

**METODI DI PREVISIONE
DELLE PRESTAZIONI ACUSTICHE DEGLI EDIFICI:
ISOLAMENTO DEGLI EDIFICI DAI RUMORI ESTERNI
ED ISOLAMENTO DELL'ESTERNO DAL RUMORE PRODOTTO
ALL'INTERNO DEGLI EDIFICI**

Patrizio Fausti¹, Giovanni Semprini², Simone Secchi²

1) Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara

2) Dipartimento di Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale,
Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna

Introduzione

Il metodo di calcolo per la valutazione delle prestazioni acustiche degli edifici, attualmente allo stadio prenormativo in ambito CEN, prevede, oltre ai casi di isolamento all'interno degli edifici, anche quelli relativi all'isolamento dai rumori esterni [8] e all'isolamento dell'esterno dal rumore prodotto all'interno degli edifici [9]. Tale modello di calcolo si sofferma in dettaglio sugli aspetti relativi alla trasmissione attraverso l'involucro edilizio; per quanto riguarda invece il calcolo del rumore all'interno degli edifici si basa sulla predeterminazione del livello di pressione sonora e per la propagazione verso l'esterno rimanda ad altre normative [7].

Tale metodo costituisce sicuramente un valido strumento di studio e di analisi di alcune situazioni che si possono presentare nella realtà, pur mancando ancora un confronto sistematico con verifiche sperimentali.

1 Trasmissione del rumore dall'esterno verso l'interno

Nell'ipotesi di considerare il rumore generato da sorgenti sonore poste all'esterno di un edificio, la differenza tra il livello di pressione sonora misurato nell'ambiente esterno e quello nell'ambiente interno dipende dal potere fonoisolante apparente di facciata R' e dalle caratteristiche dell'ambiente interno (unità assorbenti).

Le condizioni con cui viene valutato il potere fonoisolante di componenti di facciata tramite misure di laboratorio non rispecchiano mai quelle reali dell'ambiente esterno. Per tenere conto di tale differenza vengono definite nuove grandezze che si specificano aggiungendo dei pedici alla grandezza base che è il potere fonoisolante apparente di facciata R' .

In particolare viene definito il potere fonoisolante apparente R'_{45} per angolo di incidenza delle onde sonore di 45° ed il potere fonoisolante apparente $R'_{tr,s}$, per sorgente sonora rappresentata da traffico stradale.

Ai fini del calcolo è necessario porre in relazione tra loro le differenti grandezze.
Si ha pertanto, in prima approssimazione:

$$R'_{45} = R' + 1 \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

$$R'_{tr,s} = R' \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Il potere fonoisolante apparente R' può essere calcolato sulla base del potere fonoisolante dei singoli elementi costituenti la facciata, considerando i contributi diretti (sia per via strutturale che per via aerea) e di fiancheggiamento (strutturali).

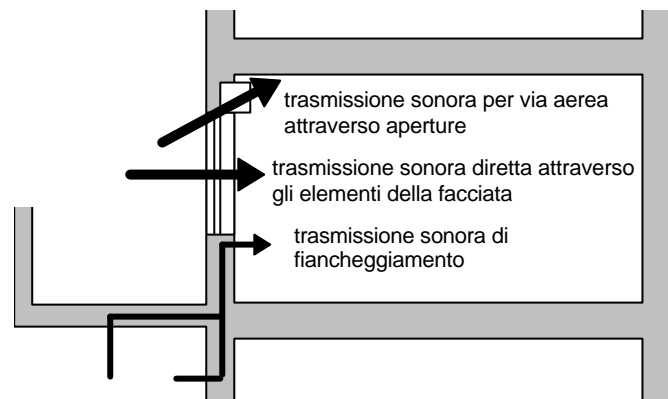


Figura 1) Diversi percorsi di trasmissione del suono (per via aerea e strutturale) in una facciata.

Gli elementi di facciata devono essere distinti tra elementi normali e piccoli elementi.

Per piccoli elementi si intendono elementi di facciata di superficie minore di 1 m^2 , ad esclusione di finestre e porte, in accordo con la ISO 140-10 [4] (ad esempio prese d'aria, ventilatori, condotti elettrici ecc.).

Il potere fonoisolante apparente di facciata R' si esprime quindi mediante la seguente relazione:

$$R' = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \frac{A_0}{S} \sum_{i=1}^p 10^{\frac{-D_{n,i}}{10}} \right) - K \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

in cui il primo termine è relativo all'isolamento degli n elementi "normali" di facciata; il secondo termine all'isolamento dei p elementi "piccoli" di facciata.

