

Acustica per l'edilizia

Determinazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata: metodo di calcolo e misura in opera. Valutazione del potere fonoisolante dei serramenti.

L'isolamento acustico standardizzato di facciata

L'isolamento acustico delle facciate, in conformità alla Uni EN Iso 140-5, può essere espresso mediante diverse grandezze, determinate in bande di frequenza (bande di terzo di ottava o bande di ottava), a partire dalle quali si può ottenere il corrispondente indice di valutazione, in conformità alla Uni EN Iso 717-1. Si è soliti riferirsi all'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$), il quale è definito, all'interno dello stesso Dpcm 5/12/97, come:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \times \log \frac{T}{T_0}$$

con T_0 = tempo di riverberazione di riferimento assunto (0,5 sec)

L'isolamento acustico standardizzato risulta, dunque, essere pari alla differenza del livello di pressione sonora tra l'esterno (a 2 m perpendicolarmente alla facciata, prodotto da rumore di traffico se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45 gradi sulla facciata) e l'interno, corretto per tener conto del tempo di riverberazione del locale considerato (per questo si parla di isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione). Il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente deve essere valutato a partire da un adeguato numero n di misure di livelli L_i nell'ambiente ricevente secondo la seguente formula:

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

L'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione può essere determinato, dunque, sia con il comune rumore di traffico sia con rumore proveniente da un altoparlante. Tale condizione è indicata aggiungendo, rispettivamente, gli indici "tr" e "ls", cioè $D_{tr,2m,nT}$ oppure $D_{ls,2m,nT}$. I valori dell'indice di valutazione ottenuti con la misurazione con rumore da traffico o con altoparlante tendono a uguagliarsi senza differenze sistematiche; si può quindi assumere:

$$D_{ls,2m,nT,w} \approx D_{tr,2m,nT,w}$$

Per definizione, inoltre, l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione può essere utilizzato per valutare il livello di pressione sonora all'interno, misurando o calcolando i livelli di pressione all'esterno.

Metodo di calcolo Uni EN Iso 12354-3

Per calcolare l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverbero, $D_{2m,nT}$ si può fare riferimento al metodo di calcolo previsto nella norma Uni EN Iso 12354-3, "Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea."

La norma definisce un modello di calcolo per valutare l'isolamento acustico o la differenza di livello di pressione sonora di una facciata o di una diversa superficie esterna di un edificio. Il calcolo è basato sul potere fonoisolante dei diversi elementi che costituiscono la facciata e considera la trasmissione diretta e laterale. Il calcolo fornisce dei risultati

che corrispondono approssimativamente ai risultati ottenuti con misurazioni in opera, conformemente a quanto indicato dalla Uni EN Iso 140-5. I calcoli possono essere eseguiti per bande di frequenza o per indici di valutazione.

Per facciata si intende la totalità della superficie esterna di un ambiente. La facciata può essere composta da diversi elementi: per esempio, una finestra, una porta, una parete, un tetto, un sistema di aerazione. La trasmissione sonora attraverso la facciata è dovuta alla trasmissione sonora di ciascuno di tali elementi, presupponendo che la trasmissione di ogni elemento sia indipendente da quella degli altri elementi. Il potere fonoisolante apparente della facciata viene calcolato per un campo sonoro incidente diffuso, in quanto si ritiene che la trasmissione per tale campo sia sufficientemente rappresentativa dei diversi tipi di campi sonori esterni.

L'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverbero viene a dipendere dal potere fonoisolante di tale facciata vista dall'interno, dall'influenza della forma esterna della facciata, come la presenza di balconi, e dalle dimensioni degli ambienti. La relazione è pertanto la seguente:

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6T_0 S} \right)$$

dove

- ΔL_{fs} è la differenza del livello di pressione sonora dovuta alla forma della facciata, in dB;
- V è il volume dell'ambiente ricevente (m^3);
- S è la superficie totale della facciata vista dall'interno (m^2);
- R' è il potere fonoisolante apparente di facciata, ovvero di una parete costituita da

più elementi (parete opaca, porte, finestre, cassonetti ecc.), per un campo sonoro incidente diffuso, calcolabile a partire dal potere fonoisolante di una partizione composta e tenendo in considerazione il contributo delle trasmissioni laterali.

$$R' = -10 \log \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \cdot \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) - K$$

