un miglioramento dell'isolamento acustico ma non direttamente proporzionale. Oltre i 200 mm non è solitamente economico installare doppie finestre dal momento che l'incremento delle proprietà acustiche è ridotto. Questo trend è mostrato in figura 3.

E' importante puntualizzare come queste finestre raggiungano le loro performance ottimali in termini di isolamento acustico solo quando le intercapedini siano opportunamente sigillate. In pratica questo significa che i telai che sostengono il vetro devono essere entrambi fissi o a battenti, e devono incorporare guarnizioni a

tenuta tutto intorno e prevedere sistemi di chiusura su più punti per ridurre i giochi ed impedire il movimento.

Le finestre scorrevoli non sono in grado di assicurare una tenuta ermetica per l'intercapedine e le conseguenti performance acustiche non differiscono generalmente da quelle di una semplice vetrata isolante (si veda pag. 10).

I dati di alcune tipiche composizioni sono fornite in tabella 3.

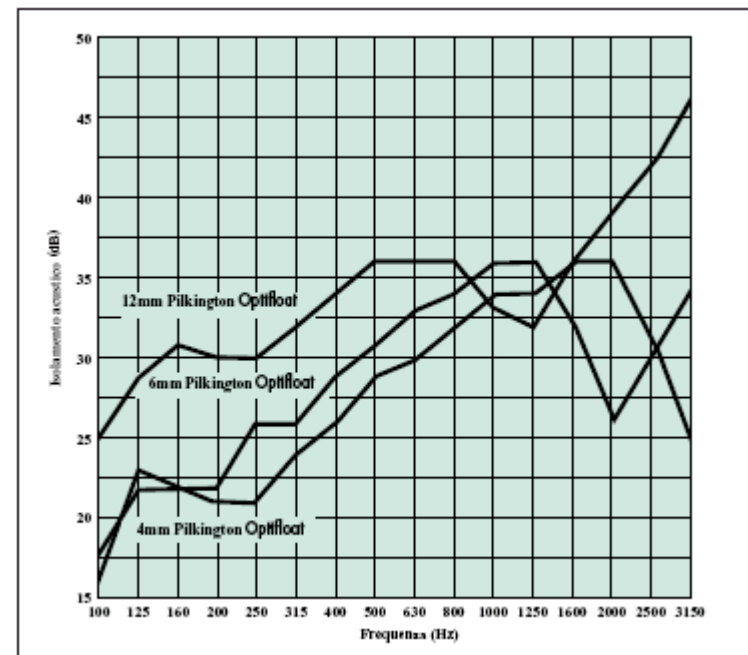


Figura 1. Spettro delle frequenze per Pilkington Optifloat 4 mm, 6 mm e 12 mm: sono evidenti le frequenze di risonanza

Vetrare isolanti

Le vetrate isolanti furono inizialmente introdotte per ridurre le perdite di calore attraverso la finestra. E' però possibile, attraverso una scelta corretta del vetro, ottenere in aggiunta delle buone caratteristiche acustiche. Il principio di massima sta nell'utilizzo di una lastra di forte spessore, associato ad un'altra lastra che differisca di almeno un 30% in spessore dalla prima (esempi di composizioni ottimizzate dal punto di vista acustico possono essere un 4 + 6 mm o un 6 + 10 mm) in maniera da compensare le risonanze individuali (soppressione delle risonanze simpatiche). La laminazione di una delle due lastre produce un ulteriore piccolo miglioramento nelle prestazioni fonoisolanti, indipendentemente dal vetro che viene stratificato.

Installazioni reversibili

(utilizzo di vetrocamere asimmetriche)

Vale la pena di ricordare che il comportamento acustico non dipende dal verso di montaggio della vetrocamera nel caso di composizioni asimmetriche. Ciò significa che una vetrata isolante 10/12/6 offre le stesse performance in termini di potere fonoassorbente di una vetrata isolante 6/12/10.

Effetto delle dimensioni dell'intercapedine

Nel campo dei valori più comuni di spessore delle intercapedini per vetrocamera, compreso tra i 6 e i 20 mm, ci sono piccole variazioni nelle proprietà di isolamento acustico a fronte di sensibili variazioni delle proprietà di isolamento termico.

Questa uniformità di comportamento è dovuta alla compattezza dell'insieme delle due lastre della vetrata isolante.

I dati forniti in tabella 2 fanno riferimento a vetrate isolanti con intercapedine in aria dello spessore di 12 mm, ma errori trascurabili vengono introdotti qualora questi valori siano adottati per l'arco di spessori sopra citato.

Effetto del riempimento con gas

Le vetrate isolanti sono spesso realizzate con vetri basso emissivi per aumentarne l'isolamento termico fino a valori simili a quelli del vetrate triple. In aggiunta un ulteriore piccolo miglioramento può essere ottenuto riempiendo l'intercapedine con gas argon. Queste vetrate isolanti hanno esattamente lo stesso comportamento acustico delle medesime composizioni di vetro riempite con aria.

Per applicazioni in cui si vogliono ottenere elevate performance acustiche alle medie frequenze (esempio, rumore da conversazione) le vetrate isolanti possono essere riempite con una miscela di esafluoruro di zolfo (SF_6). L'utilizzo di questo gas incrementa il corrispondente indice R_w . Allo stesso tempo però l'esafluoruro di zolfo introduce una risonanza significativa a 200-250 Hz e, per rumore con prevalenza delle basse frequenze (traffico stradale, ferroviario, aereo, ecc.) questo rappresenta un fattore peggiorativo, tanto che vetrate isolanti riempite con questo tipo di gas offrono prestazioni acustiche peggiori rispetto alle tradizionali vetrocamere con intercapedine in aria.

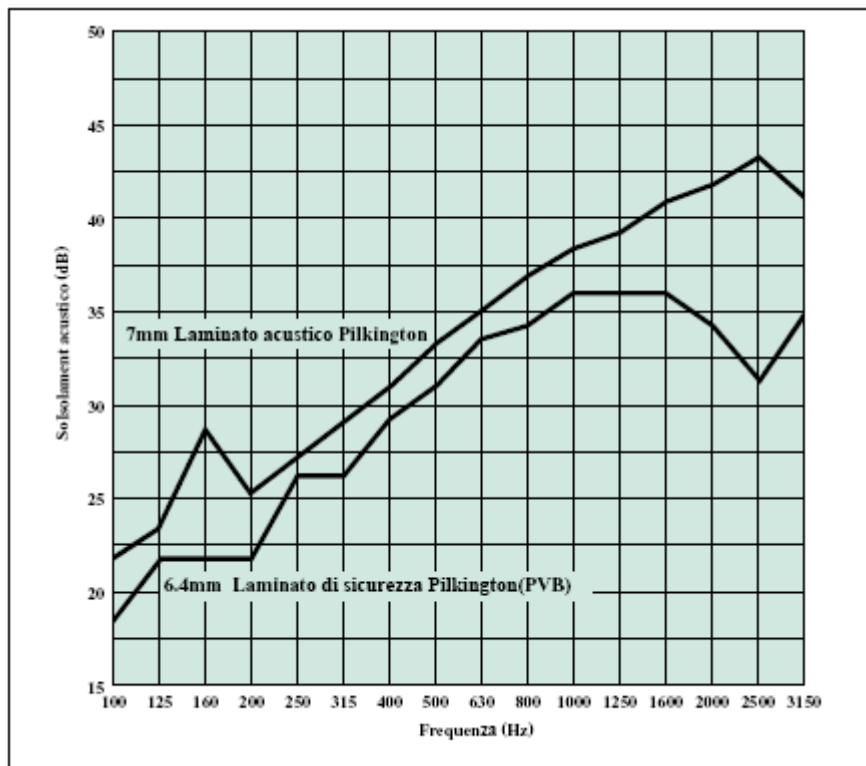


Figura 2. Spettro delle frequenze per un laminato acustico da 7 mm (CIP) e per uno stratificato di sicurezza Pilkington 6.4 mm (PVB)