Nello specifico si ha:

- R_i è il potere fonoisolante dell'elemento "normale" di facciata i (dB);
- S_i è la superficie dell'elemento "normale" di facciata i (m^2);
- A_0 sono le unità di assorbimento di riferimento, pari a 10 m^2 ;
- $D_{n,i}$ è l'isolamento acustico normalizzato del "piccolo" elemento di facciata i (dB), calcolato o risultante da misure di laboratorio effettuate secondo la ISO 140-10;
- S è la superficie complessiva della facciata (m^2), vista dall'interno (corrispondente alla somma della superficie di tutti gli elementi che compongono la facciata);
- K è la correzione relativa al contributo globale della trasmissione di fiancheggiamento; tale termine può essere assunto pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

Per una valutazione più accurata della trasmissione di fiancheggiamento si deve calcolare il potere fonoisolante R_{ij} relativo ad ogni percorso di trasmissione laterale e quindi fare la somma energetica dei diversi valori di R . Il metodo di calcolo è descritto dal progetto di norma CEN 12354-1.

1.1 Determinazione del potere fonoisolante di componenti di facciate

Vetrata

I valori del potere fonoisolante di vetrate riportati nel seguito provengono da dati sperimentali [8] e possono essere impiegati quando non siano disponibili altri dati sui componenti in esame.

L'indice di valutazione del potere fonoisolante è stato ottenuto in base alla norma ISO 717-1 a partire da valori del potere fonoisolante in bande di un terzo di ottava e comprende una riduzione di 1÷2 dB per tenere conto della deviazione standard dei dati misurati. I valori C e C_{tr} riportati tra parentesi a seguito dell'indice di valutazione del potere fonoisolante sono i termini di adattamento spettrale, necessari per tenere conto della variazione di isolamento provocata da spettro acustico "rosa" e "da traffico", come vengono definiti nella norma ISO 717-1.

I valori così ottenuti devono essere corretti per tenere conto della trasmissione del telaio dell'infisso, delle fessure e delle giunzioni tra le varie parti; tuttavia, per valori dell'indice di valutazione del potere fonoisolante della vetrata inferiori a 37 dB, il contributo del telaio può essere trascurato se si considera la superficie della vetrata pari a quella dell'intero infisso.

	125	250	500	1000	2000	4000	R_w (C; C_{tr})
<i><u>Pannelli singoli</u></i>							
3 mm	14	19	25	29	33	25	28 (-1; -4)
4 mm	17	20	26	32	33	26	29 (-2; -3)
5 mm	19	22	29	33	29	31	30 (-1; -2)
6 mm	18	23	30	35	27	32	31 (-2; -3)
8 mm	20	24	29	34	29	37	32 (-2; -3)
10 mm	23	26	32	31	32	39	33 (-2; -3)
12 mm	27	29	31	32	38	47	34 (0; -2)
<i><u>Pannelli stratificati (lamina plastica di 0,5 - 1 mm)</u></i>							
6 mm	20	23	29	34	32	38	32 (-1; -3)
8 mm	20	25	32	35	34	42	33 (-1; -3)
10 mm	24	26	33	33	35	44	34 (-1; -3)
<i><u>Vetrocamera (intercapedine d'aria di 6 - 16 mm)</u></i>							
4-(6÷16)-4 mm	21	17	25	35	37	31	29 (-1; -4)
6-(6÷16)-4 mm	21	20	26	38	37	39	32 (-2; -4)
6-(6÷16)-6 mm	20	18	28	38	34	38	31 (-1; -4)
8-(6÷16)-4 mm	22	21	28	38	40	47	33 (-1; -4)
8-(6÷16)-6 mm	20	21	33	40	36	48	35 (-2; -6)
10-(6÷16)-4 mm	24	21	32	37	42	43	35 (-2; -5)
10-(6÷16)-6 mm	24	24	32	37	37	44	35 (-1; -3)
6-(6÷16)-6 mm	20	19	30	39	37	46	33 (-2; -5)
6-(6÷16)-10 mm	24	25	33	39	40	49	37 (-1; -5)

Porte

Per determinare l'indice di valutazione del potere fonoisolante di porte si deve tenere conto della trasmissione sonora che avviene attraverso l'anima della porta, il telaio, le fessure ed i

giunti ai bordi e le eventuali vetrature presenti. Generalmente si può fare riferimento a valori misurati in laboratorio per porte perfettamente sigillate ai bordi, avendo cura di correggere i dati per le condizioni reali in opera.