- dove:
- R_i = potere fonoisolante dell'elemento i -esimo costituente la partizione;
 - S_i = superficie dell'elemento i -esimo (m^2);
 - S = superficie complessiva della partizione (m^2);
 - A_0 = area di assorbimento equivalente di riferimento, pari a $10 m^2$;
 - $D_{n,e,i}$ = isolamento acustico normalizzato del piccolo elemento i -esimo, calcolato o risultante da misure di laboratorio effettuate secondo la Iso 140-10 (EN 20140-10);
 - K = correzione relativa al contributo della trasmissione laterale, pari a 0 per elementi di facciata non connessi, pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

Il contributo della trasmissione laterale è solitamente trascurabile. Tuttavia, se elementi rigidi (quali calcestruzzo o mattoni) sono collegati ad altri elementi rigidi all'interno dell'ambiente ricevente, come pavimenti o pareti divisorie, la trasmissione laterale può contribuire alla trasmissione sonora totale; ciò potrebbe diventare rilevante se sono richiesti requisiti elevati.

Ne consegue che, nella maggior parte dei casi, non è necessario calcolare il contributo della trasmissione laterale. Per lasciare un margine di sicurezza, nei casi che comportano la presenza di elementi rigidi, sarebbe sufficiente incorporare la trasmissione laterale in modo globale, diminuendo il potere fonoisolante per questo tipo di elementi di facciata rigidi e pesanti; è generalmente sufficiente sottrarre 2 dB.

Per quanto riguarda l'indice di valutazione del potere fonoisolante di un elemento di facciata, o si assumono dati sperimentali disponibili in letteratura o si calcola con le modalità descritte per l'isolamento a rumori aerei.

Dipendenza dalla forma della facciata

$D_{2m,nT}$ dipende, oltre che da R' , dalle dimensioni della facciata, determinate dalla vista interna e dalla conformazione di eventuali aggetti esterni alla facciata, quali balconi e cornicioni.

L'influenza della forma della facciata, che può essere sia positiva (trasmissione sonora inferiore, dovuta alla schermatura totale o parziale del piano della facciata per mezzo di balconi o altri oggetti) sia negativa (maggiore trasmissione sonora, dovuta a delle riflessioni supplementari e a un campo sonoro che potrebbe essere considerato riverberante quando un balcone forma una chiusura parziale attorno al piano della facciata), viene quantificata attraverso il termine correttivo ΔL_{fs} .

ΔL_{fs} è definito come la differenza di livello di pressione sonora tra il campo sonoro incidente ed il livello sonoro sulla superficie della facciata più 6 dB, essendo così uguale a 0 dB per una facciata piana riflettente. Tale valore può essere misurato con un'accuratezza ragionevole mediante la seguente equazione:

$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3$$

- dove:
- $L_{1,2m}$ è il livello medio di pressione sonora rilevato a 2 m dal piano di facciata
 - $L_{1,s}$ è il livello medio di pressione sonora rilevato, tenendo conto dell'effetto di rifles-

sione, sulla superficie esterna del piano della facciata.

Nella norma sono riportati gli schemi per il calcolo di questo contributo, che viene a dipendere dalla forma della facciata (indicata da una sezione verticale passante per il ballatoio, il balcone o la terrazza), dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti, quali i balconi (calcolato in conformità alla Uni EN Iso 11654), e dalla direzione del rumore incidente (caratterizzata dall'altezza dell'orizzonte visivo che parte dalla sorgente e raggiunge il piano della facciata).

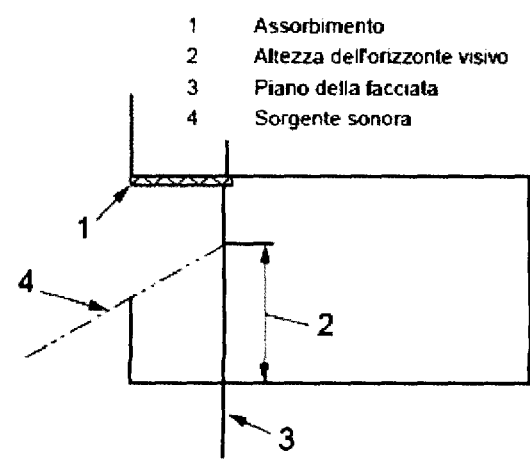


Figura 1 - Parametri rilevanti per l'isolamento acustico dovuto alla forma della facciata (fonte: Uni EN 12354-3:2002).