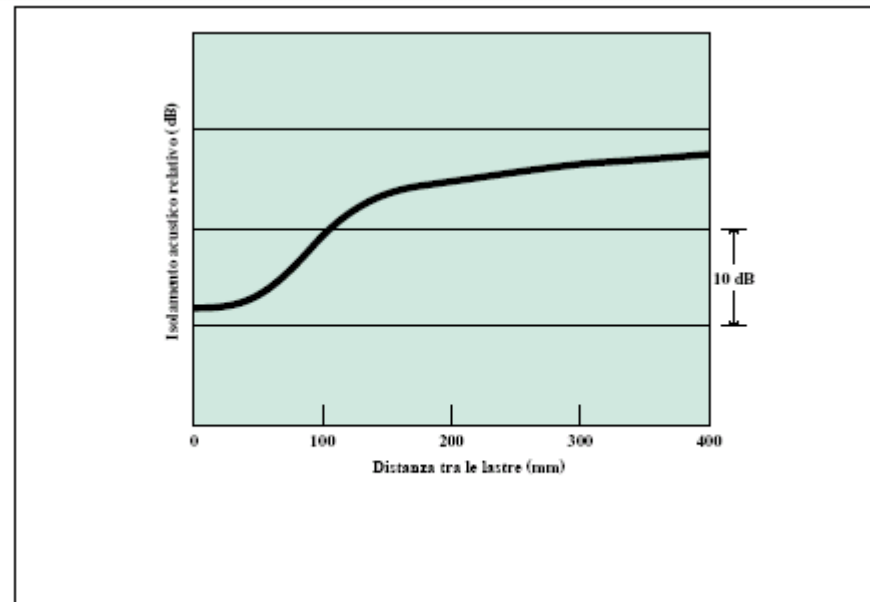


Figura 3. Effetto dello spessore dell'intercapedine sull'abbattimento acustico

Sistema Pilkington **Planar**TM

Pilkington ha sviluppato sistemi modulari di vetro strutturale che possono essere realizzati sia con vetro singolo che con vetrata isolante. A seconda del tipo di sistema selezionato, la rigidità e le vibrazioni dei pannelli possono variare sensibilmente. Le performance acustiche comunque, sono poco diverse da quelle del vetro semplice. Vale la pena di sottolineare che nella facciata strutturale Pilkington **Planar**TM le lastre sono sigillate tramite silicone, la cui alta densità unita alla piccola area occupata, ne rendono pressoché trascurabile l'influenza sulle prestazioni acustiche generali.



Hilton Hotel, London

Effetto dell'altezza dell'edificio

Il livello di rumore non decresce semplicemente al crescere dell'altezza degli edifici. Sebbene le finestre ai piani più alti siano più lontane dalle fonti di rumore, sono esposte ad un numero di possibile sorgenti sonore molto maggiore. In particolare in zone urbane, le riflessioni sonore tra edifici adiacenti tendono a mantenere esposti al rumore anche i piani più elevati.

La conseguenza di questa situazione è che il livello di rumore lungo lo sviluppo verticale di un edificio è virtualmente uniforme e dunque non è appropriato applicare delle correzioni che stimino una riduzione di rumorosità ai piani alti.

Dati di isolamento acustico delle finestre

Per un confronto corretto delle proprietà acustiche delle finestre, i dati corrispondenti devono essere misurati nelle stesse condizioni sperimentali: questo è il principio che è stato seguito nella determinazione dei valori presentati in questa pubblicazione.



Towergate, London

Isolamento dei pannelli Spandrel

Molti edifici moderni sono progettati per avere facciate esterne completamente vetrate, ed un aspetto completamente uniforme sebbene alcune aree della facciata stessa siano opache. Questo viene realizzato attraverso l'utilizzo di vetri coatizzati ed opacizzati, rivestiti con materiale isolante contenuto in un pannello metallico in maniera da soddisfare i requisiti di isolamento termico e minimizzare le perdite di calore.

In linea di principio l'utilizzo di questi pannelli isolanti con rivestimento in metallo può essere causa di risonanze e peggiorare dunque le prestazioni acustiche del vetro a frequenze molto basse, migliorandole invece a frequenze superiori a 125 Hz.

Influenza del materiale del serramento

Oggi una vasta gamma di tipologie di serramento sono disponibili sul mercato, i principali costituiti da legno, alluminio e PVC.

Nonostante le sezioni dei serramenti di alluminio e PVC siano cave, prove di laboratorio e sul campo hanno dimostrato come, per valori di R_m della vetrata fino a 35 dB, il serramento non rappresenti una grossa limitazione acustica (l'isolamento acustico della vetrata può essere assunto come caratteristico dell'intero insieme vetro-serramento). Oltre i 35 dB è opportuno valutare le performance acustiche del serramento da utilizzare: studi approfonditi sul comportamento acustico del serramento sono richiesti quando si vogliono raggiungere prestazioni molto elevate in termini di potere fonoisolante da parte della finestra.

Serramenti apribili senza tenuta ermetica

Nel caso di finestre apribili di qualsiasi tipo, è essenziale che una sigillatura efficiente sia assicurata: fessure permeabili all'aria anche estremamente piccole possono avere un'influenza molto negativa sulle prestazioni acustiche d'insieme. Una fessura corrispondente solo all'1% dell'area totale della finestra può ridurre anche di 10 dB il potere fonoassorbente totale, il che significa che i rumori provenienti dall'esterno vengono percepiti con un'intensità doppia rispetto a quanto avverrebbe se la finestra fosse correttamente sigillata.

Effetto dell'area

Dal momento che dal punto di vista acustico il potere isolante delle parti piene ed opache di una facciata è almeno 10 dB più elevato rispetto a quello delle parti vetrate, la trasmissione sonora attraverso il muro può essere trascurata. Questo è un fatto appurato: si tenga conto che un muro di mattoni pieni ha un R_m di circa 45 dB ed uno di mattoni forati circa 50 dB.

Dunque nella maggior parte dei casi le prestazioni acustiche effettive di una facciata sono determinate dal comportamento delle vetrate. Chiaramente tanto più grande è la finestra, tanta più energia sonora può entrare (o uscire) attraverso essa. In generale però, tenendo conto di come si sommano i livelli sonori, l'effetto dell'area è relativamente piccolo. Si può stimare senza commettere grosse imprecisioni, che raddoppiando o dimezzando l'area di una finestra si ottiene una variazione del livello di rumore corrispondente pari a 3 dB o - 3 dB rispettivamente, variazioni appena percepibili dall'orecchio umano.