Telai di finestre

Anche in questo caso si può fare riferimento a valori misurati in laboratorio per telai perfettamente sigillati ai bordi, in cui il contributo della vetrata sia stato sottratto o eliminato mediante opportuni accorgimenti.

I valori così ottenuti devono essere corretti per tenere conto delle condizioni reali in opera.

1.2 Influenza della forma della facciata

La forma della facciata può influire sul potere fonoisolante di questa in senso positivo o negativo (maggiore o minore valore di R'). Il primo caso può essere determinato dall'effetto di schermatura dovuto a parti sporgenti della facciata come balconi; il secondo dalla formazione di un campo riverberante dovuto a riflessioni multiple sulle superfici di parti della facciata (nicchie, ecc.).

Questa influenza può essere quantificata mediante il termine ΔL_{fs} , *differenza di livello per forma della facciata*, definito come la differenza tra il livello globale di pressione sonora $L_{1,2m}$ a due metri dal piano della facciata ed il livello medio di pressione sonora sulla superficie esterna della facciata, incluso l'effetto della forma, più 3 dB.

$$\Delta L_{fs} = L_{1,2m} - L_{1,s} + 3 \text{ (dB)} \tag{4}$$

Il termine ΔL_{fs} dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro. La forma si individua su una sezione verticale della facciata in cui le eventuali barriere (parapetti di balconi, ecc.) sono indicati solo se a sezione piena; l'assorbimento α_w si riferisce all'indice di valutazione dell'assorbimento sonoro come definito dalla EN-ISO 11654 [1]. Il valore massimo per α_w ($\geq 0,9$) si applica anche qualora la superficie riflettente sopra la facciata sia assente. La direzione dell'onda sonora incidente si caratterizza mediante l'altezza definita dalla intersezione tra la linea di veduta dalla sorgente ed il piano della facciata (figura 2).

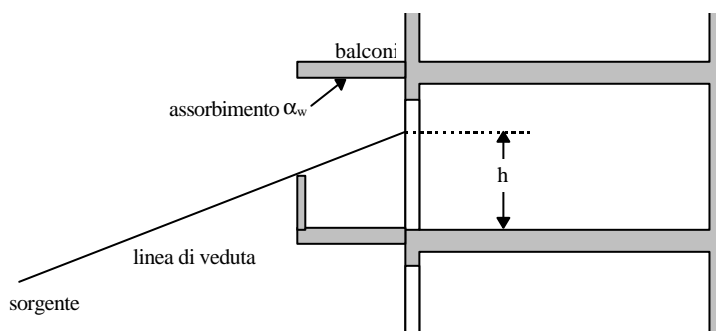


Figura 2) Individuazione di alcune grandezze da impiegare nel modello di calcolo.

	Facciata piana 	balcone 	balcone 	balcone 	balcone
α_w	non si applica	$\leq 0,3$ 0,6 $\leq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\leq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\leq 0,9$	$\leq 0,3$ 0,6 $\leq 0,9$

$h < 1,5 \text{ m}$	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	non si applica		
$1,5 \leq h \leq 2,5 \text{ m}$	0	non si applica			-1	0	2	0	1	3	non si applica		
$h > 2,5 \text{ m}$	0	non si applica			1	1	2	2	2	3	3	4	6

	balcone			balcone			balcone			terrazza					
										schermature aperte			schermature chiuse		
α_w	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$	$\leq 0,3$	0,6	$\geq 0,9$
$h < 1,5 \text{ m}$	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1	3	3	3
$1,5 \leq h \leq 2,5 \text{ m}$	-1	1	3	0	2	4	1	1	2	3	4	5	5	6	7
$h > 2,5 \text{ m}$	1	2	3	2	3	4	1	1	2	4	4	5	6	6	7

Tabella 1) Valore della *differenza di livello per forma della facciata* DL_{fs} per alcuni casi tipo.

1.3 Esempio di calcolo

Il presente esempio si riferisce al calcolo del potere fonoisolante apparente di una facciata composta da una parete doppia in muratura, da due finestre parzialmente apribili e da una presa d'aria. Di tali elementi sono note le prestazioni acustiche in termini di potere fonoisolante (muratura e finestre) o di isolamento acustico normalizzato (presa d'aria).

La facciata, mostrata in prospettiva in figura 3, non presenta sporgenze di alcun tipo, per cui non si introduce alcun termine correttivo ($\Delta L_{fs} = 0$).