ΔL_{fs} dB	1 facciata piana	2 ballatoio	3 ballatoio	4 ballatoio	5 ballatoio
Assorbimento del tetto (α_w) =>	Non applicabile	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	0	-1 -1 0	-1 -1 0	0 0 1	Non applicabile
(1,5 - 2,5) m	0	Non applicabile	-1 0 2	0 1 3	
>2,5 m	0		1 1 2	2 2 3	3 4 6
	6 balcone	7 balcone	8 balcone	9 terrazza	
Assorbimento del tetto (α_w) =>	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9	≤0,3 0,6 ≥0,9
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	-1 -1 0	0 0 1	1 1 1	2 1 1	1 3 3 3
(1,5 - 2,5) m	-1 1 3	0 2 4	1 1 2	3 4 5	5 6 7
>2,5 m	1 2 3	2 3 4	1 1 2	4 4 5	6 6 7

Figura 2 - Isolamento acustico dovuto alla forma della facciata per diverse forme di facciata e orientamenti (fonte: Uni EN 12354-3:2002).

Potere fonoisolante delle parti costitutive gli elementi di facciata

Nel caso di elementi comuni, come un tipo specificato di finestra, è possibile correggere il potere fonoisolante della parte principale, cioè della vetrata, per tener conto dell'influenza del telaio e della tenuta.

Un'altra possibilità consiste nell'impiegare il potere fonoisolante di ciascuna parte di un elemento, tenendo conto della relativa area delle singole parti. In tal senso, la tenuta dei giunti e delle intercapedini tra le parti costituisce un tipo particolare di componente che deve essere spesso considerato. Le prestazioni acustiche di questo componente possono essere meglio espresse come potere fonoisolante per unità di lunghezza (di intercapedine o giunto), considerando la lunghezza reale.

Trascurando l'interazione che può essere presente nella trasmissione sonora con le combinazioni di piccoli elementi, per un elemento costituito da diverse parti j e tenuta k tra le parti, il rapporto di potenza sonora, dovuta alla trasmissione diretta, deve essere valutato conformemente a:

$$\tau_e = \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} 10^{-\frac{R_j}{10}} + \frac{l_0}{S} \sum_{k=1}^m l_{s,k} 10^{-\frac{R_{s,k}}{10}}$$

dove $l_{s,k}$ è la lunghezza di un'intercapedine sigillata o del giunto k , in metri, considerando come riferimento $l_0 = 1$ m.

Non si dispone ancora di un metodo di misurazione normalizzato per determinare il potere fonoisolante per unità di lunghezza dell'intercapedine, R_s . Esso può essere determinato sulla base delle misurazioni dell'isolamento acustico effettuate in conformità alla Uni EN Iso 140-3 o alla EN 20140-10, precisando il metodo di montaggio e la valutazione dei risultati. Il modo più semplice consiste nel dedurre tale potere fonoisolante da misurazioni effettuate su un elemento tipo che presenti intercapedini e/o giunti, con e senza la tenuta supplementare delle intercapedini e dei giunti considerati.

Serramenti

Per quanto riguarda i serramenti, note le caratteristiche del vetrocamera montato o noto il potere fonoisolante misurato sperimentalmente del vetrocamera, la posizione delle guarnizioni, la dimensione e forma del telaio e la classe di tenuta all'aria, dal prospetto di Figura 3 (che riporta i risultati di numerose prove di laboratorio) è possibile ricavare il valore medio del potere fonoisolante R_w del serramento.

Il potere fonoisolante di progetto, $R_{w,Rfinestra}$ del serramento viene valutato partendo dal valore medio del potere fonoisolante, R_w del serramento corretto dai coefficienti di aggiustamento mediante la seguente relazione:

$$R_{w,Rfinestra} = R_w + K_p + K_{RA} + K_{DS} + K_{FG} + K_{F1,5} + K_{F,3} + K_{GB}$$

dove:

- $K_p = K_p$ finestre = -2 dB;
 K_p porte = -5 dB;
- $K_{RA} =$ per telai <30% rispetto alla superficie totale del serramento (valore da prospetto);
- $K_{DS} =$ per serramenti con doppio telaio mobile e senza montante centrale (valore da prospetto);
- $K_{FG} =$ per serramenti con telaio non in vista e con maggiore superficie trasparente (valore da prospetto);
- $K_{F1,5} =$ per serramenti con superficie <1,5 m²: $K_{F1,5}$ (valore da prospetto);
- $K_{F3} =$ per serramenti con lastre di vetro >3 m²: $K_{F3} = -2$ dB;
- $K_{GB} =$ per serramenti a nastro (valore da prospetto).

Vetrata

I valori di indice di valutazione del potere fonoisolante di vetrata riportati nel prospetto di Figura 4 provengono dal prospetto B.1 della Uni EN 12354-3 e possono essere impiegati quando non sono disponibili altri dati sui componenti in esame.

Il vetro singolo segue la legge della massa: è possibile migliorarne la prestazione attraverso l'utilizzo di lastre stratificate specifiche per l'acustica (accoppiate con Pvb).