Tabella 1-3. Valori di isolamento acustico per tipi differenti di vetrate (nessun contributo da parte della parete)

In aggiunta allo spettro di frequenze completo in bande a terzi d'ottava, vengono forniti i valori a bande d'ottava equivalenti nella colonna adiacente. Pilkington Acoustic Laminate è un particolare tipo di stratificato ottenuto tramite l'utilizzo di resine CIP.

Tabella 1. Vetro monolitico

Banda d'ottava Frequenza Centrale (Hz)	Isolamento acustico (dB) per spessore di vetro (mm)																													
	4					6					10					19					6.4 PVB					Laminato Acustico Pilkington				
	4		6		10		19		6.4 PVB		7		9		11		13		16											
100	17		18		24		25		18		23		25		26		29		28											
125	23	20	22	20	26	26	29	28	22	20	25	24	26	26	28	28	30	30	32	29										
160	22		22		28		31		22		25		26		30		31		30											
200	21		22		26		31		22		24		28		30		31		30											
250	21	22	26	24	28	27	32	32	26	24	26	26	28	29	30	31	31	32	31	31										
315	24		26		29		35		26		28		30		32		33		33											
400	26		29		32		36		29		30		32		34		35		36											
500	29	28	31	31	34	34	38	37	31	31	32	32	34	34	36	35	38	37	38	38										
630	30		33		36		36		33		34		37		38		39		40											
800	32		34		37		35		34		36		38		39		40		40											
1000	34	33	36	35	36	35	38	37	36	35	37	37	39	39	40	40	41	41	40	40										
1250	34		36		33		40		36		39		40		40		41		39											
1600	36		32		33		44		36		39		41		40		40		36											
2000	36	34	26	29	38	36	47	46	34	33	40	40	41	40	37	38	38	39	41	39										
2500	31		30		41		50		31		41		38		37		40		44											
3150	25		34		43		52		35		39		36		41		43		47											
4000	31	28	37	36	44	44	55	54	39	38	35	37	40	39	45	44	47	46	51	50										
R_m (dB)	27		29		33		37		30		32		34		35		36		37											
R_w (dB)	30		32		36		40		33		36		37		38		39		40											
R_{TBA} (dBA)	27		28		32		35		29		31		33		34		36		35											

Tabella 2. Vetrate isolanti

Bande d'ottava Frequenze centrali (Hz)	Isoalmento acustico (dB) per spessore di vetro (mm)																					
							Laminato acustico Pilkington															
	4/12/4		6/12/6		6/12/6.4 PVB		10/12/4		10/12/6		10/12/6.4 PVB		6/12/7		6/12/11		10/12/16		13/12/13		16/12/16	
100	25		17		19		23		27		27		25		26		26		30		31	
125	24	24	26	20	24	21	28	25	27	26	28	27	27	26	25	26	28	27	27	28	34	32
160	23		22		21		26		24		26		26		25		26		27		33	
200	21		18		19		19		24		26		23		25		24		31		34	
250	21	20	18	19	19	20	23	22	29	27	30	29	24	25	28	28	28	27	38	34	38	37
315	19		24		24		26		31		32		28		32		31		39		39	
400	22		27		28		31		33		34		30		35		34		41		43	
500	25	25	29	29	32	31	33	33	34	34	36	36	34	33	39	38	38	37	44	44	46	45
630	30		33		34		36		37		40		37		43		41		48		48	
800	33		37		38		39		39		41		42		46		44		51		50	
1000	36	35	39	38	40	39	41	40	41	40	42	41	45	44	47	47	45	45	53	52	48	46
1250	38		39		40		41		41		41		46		47		46		52		43	
1600	40		39		39		41		39		41		46		46		44		49		43	
2000	41	38	34	36	35	37	45	43	37	38	42	42	45	46	43	43	42	44	45	47	46	46
2500	35		37		39		45		40		44		48		42		44		48		50	
3150	31		42		44		42		43		49		51		47		51		52		53	
4000	40	35	47	45	49	47	44	44	47	46	53	52	52	52	54	51	56	54	57	55	59	57
R_m (dB)	29		30		31		34		34		36		36		37		39		42		42	
R_w (dB)	31		33		34		36		38		40		38		41		42		45		46	
R_{TRA} (dBA)	25		26		27		29		32		34		31		33		37		38		41	

Tabella 3. Doppie finestre

Bande d'ottava Frequenze centrali (Hz)	Isolamento acustico (dB) per spessore di vetro (mm)					
	6/100/4		6/150/4		10/200/6	
100	25		27		32	
125	27	26	30	29	37	35
160	27		30		39	
200	33		34		45	
250	33	34	34	35	46	46
315	37		39		46	
400	41		42		47	
500	46	44	46	45	45	46
630	50		50		45	
800	54		54		44	
1000	57	56	57	56	45	46
1250	59		58		50	
1600	58		58		53	
2000	52	53	52	52	58	56
2500	51		49		58	
3150	48		47		64	
4000	57	52	52	50	64	65
R_m (dB)	44		44		47	
R_w (dB)	46		47		49	
R_{TRA} (dBA)	37		39		45	

Informazioni sull'acustica

Decibel e frequenza

La soglia di udibilità dell'orecchio umano è fissata a 0 decibels (dB), mentre 120 dB corrispondono ad un livello sonoro in corrispondenza del quale il rumore genera dolore fisico. Tipici esempi di livelli sonori intermedi sono forniti in figura 4. Come gli altri sensi umani, anche la capacità uditiva non può essere rappresentata in scala lineare bensì logaritmica.

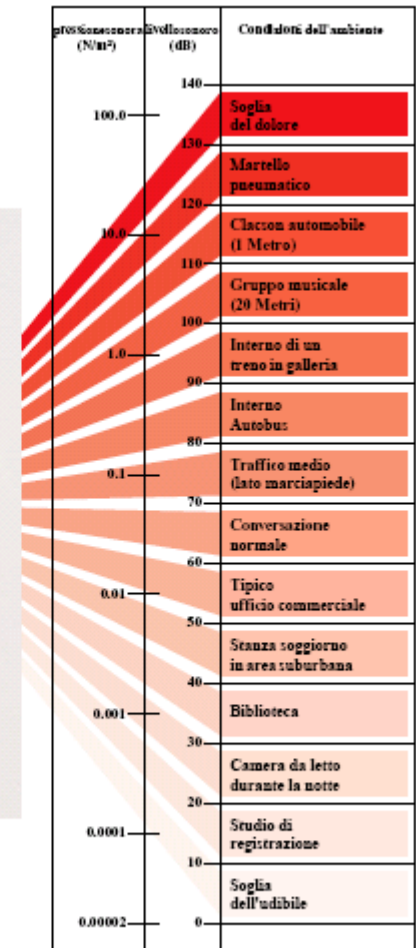


Figura 4. Pressione sonora (N/m²) Livello sonoro (dB) Condizioni dell'ambiente

La figura 5 illustra come i suoni “multipli” si combinano. Se, ad esempio, siamo in presenza di due rumori rispettivamente di 81 dB e 85 dB, la loro differenza è di 4 dB. Riferendosi al grafico suddetto si ottiene che la correzione da apportare al rumore col livello sonoro più alto (quello da 85 dB) è pari a 1.5 dB: il rumore risultante dalla combinazione dei due suoni ha dunque un livello sonoro pari a 86.5 dB.