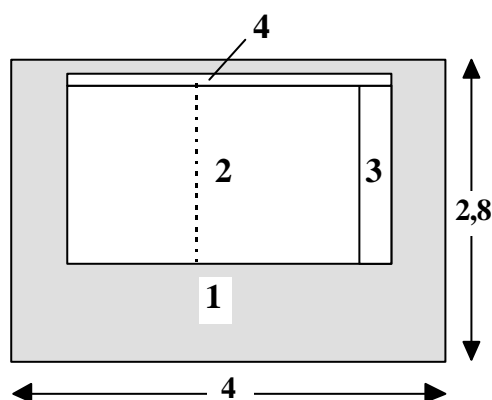


Figura 3) Prospetto della facciata oggetto dell'esempio di calcolo.

Gli elementi componenti, le cui prestazioni acustiche sono evidenziate in tabella 2, sono i seguenti.

1. Parete doppia in muratura 12+5+10 cm ($S = 6 \text{ m}^2$);
2. finestra con telaio in legno e vetrocamera 6+12+4 mm ($S = 4,5 \text{ m}^2$ di cui $2,5 \text{ m}^2$ apribili);
3. finestra con telaio in legno e pannelli in vetro da 6 mm, apribile ($S = 0,5 \text{ m}^2$);
4. presa d'aria posta sopra la finestra su telaio in legno ($S = 0,3 \text{ m}^2$).

	elemento	S (m ²)	frequenza					R _w + C _{tr}
			125	250	500	1000	2000	
1	R (muro)	6	41	46	52	58	64	51
2	R (finestra A)	4.5	23	22	30	36	37	29
3	R (finestra B)	0.5	24	27	30	33	30	30
4	D _n (presa d'aria)	0.3	28	23	25	38	44	29

Tabella 2) Prestazioni acustiche dei differenti elementi costituenti la facciata in esame.

Il potere fonoisolante apparente, calcolato mediante l'equazione 3, è evidenziato in figura 4. Si nota come la trasmissione sonora sia dominata dagli elementi deboli del sistema (finestre e presa d'aria).

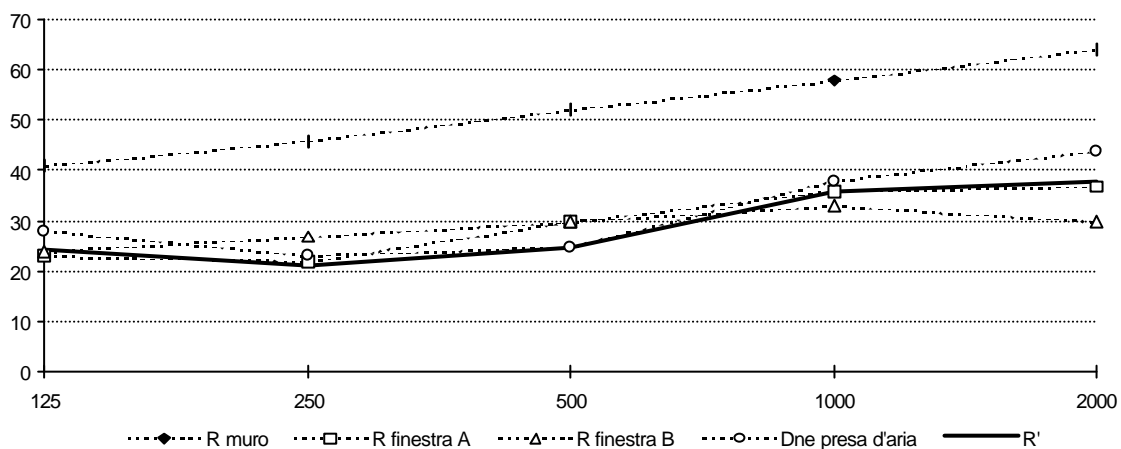


Figura 4) Prestazioni acustiche dei differenti elementi costituenti la facciata al confronto con il potere fonoisolante apparente risultante dal calcolo (linea continua)

2 Trasmissione del rumore dall'interno verso l'esterno

La valutazione del livello di pressione sonora presente nell'ambiente esterno in seguito alla radiazione sonora da parte di un singolo edificio può essere fatta in funzione del livello sonoro presente all'interno di tale edificio e della prestazione acustica del suo involucro. Tale valutazione può essere condotta in funzione della frequenza oppure, in modo meno rigoroso e per una prima stima di massima, in termini di livello globale ponderato A.