Osservando i dati riportati, si può vedere,

Figura 3 - Valore medio del potere fonoisolante di laboratorio del serramento (tratto da Uni/TR 11175:2005).

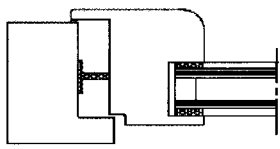
Sezione orizzontale serramento	Descrizione serramento	Classe di permeabilità all'aria UNI EN 12207	R_w (C,C _{tr})	Aggiustamenti				
				K_{RA} (dB)	K_{DS} (dB)	K_{FG} (dB)	$K_{F1,5}$ (dB)	K_{GB} (dB)
	Serramento con vetrata di almeno 6 mm + 4 mm e camera di almeno 15-16 mm riempita con aria o argon. Oppure serramento con vetrocamera avente potere fonoisolante misurato sperimentalmente uguale o maggiore di 35 dB e con guarnizione centrale.	>2	37 (-1; -4)	-2	0	-1	0	0

Figura 4: valori sperimentali per il calcolo dell'indice di potere fonoisolante di vetrate
(tratto da Uni/TR 11175:2005)

	Tipo di vetrata mm	$R_w (C; C_w)$
Vetro singolo	3	28 (-1; -4)
	4	29 (-2; -3)
	5	30 (-1; -2)
	6	31 (-2; -3)
	8	32 (-2; -3)
	10	33 (-2; -3)
	12	34 (0; -2)
Vetro stratificato con laminato plastico da 0,5 mm a 1 mm	6 +	32 (-1; -3)
	8 +	33 (-1; -3)
	10 +	34 (-1; -3)
Vetrocamera con intercapedine da 6 mm a 16 mm riempita d'aria	4 -(6 - 16) - 4	29 (-1; -4)
	6 -(6 - 16) - 4	32 (-2; -4)
	6 -(6 - 16) - 6	31 (-1; -4)
	8 -(6 - 16) - 4	33 (-1; -4)
	8 -(6 - 16) - 6	35 (-2; -6)
	10 -(6 - 16) - 4	35 (-2; -5)
	10 -(6 - 16) - 6	35 (-1; -3)
	6 -(6 - 16) - 6 +	33 (-2; -5)
	6 -(6 - 16) - 10 +	37 (-1; -5)
Nota Valori tratti dal prospetto B.1 della UNI EN 12354-3.		

inoltre, come l'utilizzo del doppio vetro non porti a risultati migliorativi rispetto all'utilizzo di un vetro singolo con lo stesso spessore dei due vetri; anzi, al contrario, possono essere meno efficaci: questo è dovuto ai fenomeni di risonanza e coincidenza che si vengono a creare.

È noto che, per un vetrocamera dato, l'attenuazione sonora aumenta con l'aumentare dell'intercapedine. Tuttavia, questo effetto non è molto rilevante, se non raggiungendo spessori di intercapedini davvero elevati. Benefici si ottengono utilizzando vetri di spessore diverso (lastre asimmetriche) o riempiendo l'intercapedine con un gas pesante (SF₆, esafluoruro di zolfo). Il vetro stratificato ha un potere 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.

Per determinare il potere fonoisolante di una finestra completa di vetrata, utilizzando questi dati, si deve tener conto della transmis-

sione sonora attraverso il telaio della finestra e attraverso la tenuta. L'influenza del telaio si manifesta in una riduzione del potere fonoisolante (la riduzione sarà tanto maggiore quanto minore sarà la tenuta).

Per un vasto gruppo di vetrate, precisamente aventi R_w minore di 37 dB, la trasmissione sonora attraverso il telaio della finestra può essere trascurata se l'area dell'elemento corrisponde a quella della vetrata più il telaio. Preme sottolineare, infine, come il montaggio non accurato del serramento possa portare a ulteriori peggioramenti (particolare attenzione dovrà essere posta alla sigillatura tra il vano e il telaio).

Telai di finestre

Il potere fonoisolante di un telaio di finestra deve essere correlato all'area del telaio. Il metodo più pratico per determinare tale indice è quello di partire da misurazioni effettuate su finestre complete con una perfetta tenuta delle intercapedini e dei giunti tra le parti, nelle quali la trasmissione attraverso

la vetrata è sottratta per calcolo o bloccata durante le misurazioni.

Per alcuni tipi di telai di finestre d'uso comune, è spesso sufficiente dedurre i valori in questo modo, in quanto, per situazioni e costruzioni specifiche, la previsione dovrebbe essere basata su risultati di misurazioni effettuate sull'elemento completo.