Un numero maggiore di suoni può essere computato utilizzando lo stesso metodo, combinando successive coppie di rumori e ottenendo un valore del livello sonoro equivalente, e ripetendo il procedimento fino ad arrivare al valore finale equivalente.

Il nostro orecchio percepisce un campo di frequenze sonore (toni) compreso approssimativamente tra 20 Hertz (toni bassi) e 20 Kilohertz (toni acuti), ma risulta più sensibile alle alte frequenze piuttosto che alle basse.

Con l'avanzare dell'età la percezione delle frequenze più alte tende a diminuire. L'intensità di un suono è dunque una valutazione soggettiva generale su una combinazione di rumori di diverse frequenze e la sua energia è misurata attraverso un livello di pressione sonora.

Per fare in modo che i sistemi di misura possano dare indicazioni realistiche su come verosimilmente l'uditore reagirà al suono, è prassi comune apportare alle misure delle correzioni che simulano il comportamento dell'orecchio umano. La figura 6 riporta un diagramma che riproduce gli effetti della tipica reazione dell'orecchio umano a differenti intensità sonore utilizzando lo standard internazionalmente accettato per la correzione chiamato Curva Ponderata A. E' da notare come questo rappresenti virtualmente una sorta di simulazione della risposta dell'orecchio umano tale che insieme la risultante sia quasi una linea orizzontale (risposta piatta).

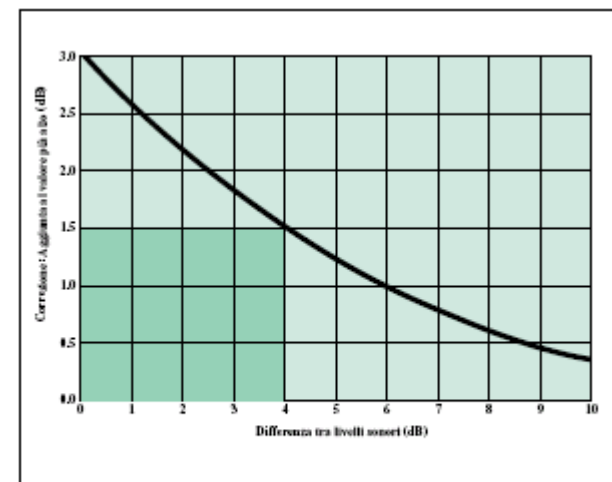


Figure 5. Termine aggiuntivo relativo a sorgenti sonore multiple da aggiungere al livello sonoro più alto (dB)

Le misure fatte utilizzando questo sistema sono dunque definite in dBA (perché fatte con riferimento alla curva “A”) per distinguerle da quelle fatte in dB che non dipendono invece direttamente dalla reazione dell'orecchio umano (isolamento acustico).

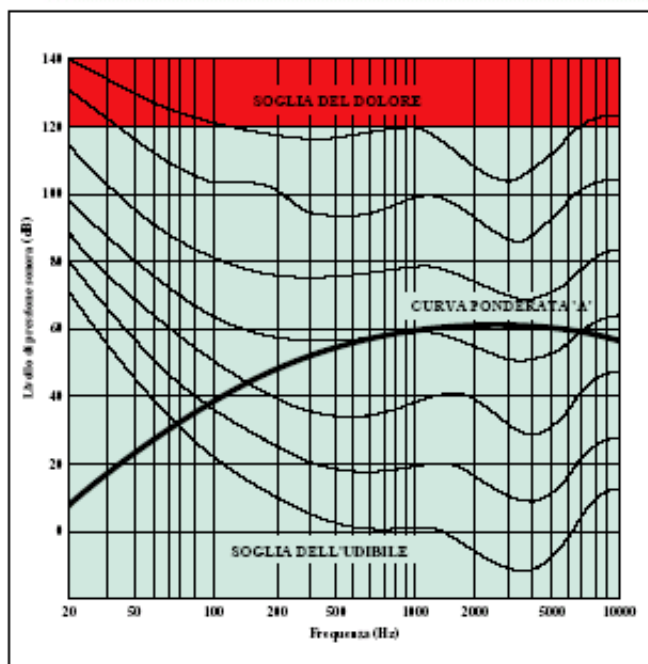


Figure 6. Curva ponderata 'A' Frequenza (Hz) e Livello di pressione sonora

Riferimenti significativi per l'impressione soggettiva (rumore) generata dai cambiamenti di livello di pressione sonora sono:

Differenza sonora (dB or dBA)	± 3	± 5	± 10
Apparente variazione di rumore	Appena percepibile	Chiara differenza	Effetto sonoro doppio (o metà)

L'apparato di ricezione (orecchio umano)

I primi riferimenti a pag. 15 sono stati fatti relativamente alle grandezze basilari per ciò che riguarda la percezione sonora (livello sonoro in Decibel e frequenza). Ma esistono anche altri fattori che influenzano la percezione soggettiva dell'individuo come l'intermittenza dei suoni (sirene d'allarme, passaggi a livello), la frequenza con cui il suono si ripresenta (traffico aereo), il fastidio legato all'età (musica da discoteca) e le condizioni ambientali al contorno (riflessione sonora).

Oltre a questo, a seconda del uso cui è adibito un ambiente (lavoro impiegatizio, lettura, riposo, ecc.) ci saranno soglie di rumore di fondo accettabili che non dovranno essere superate per garantire un livello accettabile di comfort acustico.

Il progetto globale della vetrata dovrà poi soddisfare i requisiti aggiuntivi di controllo solare, isolamento termico, trasmissione luminosa, aspetto estetico, sicurezza, ecc. definiti dal progettista.

Misure e specifiche sulle performance acustiche

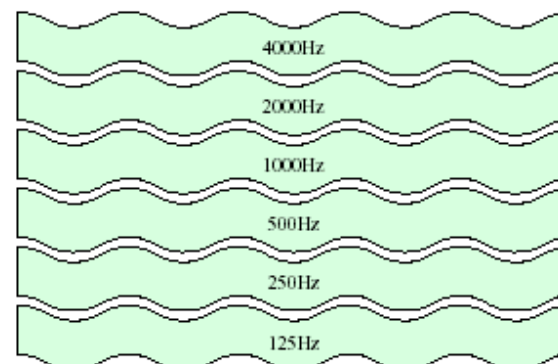
A pag. 15 sono state fatte considerazioni sull'interazione tra il livello sonoro (in dB o dBA) e le frequenze (Hertz) dei suoni componenti, in relazione alla loro azione sull'orecchio umano e alla reazione soggettiva da parte di quest'ultimo. Nella descrizione di suoni la procedura più comune è quella di valutare il livello di pressione sonora prevalente nel campo delle frequenze acustiche di maggiore percepibilità.