Il modello di calcolo definito dal progetto di norma CEN [9] prevede di schematizzare le superfici radianti dell'edificio (involucro e sorgenti sonore di facciata) con una o più sorgenti sonore puntiformi di cui si deve calcolare il livello di potenza sonora.

I livelli di potenza sonora possono essere dati noti e certificati, nel caso di elementi di facciata quali estrattori, torri di refrigerazione ecc, oppure essere calcolati a partire dal livello di pressione sonora presente all'interno dell'edificio e del potere fonoisolante degli elementi di involucro. È necessario pertanto conoscere o calcolare il livello di pressione sonora presente o previsto all'interno dell'edificio. Per il calcolo si devono conoscere la potenza sonora delle diverse sorgenti presenti e le caratteristiche dimensionali ed acustiche (coefficiente di assorbimento e potere fonoisolante) delle varie superfici (involucro, partizioni, schermi protettivi).

Una volta determinati i livelli di potenza sonora delle sorgenti sonore puntiformi con cui viene schematizzato l'edificio, il livello di pressione sonora può essere calcolato conoscendo

l'attenuazione sonora totale per propagazione in ambiente esterno A_{tot} . In tale termine si tiene conto della attenuazione per divergenza geometrica delle onde (A_{div}), della attenuazione per assorbimento dell'aria (A_{atm}), e per effetto del suolo (A_{ground}), di eventuali schermi A_{screen} , nonché di altri termini (vegetazione, edifici, ecc.) (A_{misc}).

In generale si ha [2,7]:

$$A_{tot} = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{screen} + A_{misc} \quad (5)$$

Il progetto di norma CEN non riguarda comunque né il calcolo del livello di pressione sonora interno degli edifici, né quello della attenuazione per propagazione in ambiente esterno, che vengono pertanto considerati come dati noti.

Il livello di pressione sonora interno può essere quello medio del periodo lavorativo, quello medio giornaliero o quello massimo, secondo i casi.

L'attenuazione sonora esterna può essere calcolata secondo la norma ISO 9613-2/96 [7].

Il livello di pressione sonora in un punto all'esterno dell'edificio viene dato dalla somma energetica dei contributi delle singole sorgenti puntiformi, tenendo conto della attenuazione totale relativa a ciascuna di esse:

$$L_{p,d} = 10 \lg \left\{ \sum_{j=1}^k 10^{\frac{(L_{wD,j} - A_{tot,j})}{10}} \right\} \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

dove:

- $L_{p,d}$ è il livello di pressione sonora in un punto posto ad una distanza d dalla facciata dell'edificio (dB);
- $L_{wD,i}$ è livello di potenza sonora della sorgente puntiforme equivalente j , nella direzione del ricevitore (dB);
- $A_{tot,j}$ è l'attenuazione totale subita dalla pressione sonora nella trasmissione dalla sorgente equivalente al ricevitore (dB);
- k è il numero di sorgenti puntiformi equivalenti.

Ogni singola sorgente può rappresentare una porzione dell'involucro dell'edificio oppure una o un gruppo di sorgenti sonore di facciata. Il numero di sorgenti sonore da definire dipende dalla distanza tra edificio e ricevitore e dalla variazione delle cause di attenuazione (ad esempio una parte di facciata schermata da una barriera viene schematizzata con una o più sorgenti sonore indipendenti).

In genere ogni lato dell'edificio (facciate e copertura) richiede di essere schematizzato con *almeno* una sorgente puntiforme (figura 5).

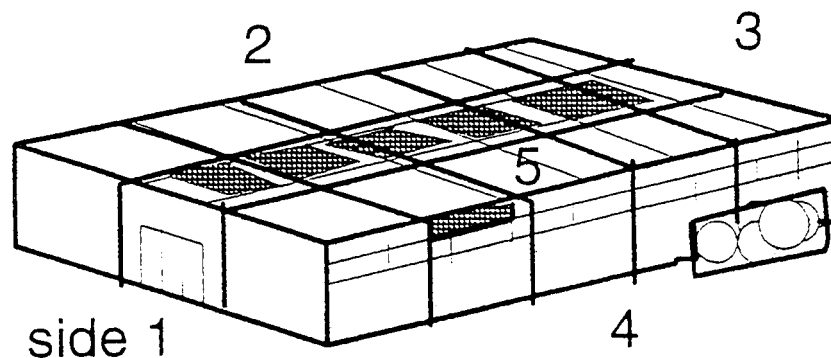


Figura 5) Individuazione dei segmenti in cui scomporre l'edificio.