In definitiva...

Abbiamo visto come l'isolamento acustico di una facciata si determina individuando il potere fonoisolante dei diversi componenti e apportando successivamente opportune correzioni che dipendono da vari fattori, quali la forma della facciata. L'isolamento acustico di una facciata viene a dipendere dalle proprietà acustiche di tutti gli elementi che la compongono. Essendo, il valore del potere fonoisolante dell'intera parete, dato dalla media logaritmica dei poteri fonoisolanti delle strutture che compongono la facciata, il risultato finale risulta essere influenzato dagli elementi più deboli, ossia principalmente dalle finestre e porte (tener presente che le pareti opache si collocano attorno a valori di fonoisolamento pari a 45-55 dB, mentre i serramenti tradizionali sono caratterizzati da valori di potere fonoisolante compresi nell'intervallo 28-33 dB).

Anche le bocchette di ventilazione e i cassonetti per gli avvolgibili rappresentano veri e propri "buchi" acustici nell'isolamento di una facciata (basti pensare come i fori di aerazione siano caratterizzati da $R_w = 0$ dB). Esistono in commercio bocchette certificate e cassonetti dotati di buoni valori di fonoisolamento.

Per molte tipologie di elementi, in modo particolare gli elementi di apertura, la qualità della tenuta ha una notevole importanza per quanto riguarda il potere fonoisolante ottenuto.

Determinazione isolamento acustico normalizzato di facciata in opera

La norma di riferimento per la misura in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate è la Uni EN Iso 140-5. Tale norma specifica due serie di metodi per la misurazione dell'isolamento al rumore aereo rispettivamente di elementi di facciata e di intere facciate (metodi degli elementi e metodi globali).

I metodi degli elementi hanno lo scopo di stimare il potere fonoisolante di un elemento di facciata, per esempio una finestra. Il metodo degli elementi più accurato usa

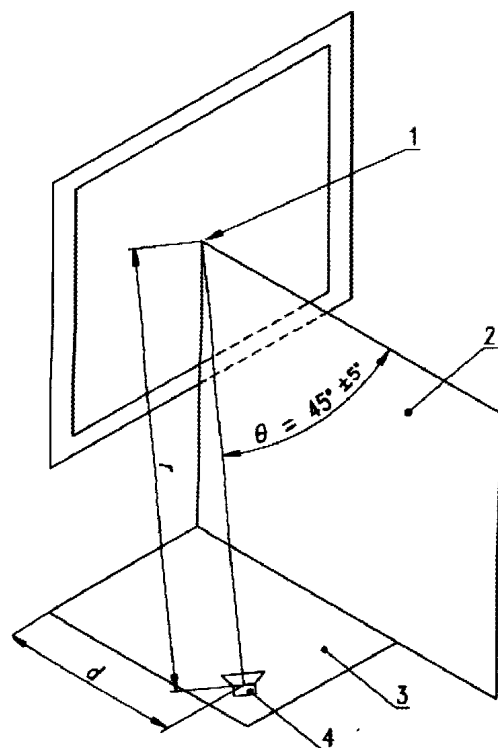


Figura 5 - Misura dell'isolamento acustico di facciata: posizionamento della sorgente sonora artificiale rispetto al piano della facciata (fonte: Uni EN Iso 140-5:2000).

un altoparlante come sorgente di rumore artificiale. Altri metodi degli elementi, meno accurati, usano il rumore da traffico disponibile in loco.

I metodi globali, dall'altra parte, hanno lo scopo di stimare la differenza di livello sonoro esterno-interno nelle reali condizioni di traffico. I metodi globali più accurati usano il traffico reale come sorgente sonora. In aggiunta, può essere usato un altoparlante come sorgente di rumore artificiale.

Il metodo degli elementi con altoparlante fornisce un potere fonoisolante apparente che, in certe condizioni, può essere confrontato con il potere fonoisolante misurato in laboratorio, in accordo con la Iso 140-3 o la Iso 140-10.

Il metodo degli elementi con traffico stradale tende, invece, a fornire valori del potere fonoisolante più bassi del metodo con altoparlante.

Il metodo globale con il traffico stradale fornisce la reale attenuazione di una facciata in un dato posto in relazione a una postazione a 2 m davanti alla facciata.

Questo metodo è quello preferibile quando lo scopo della misurazione consiste nella valutazione delle prestazioni dell'intera facciata, inclusi i percorsi laterali, in una determinata posizione relativa alla strada vicina. I risultati non possono essere confrontati con quelli ottenuti da misurazioni in laboratorio. Lo stesso vale per il metodo globale con altoparlante.