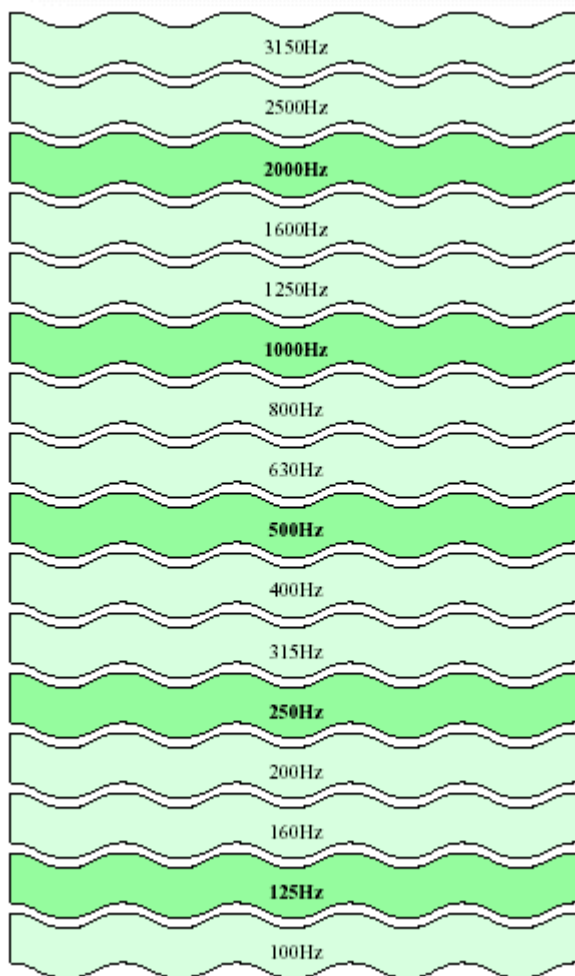
Spesso è sufficiente scegliere sei frequenze che hanno tra loro un rapporto costante, avendo ciascuna frequenza un valore doppio rispetto alla precedente. Questo rapporto viene chiamato "ottava" con riferimento alla terminologia musicale (in cui essa rappresenta l'intervallo sonoro compreso tra due note con lo stesso nome e suono simile ma con tonalità differenti).

Per applicazioni generiche di acustica in campo edilizio le frequenze principali da misurare sono quelle riportate qui sotto in figura.

Queste frequenze sono specificate negli standard nazionali, europei ed internazionali.

Quando è richiesta un'analisi più dettagliata queste bande d'ottava possono essere suddivise in tre ulteriori bande (fatta eccezione per la banda da 4000 Hz) ottenendo 16 bande a terzi d'ottava. Queste bande sono riportate in figura nella pagina seguente.





Le normative europee adottano queste frequenze per analisi più precise del comportamento sonoro, mentre quelle americane e di alcuni altri paesi preferiscono fare riferimento alle 16 bande a terzi d'ottava comprese tra i 4000 e i 125 Hz (“traslando” quindi verso l’alto di una banda a terzi d’ottava).



Hertz Turnaround, Heathrow

Se valori d'isolamento acustico in bande d'ottava sono richiesti a partire da dati ricavati da un'analisi in bande di terzi d'ottava, non è sufficiente semplicemente estrarre i valori di frequenza corrispondenti alle bande d'ottava; si devono tenere infatti in considerazione i valori delle bande a terzi d'ottava confinanti su entrambi gli estremi per conteggiare l'intera banda d'ottava (una banda d'ottava è la somma di tre bande a terzi d'ottava). Si dovrà dunque provvedere ad una opportuna elaborazione dei tre valori per ottenere il valore della banda d'ottava, e non è corretto operare semplicemente con una media aritmetica. Il fatto che questo possa introdurre errori significativi è evidenziato dal fatto che valori di isolamento acustico di bande a terzi d'ottava pari a 10 dB, 20 dB e 30 dB risultano in una banda d'ottava equivalente di soli 14 dB.

Le tabelle di isolamento acustico delle vetrate (1-3) danno entrambe le serie di dati affiancate.

Spesso l'analisi sonora completa non è richiesta e si fa uso di sistemi semplificati nella descrizione del rumore incidente, delle performance acustiche della vetrata e dei livelli di rumore tollerati in ambienti interni per un comfort acustico accettabile. I parametri più comuni vengono definiti nella prossima sezione.

Indici acustici

R_m – Riduzione media

La maniera più precisa di descrivere il comportamento acustico di una vetrata (o di qualsiasi altro elemento edilizio) consiste nello stabilire le sue proprietà di isolamento in un vasto intervallo di frequenze. In Europa si preferisce l'intervallo di frequenza compreso tra 100 e 3150 Hz, nel qual caso il valore dell'isolamento acustico corrispondente (indice di attenuazione acustica) dovrebbe essere determinato per ciascuna delle 16 bande a terzi d'ottava tra 100 e 3150 Hz come definito a pag. 10.

La media aritmetica di questi valori di isolamento è un semplice indicatore di prestazioni, definito R_m (indice di attenuazione acustica medio) e misurato in dB.

R_w - Riduzione ponderata

L'indice R_m è oggi poco utilizzato, sostituito in genere dal parametro R_w (indice di attenuazione acustica ponderato) che incorpora una correzione che tiene conto della sensibilità dell'orecchio umano. Questo indice è derivato dal confronto della curva isolamento acustico/frequenza della finestra con una famiglia di curve prefissate (vedasi fig. 7), confronto che porta alla scelta della curva che tra queste ultime meglio approssima la prima, in modo tale da dare una deviazione aritmetica media sulle 16 bande a terzi d'ottava (tra 100 e 3150 Hz) minore o uguale a 2 dB.

Il valore dell'isolamento acustico di questa curva a 500 dB definisce convenzionalmente il valore R_w della finestra. Numericamente può essere fino a 5 dB più alto rispetto ad R_m per la medesima finestra. Dunque, è molto importante differenziare i due indici.

R_{tra} – Riduzione da traffico

Né R_m né R_w possono essere utilizzati direttamente per stimare il livello di rumorosità interna per l'indipendenza dello spettro dal rumore esterno reale. Adottando uno spettro acustico idealizzato relativo ad un tipico traffico stradale cittadino, può essere derivato il parametro R_{tra} , che rappresenta l'attenuazione in dBA che la finestra può fornire nell'abbattere il rumore da traffico stradale, e fornisce dunque un utile misura delle performance acustiche in esercizio.

STC – Classe di trasmissione sonora

Talvolta, possono venire richieste prestazioni relative al parametro STC derivato da normative americane ASTM. La sua determinazione è simile a quella dell'indice R_w , fatta eccezione per l'intervallo delle frequenze che è compreso tra 125 e 4000 Hz, vale a dire traslato di un terzo d'ottava rispetto all'intervallo delle normative europee (compreso tra 100 e 3150 Hz). Per questa ragione STC ha generalmente un valore di circa 1 dB superiore rispetto ad R_w , per il fatto che i pannelli di materiale da costruzione (tra cui anche il vetro) presentano solitamente delle performance acustiche migliori alle alte frequenze.