2.1 Individuazione delle sorgenti equivalenti puntiformi

Gli elementi dell'involucro e le sorgenti sonore vengono divisi in tre gruppi:

- a) elementi strutturali dell'involucro (murature, finestre, tetti, porte, ecc.) ed elementi come griglie ed aperture con superficie minore di 1 m^2 ("piccoli elementi" secondo la norma ISO 140-10);
- b) aperture grandi ($S > 1 \text{ m}^2$) come porte e finestre aperte, ecc.;
- c) sorgenti sonore di facciata.

Per ciascuno di questi elementi, nel seguito chiamati *segmenti*, si determina la posizione della sorgente equivalente puntiforme secondo i seguenti criteri:

- 1) il contributo sonoro al ricevitore più vicino è lo stesso per tutte le parti del segmento;
- 2) la distanza dal più vicino ricevitore è maggiore di 2 volte la dimensione maggiore del segmento;
- 3) per gli elementi e le aperture facenti parti del medesimo segmento si applica lo stesso livello di pressione sonora interno;
- 4) per gli elementi, le aperture e le sorgenti facenti parti del medesimo segmento si applica la stessa direttività.

Se una o più di queste condizioni non è rispettata, si devono scegliere differenzialmente i segmenti.

La sorgente puntiforme che rappresenta un segmento verticale viene posizionata a metà della larghezza ed a $2/3$ dell'altezza di questo; per gli altri tipi di segmenti viene invece posizionata al centro.

2.2 Determinazione del livello di potenza delle sorgenti equivalenti puntiformi

Il livello di potenza sonora da attribuire alle sorgenti puntiformi equivalenti viene determinato in maniera differente secondo il tipo di segmento cui ci si riferisce.

Per un *segmento di elementi strutturali* il livello di potenza sonora della sorgente puntiforme equivalente si determina nel seguente modo:

$$L_{wD,j} = L_{p,in,j} + C_{d,j} - R'_j + 10 \lg \frac{S_j}{S_0} + D_{q,j} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

dove:

- $L_{p,in,j}$ è il livello di pressione sonora ad una distanza variabile tra 1 e 2 metri dalla faccia interna del segmento j (dB);
- $C_{d,j}$ è il termine che tiene conto della diffusione del campo sonoro interno relativo al segmento j (dB);
- R'_j è il potere fonoisolante apparente del segmento j (dB);
- S_j è la superficie del segmento j (m^2);
- S_0 è la superficie di riferimento (1 m^2);
- D_{ϕ} è il termine correttivo per la direzionalità del segmento j .

Il potere fonoisolante apparente del generico segmento j si ottiene a partire dalle prestazioni acustiche dei diversi elementi costituenti secondo la seguente formula:

$$R'_j = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S_j} 10^{\frac{-R_i}{10}} + \sum_{i=m+1}^{m+n} \frac{A_0}{S_j} 10^{\frac{-D_{n,e,i}}{10}} \right) \quad (\text{dB}) \quad (8)$$

dove:

- R_i è il potere fonoisolante dell'elemento i (dB);
- S_i è la superficie dell'elemento i (m^2);
- $D_{n,e,i}$ è l'isolamento acustico normalizzato del "piccolo" elemento i (dB);
- S_0 è la superficie di riferimento (1 m^2);
- A_0 sono le unità assorbenti di riferimento (10 m^2);
- m è il numero di grandi elementi nel segmento j ;
- n è il numero di piccoli elementi nel segmento j .

Per un *segmento di aperture*, il livello equivalente di potenza sonora della sorgente puntiforme si determina invece nel seguente modo:

$$L_{WD,j} = L_{p,in,j} + C_{d,j} + 10 \lg \sum_{i=1}^o \left(\frac{S_i}{S_j} 10^{\frac{-D_{t,i}}{10}} \right) + D_{q,j} \quad (\text{dB}) \quad (9)$$

dove:

- S_i è la superficie dell'apertura i (m^2);
- S_j è la superficie del segmento j , pari alla somma di tutte le aperture i del segmento (m^2);
- $D_{t,i}$ è l'isolamento acustico dell'eventuale silenziatore dell'apertura i (dB);
- o è il numero di aperture del segmento.

Infine per un *segmento di sorgenti sonore*, il livello di potenza della sorgente equivalente si determina mediante la seguente formula:

$$L_{WD,j} = 10 \lg \sum_{i=1}^p \left(10^{\frac{-L_{w,i}}{10}} \right) + D_{q,j} \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

in cui $L_{w,i}$ è il livello di potenza della sorgente sonora i (dB) e p è il numero di sorgenti sonore del segmento.