Valori NR/NC

Come alternativa al livello sonoro in dBA all'interno degli edifici, talvolta altri valori basati su analisi spettrali più approfondite vengono preferiti. Questi ultimi riescono a descrivere meglio i picchi delle bande strette, caratteristici dei rumori monotoni, e per questa ragione vengono frequentemente utilizzati per descrivere rumori provenienti dagli impianti di condizionamento.

A volte questo metodo viene utilizzato anche per specificare il livello di inquinamento acustico totale quando il rumore incidente è caratterizzato da bande larghe (senza picchi marcati), come nel caso del traffico stradale.

Approssimativamente i valori NR/NC sono di 5 unità più bassi del corrispondente livello in dBA cosicchè, per esempio, 50 dBA sono equivalenti all'incirca a NR45 o NC45.

Parametro L_{10} – Livello di rumore superato

Gli studi acustici hanno mostrato come il disturbo o il fastidio non sono correlati tanto al livello di rumore medio prevalente, quanto piuttosto al livello di picco, che in qualche modo provoca la reazione di trasalimento. Questo picco è determinato in genere da un livello sonoro che viene superato per un tempo che è pari soltanto al 10% del periodo totale di misurazione ed è designato L_{10} . Se misurato in dBA è spesso indicato come L_{A10} .

I parametri L_{10} sono quelli che normalmente vengono utilizzati per descrivere un ambiente in termini di esposizione a traffico stradale a scopo di progetto.

Il parametro $L_{10}(18 \text{ ore})$ è il valore derivato dalla misurazione entro un periodo dalle 6 a.m. alla mezzanotte di una normale giornata lavorativa. E' il parametro che normalmente viene utilizzato per determinare i requisiti che un sistema fonoisolante deve avere per soddisfare condizioni specifiche di inquinamento acustico.

Parametro L_{eq} – Livello di rumore equivalente

In particolare con suoni o rumori intermittenti, (treni, discoteche) è utile determinare il livello di rumore costante e ideale che contenga la stessa energia totale del caso reale e variabile. L'utilizzo di questo parametro indicato con L_{eq} (livello di rumore equivalente) si sta diffondendo specialmente in quei casi in cui è prevista una esposizione molteplice e differente (ad esempio edifici situati in contemporanea vicinanza ad aeroporti e ferrovie).

In relazione agli altri parametri sopra definiti si può stimare la relazione approssimativa:

$$L_{aeq} = L_{A10} - 3$$

Principali fonti di rumore

La maggior parte dei rumori non è caratterizzata da un'unica frequenza o tono ma consiste in un'ampia gamma di frequenze, o spettro. L'identificazione di queste frequenze e della loro relativa intensità (mix di toni) è importante così come il livello sonoro prevalente corrispondente.

I problemi di rumore più comuni coinvolgono come fonte il traffico stradale che si manifesta principalmente alle basse frequenze ed è influenzato dalla velocità dei veicoli, dal tipo di motore, dalla superficie stradale, dalla topografia del luogo, ecc.

Il rumore da traffico ferroviario ha uno spettro generalmente abbastanza simile a quello da traffico stradale, con la differenza che si presenta con un contributo più elevato delle medie frequenze ed una brusca diminuzione di quelle alte. I parametri che hanno più influenza sono la velocità, il tipo di rotaia, le traversine, il materiale rotabile, presenza di massicciate o terrapieni, ecc.

Sebbene il livello di rumore vicino ad una ferrovia possa essere molto elevato, la tolleranza dell'orecchio umano verso questo rumore è più elevata, dal momento che l'intensificarsi del livello sonoro fino ad un massimo e il suo successivo scemare sono prevedibili per l'uditore, e per il fatto che i picchi sono di breve durata.

E' generalmente accettato che il rumore ferroviario possa superare quello stradale anche per più di 10 dB, creando però lo stesso livello di fastidio e disturbo. Il rumore da traffico aereo varia sensibilmente con l'altitudine, le condizioni climatiche, il tipo ed il carico di utilizzo del aeromobile, e a seconda se sia in fase di decollo od atterraggio. Il rumore della fase di decollo è dominato dalle basse frequenze mentre quello di atterraggio dalle alte, caratteristiche del funzionamento dei motori in fase di spinta inversa.

Per quel che riguarda i rumori da conversazione, le frequenze più rilevanti di un discorso stanno tra i 500 e i 2000 Hz (medie frequenze). La voce femminile è approssimativamente un'ottava (o il doppio in frequenza) di quella maschile. E' la soppressione delle frequenze più elevate che è più importante nell'assicurazione della privacy delle conversazioni perché sono queste a contenere i suoni essenziali per la comprensibilità.

Le caratteristiche principali di questi fonti sonore sono rappresentate in figura 8.

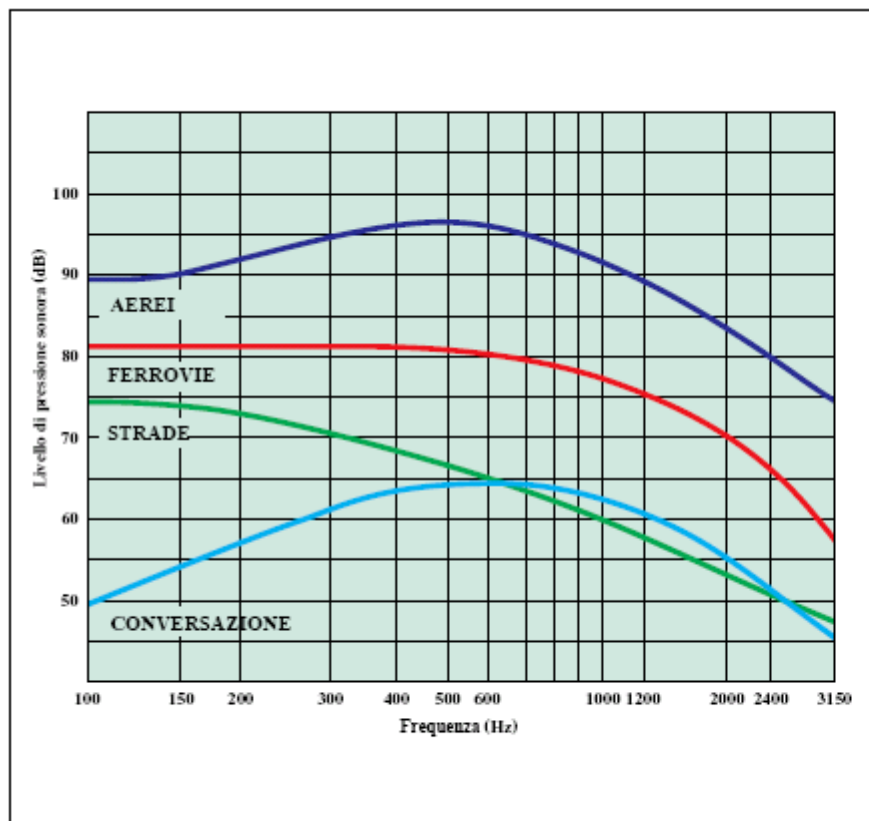


Figura 8. Spettro delle frequenze sonore per rumore prodotto da aerei, treni, traffico stradale e conversazione