2.3 Determinazione del campo sonoro interno

Il livello di pressione sonora interno da impiegarsi per il calcolo del livello di potenza sonora delle sorgenti equivalenti (formule 7 e 9) è il livello che si ha all'interno dell'edificio ad una distanza compresa tra 1 e 2 metri dalla faccia interna del segmento considerato. Tale livello di pressione sonora può essere misurato, stimato mediante relazioni di calcolo o definito da specifiche tecniche. Il calcolo di tale quantità non riguarda comunque il modello del progetto di norma qui presentato.

Nella valutazione del livello di potenza da assegnare alle sorgenti sonore equivalenti si deve tenere conto della diffusione del campo sonoro interno per avere una valida stima dell'energia incidente sulla struttura o sulla apertura in esame. A tale scopo si determina il valore da attribuire al termine di diffusione del campo sonoro C_d , definito come la differenza tra il livello me-

dio dell'intensità sonora incidente perpendicolarmente alla facciata in esame e il livello medio di pressione sonora nelle immediate vicinanze della facciata stessa, entrambi considerati dal suo lato interno. Il termine C_d tiene conto pertanto della diffusione del campo sonoro interno e dell'assorbimento acustico del lato interno della facciata.

In assenza di dati sperimentali o di valutazioni più accurate, C_d può essere dedotto dalla tabella 3.

Contesto	C_d (dB)
ambienti relativamente piccoli, con forme regolari (campo diffuso), di fronte a superfici riflettenti	-6
ambienti relativamente piccoli, con forme regolari (campo diffuso), di fronte a superfici assorbenti	-3
ambienti grandi o sale lunghe con molte sorgenti sonore (edifici industriali), di fronte a superfici riflettenti	-5
edifici industriali con poche sorgenti direzionali dominanti, di fronte a superfici riflettenti	-3
edifici industriali con poche sorgenti direzionali dominanti, di fronte a superfici assorbenti	0

Tabella 3) Termine correttivo per tenere conto della diffusione del campo sonoro interno e dell'assorbimento delle superfici interne dell'involucro.

2.4 Determinazione della direzionalità delle sorgenti sonore equivalenti

La direzionalità delle sorgenti puntiformi equivalenti è necessaria per calcolare il livello di potenza sonora in base alle equazioni 7, 9 e 10. In tale termine si tiene conto sia della direzionalità caratteristica della sorgente stessa (struttura radiante, apertura o sorgente di facciata), DI_Φ , sia dell'eventuale effetto di schermatura di superfici presenti nelle vicinanze della sorgente (parti dell'involucro o altri elementi). L'effetto di schermatura può essere valutato anche come termine dell'attenuazione per propagazione in ambiente esterno (A). In caso contrario, se ne tiene conto valutando l'angolo solido Φ di radiazione sonora libera della sorgente sonora.

Si ha quindi:

$$D_F = DI_F + 10 \lg \frac{4P}{W} \quad (\text{dB}) \quad (11)$$

dove

- Φ è l'angolo formato tra la direzione di propagazione verso il ricevitore e la direzione della sorgente equivalente; per segmenti di strutture, l'orientamento della sorgente coincide con la perpendicolare alla facciata;
- Ω è l'angolo solido di radiazione sonora libera, tenendo conto di eventuali schermi riflettenti presenti intorno alla sorgente.

Nei casi più ricorrenti e quando non siano disponibili valutazioni più accurate, la direttività delle sorgenti sonore equivalenti può essere determinata come segue.

Strutture piane radianti

La radiazione sonora da parte di piastre radianti mostra una direzionalità al di sopra della frequenza critica, con una maggiore radiazione in direzione parallela alla facciata. Tuttavia, nei casi pratici, tale fenomeno è da ritenersi trascurabile e, per strutture che irradiano in un semipiano (facciate libere, $\Omega = 2\pi$), la direzionalità di tali sorgenti varia tra -5 dB e +5 dB. Per una

prima valutazione, si può assumere nei calcoli $D_{\Phi} = 0$ dB per $0^{\circ} < \Phi < 90^{\circ}$.