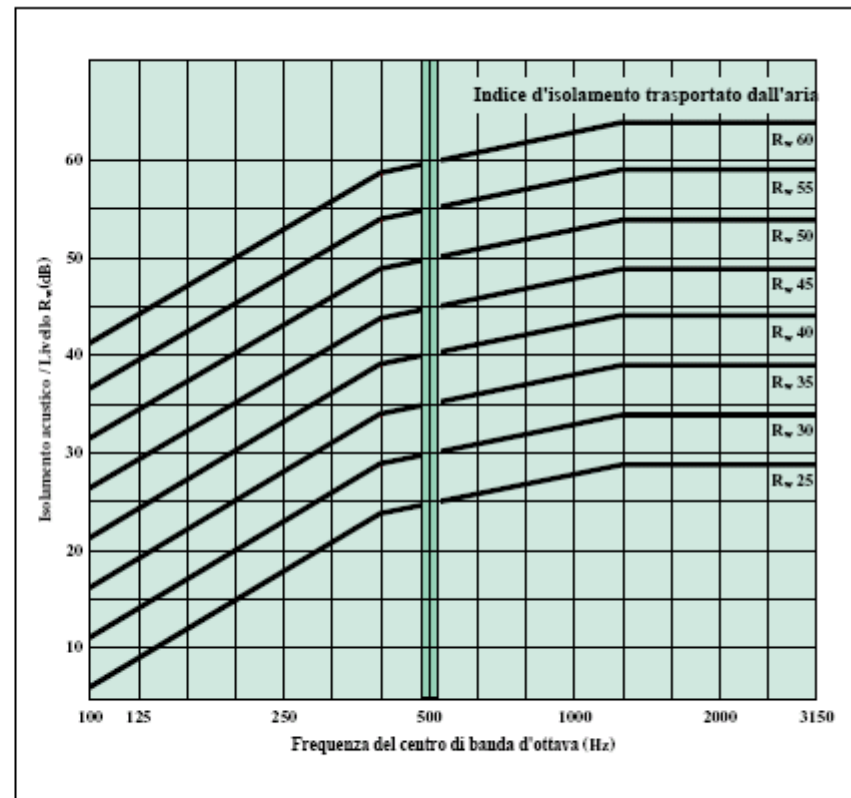


Figura 7. Derivazione dell'indice R_w



Tipici valori di inquinamento acustico

Traffico stradale

- 20 m da una superstrada trafficata, molti mezzi pesanti, velocità media 100 km/h – bordo della strada in erba: $L_{A10} = 80$ $L_{Aeq} = 77$
- 20 m da una strada principale in zona urbana, velocità media 50 km/h – bordo della strada pavimentato: $L_{A10} = 70$ $L_{Aeq} = 67$
- Strada residenziale parallela ad una strada principale trafficata – schermata da case: $L_{A10} = 60$ $L_{Aeq} = 57$

Diminuzione del rumore con la distanza

Il rumore da traffico stradale decresce approssimativamente di 3 dB ogni volta che si raddoppia la distanza perpendicolarmente alla strada. Se per esempio L è il livello sonoro in dBA a 5 metri, la diminuzione con la distanza sarà:

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

L'interpolazione può essere utilizzata. Per esempio per avere un livello sonoro dimezzato rispetto a quello a 5 metri di distanza (10 dBA di riduzione) la distanza dalla strada dovrà essere incrementata a circa 50 metri (45 metri più indietro rispetto alla posizione precedente).

Aerei

Nel Regno Unito la rumorosità nei pressi degli aeroporti commerciali è fissata attraverso NNI (Noise and Number Index) come base per la regolamentazione della progettazione degli edifici nelle vicinanze. Questo parametro deriva dal numero di aerei in circolazione e dal rumore di picco che essi generano ed è solitamente fissato intorno alle piste.

NNI sta gradualmente venendo sostituito da L_{Aeq} per allinearsi con gli Standard Internazionali ISO 1996/1 e con la BS 5727.

NNI 35	-	L_{Aeq}	57 ± 4	-	PCA Basso
NNI 45	-	L_{Aeq}	66 ± 4	-	PCA Moderato
NNI 55	-	L_{Aeq}	75 ± 4	-	PCA Alto
NNI 60	-	L_{Aeq}	80 ± 4	-	PCA Molto alto

PCA rappresenta il disturbo probabile alla collettività.

Il rumore causato da elicotteri o aerei militari richiede analisi più approfondite.

Ferrovie

E' solito esprimere il rumore da esposizione a traffico ferroviario, su un periodo di 24 ore, per effetto della sua correlazione col disturbo provocato.

Per una linea con traffico misto, sia treni passeggeri con motrici diesel ad alta velocità e sia treni merci - circa 120 convogli al giorno – il livello di rumore atteso è tabulato considerando spazio aperto intorno alle rotaie.

Distanza dalle rotaie 25 m - L_{Aeq} 67 dB

Distanza dalle rotaie 50 m - L_{Aeq} 64 dB

Distanza dalle rotaie 100 m - L_{Aeq} 59 dB

Distanza dalle rotaie 200 m - L_{Aeq} 54 dB



Guida al progetto

Guida al progetto:

Adottando lo spettro di rumore di una tipica strada trafficata, come quella in figura 8, è possibile calcolare la sua attenuazione attraverso una finestra le cui prestazioni acustiche siano note. Questa è chiaramente un'approssimazione dal momento che l'influenza della tipologia di stanza dev'essere necessariamente trascurata. Ad ogni modo nella pratica, una buona correlazione si trova per tipiche vetrate di uffici ampi con pavimenti coperti da tappeti e pannelli acustici sospesi. Questo indice di performance acustica corrisponde a R_{tra} . E' possibile derivare indici simili per rumori da traffico ferroviario o aereo ma, data la grande variabilità dello spettro se confrontato con quello stradale, la sua accuratezza viene diminuita. Per questa ragione questi indici non vengono calcolati individualmente attraverso i dati tabulati relativi alle tabelle di questa pubblicazione ma, approssimativamente, le seguenti formule approssimative possono essere utili:

$$R_{rail} = R_{tra} + 3$$

$$R_{air} = R_{tra} + 2$$

Questi indici consentono una rapida valutazione su sistema di vetrata più appropriato a seconda della destinazione dell'edificio e della sua locazione, in riferimento ai dati di tabella 4 che sono basati su informazioni fornite in BS 8233: 1987. Indicazioni vengono fornite in riferimento ai probabili livelli di rumore in ambienti dominati dal traffico stradale, aereo e ferroviario e, in linea con i livelli massimi di rumore consentiti all'interno di edifici, l'attenuazione richiesta alla finestra viene ottenuta semplicemente per sottrazione, come illustrato nell'esempio seguente:

Esempio

Un ufficio privato dev'essere ubicato a 40 metri da una superstrada trafficata. Che valore R_{tra} verrà richiesto e quali potranno essere le opportunità di isolamento corrispondenti?

Rumore da traffico a 20 m (pag. 24) = 77 LAeq

**Correzione per la distanza, 40 m (pag. 24) = 3 dBA
differenza tra il livello sonoro a 20 e a 40 m)**

Effettivo livello acustico ambientale = 74 dB

Da Tabella 4, il livello di rumorosità interna ammesso è compreso tra 40 e 45 LAeq.

Di conseguenza R_{tra} è compreso tra 74-40 e 74-45 dBA (R_{tra} richiesto sta tra 29 e 34 dBA)

Opzioni possibili:

- Una vetrata isolante 6/12/6 ha un $R_{tra} = 26$ dBA (Tabella 2 a pag. 3) una attenuazione acustica insufficiente a soddisfare i requisiti previsti. In ogni caso, come regola generale, unità simmetriche non sono consigliate a causa del rischio di generazione di risonanze.
- Una vetrata isolante 10/12/4 ha un $R_{tra} = 29$ dBA e potrebbe conseguentemente fare allo scopo sebbene il componente di spessore 4 mm possa limitare la misura della lastra per motivi di sicurezza, resistenza meccanica, carico vento, ecc.
- Una vetrata isolante 10/12/6 ha un $R_{tra} = 32$ dBA e non soffre di limitazioni dovute a composizioni simmetriche o più sottili, e potrebbe soddisfare il valore medio del campo richiesto.
- Una vetrata isolante 10/12/6.4 (laminato PVB) ha un $R_{tra} = 34$ dBA e fornirebbe un'attenuazione acustica sufficiente a soddisfare l'estremo più stringente del campo dei requisiti.

Livelli sonori interni raccomandati

La tabella sottostante fornisce tipici valori in linea con le BS 8233: 1987.

Il documento originale va consultato per informazioni su situazioni qui non contemplate.

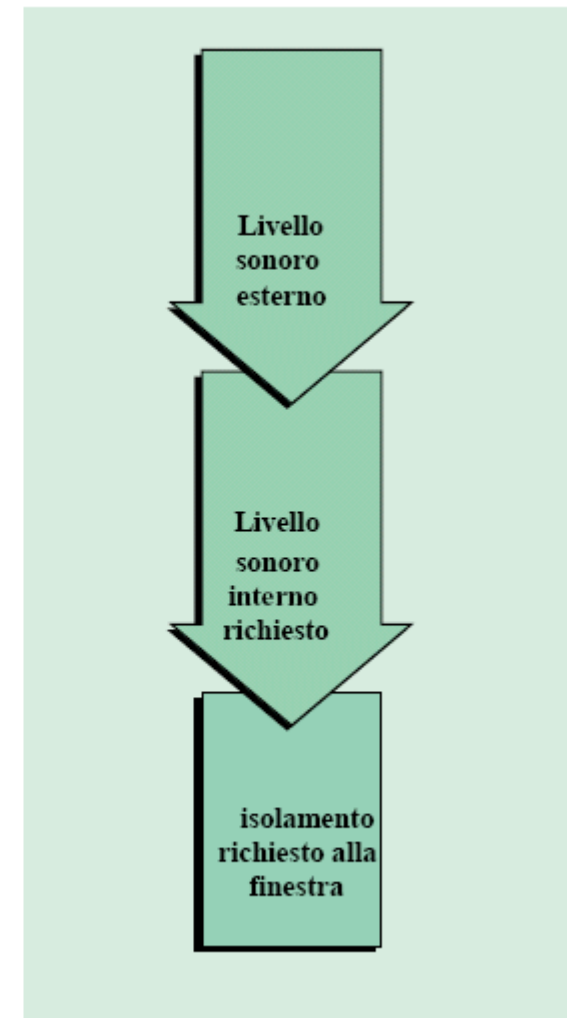
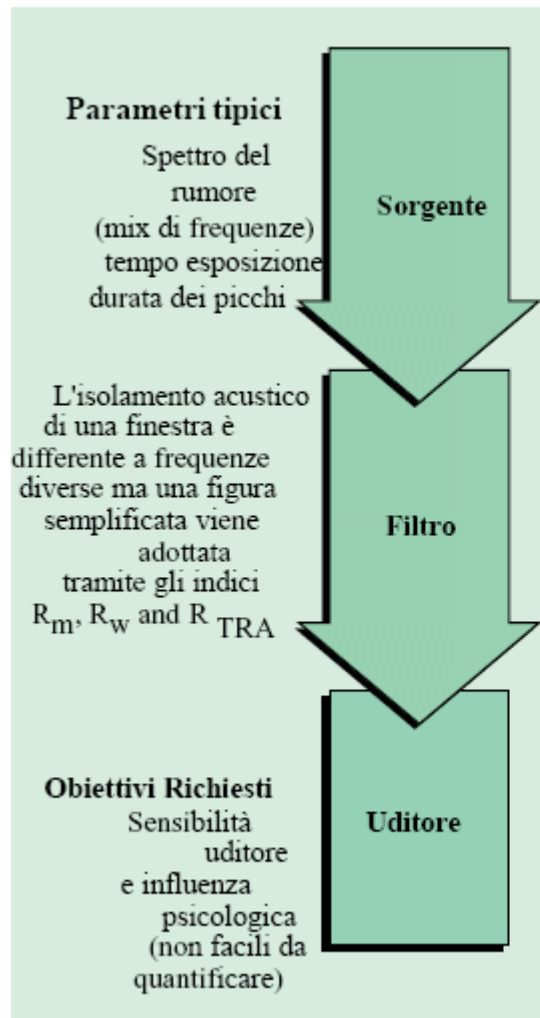


Tabella 4 – Livelli sonori interni raccomandati

Edificio (dBA)	Massimo L_{Aeq} raccomandato
Appartamenti	
Camere da letto	30 - 40
Stanze da giorno	40 - 45
Uffici	
Uffici privati/piccole sale conferenze	40 - 45
Grandi uffici	45 - 50
Edifici scolastici	
Classi (15-35 persone)/piccole sale lettura	40
Classi (più di 35 persone)/ grandi sale lettura/ laboratori di lingua	35
Aule musicali o teatrali	30
Sanità	
Ambulatori generici	55
Piccoli uffici di consulto	50
Sale di diagnosi	45

Soluzione di problemi acustici

In genere i problemi acustici possono essere risolti in tre passi attraverso un'analisi ed una conseguente azione progettuale. Chiaramente, dalla conoscenza di due di questi tre elementi, il terzo può essere derivato. Molto più spesso ad ogni modo, sono le prestazioni della finestra ad essere richieste, e il corrispondente schema logico è quello riportato a destra.





Anchor Village, near Birmingham Airport.

*Questa pubblicazione fornisce una descrizione generale del prodotto e dei materiali.
E' responsabilità dell'utilizzatore di questo documento assicurare che il loro uso
sia appropriato per ciascuna particolare applicazione e che tali applicazioni siano in accordo
con tutte le norme legislative locali e nazionali, con le normative tecniche, con i
codici pratici e gli altri requisiti.*

*Pilkington Italia Spa con la presente declina ogni responsabilità
per qualunque errore od omissione proveniente da questa pubblicazione
e per qualunque conseguenza da esso derivato.*

*I nomi dei prodotti Pilkington mostrati in **Futura Heavy** sono marchi
registrati del Gruppo Pilkington.*



PILKINGTON

Pilkington Italia Spa

Via delle Industrie, 46 30175 Porto Marghera (Ve)

Tel 041 5334911 Fax 041 5317687