Aperture

Le aperture irradiano energia sonora prevalentemente in direzione perpendicolare alla loro superficie. Per la valutazione di DI_{Φ} si possono usare le seguenti formule, in funzione dell'angolo Φ :

$$\begin{aligned} 0^{\circ} < \mathbf{F} < 45^{\circ} \quad DI_{\mathbf{F}} &= 1 & \text{(dB)} \\ 45^{\circ} < \mathbf{F} < 85^{\circ} \quad DI_{\mathbf{F}} &= 6 \lg \frac{90^{\circ} - \mathbf{F}}{10^{\circ}} & \text{(dB)} \\ 85^{\circ} < \mathbf{F} < 180^{\circ} \quad DI_{\mathbf{F}} &= DI_{85^{\circ}} - 6 \lg \frac{\mathbf{F} - 90^{\circ}}{2,5^{\circ}} + 3 & \text{(dB)} \end{aligned} \quad (12)$$

La direzionalità per angoli elevati è anche influenzata dalle dimensioni dell'apertura in relazione alla lunghezza d'onda.

Con aperture dotate di silenziatori, la direzionalità della radiazione può essere più pronunciata di quanto previsto con la formula 12.

Sorgenti sonore di facciata

Le sorgenti sonore di facciata vengono caratterizzate mediante l'indice di direzionalità DI_{Φ} , misurato secondo le ISO 3744 o 3745. Agli indici di direzionalità misurati in accordo alla ISO 3744 devono essere aggiunti 3 dB, come conseguenza di una differenza di definizione.

2.5 Modello semplificato

Per una prima valutazione di massima, il livello di pressione sonora generato all'esterno da un edificio può essere calcolato mediante un approccio semplificato.

Ciò è possibile sotto le seguenti ipotesi:

- la dimensione e la forma dell'edificio sono tali che il livello di pressione sonora interno possa essere considerato uniforme;
- la distanza tra l'involucro esterno dell'edificio ed i ricevitori è ridotta (minore di 100 metri);
- la distanza tra grandi aperture e singole sorgenti sonore di facciata è grande rispetto alla loro dimensione;
- la superficie del suolo esterno è dura (ad esempio di asfalto, terra battuta, ecc.);
- non vi sono schermi acustici tra edificio e ricevitori.

In questi casi, si può schematizzare l'edificio con una sola sorgente sonora per facciata (figura 6); l'attenuazione per propagazione in esterno si ottiene dalla somma dei contributi di attenuazione per semplice divergenza geometrica, per effetto suolo e per schermatura da parte dell'edificio stesso, trascurando gli altri termini dell'equazione 5.

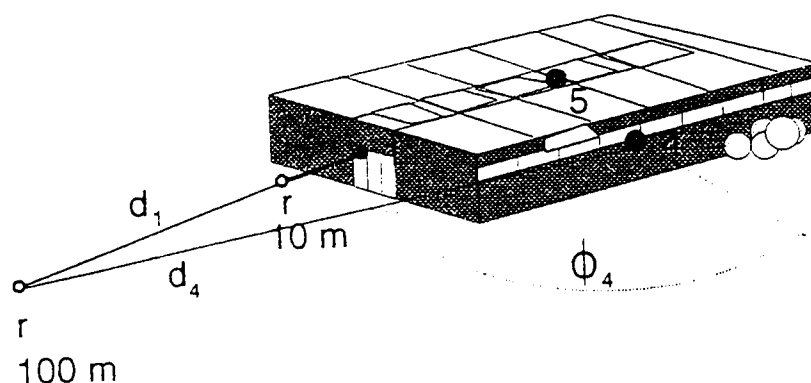


Figura 6) Individuazione delle sezioni in cui scomporre l'edificio (modello di calcolo semplificato).

Riferimenti

- [1] EN ISO 11654, *Acoustics - Sound absorbers for use in buildings; rating of sound absorption*;
- [2] GARAI M., SEMPRINI G., "Barriere acustiche: come valutarne le prestazioni" in *Costruire in laterizio*, n° 58, luglio - agosto 1997, pagg. 288-295;
- [3] ISO 140-3, *Acoustics - measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements, part 3: laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements*;
- [4] ISO 140-10, *Acoustics - measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements, part 10: laboratory measurements of airborne sound insulation of small building elements*;
- [5] ISO 717-1, *Acoustics - rating of sound insulation in buildings and of building elements; part 1, airborne sound insulation*;
- [6] ISO 717-2, *Acoustics - rating of sound insulation in buildings and of building elements; part 2, impact sound insulation*;
- [7] ISO 9613-2, *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors; part 2, general method of calculation*;
- [8] Pr. EN 12354-3, *Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 3: airborne sound insulation against outdoor sound*;
- [9] Pr. EN 12354-4, *Building acoustics; estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products, part 4: transmission of indoor sound to the outside*.