

DETERMINAZIONE DELL'ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA PER AMBIENTI D'ANGOLO

di

* Nicola Granzotto, Edoardo Piana

1. Introduzione

La progettazione delle prestazioni di isolamento acustico di facciata di un edificio viene solitamente eseguita secondo la norma ISO 12354-3 [1]. Questa norma descrive un modello di calcolo per stimare le prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei singoli elementi. Un problema che spesso si incontra durante la fase di progettazione acustica delle facciate è quello della corretta valutazione dei locali d'angolo.

Il calcolo previsionale dell'isolamento acustico di facciata di ambienti d'angolo non è sufficientemente dettagliato nella norma ISO 12354-3, per questo motivo si riporta di seguito un metodo di calcolo sviluppato per alcuni casi particolari, riferito al posizionamento di una sorgente sonora (altoparlante) nelle condizioni di misurazione in opera secondo quanto previsto dalla norma ISO 16283-3 [2].

2. Determinazione dell'isolamento acustico di facciata

2.1. Valutazione sperimentale dell'isolamento acustico di facciata secondo la norma ISO 16283-3

Le misurazioni dell'isolamento acustico di facciata vengono eseguite secondo la norma ISO 16283-3. La valutazione può essere eseguita sia su singoli elementi di facciata che sull'intera facciata. A seconda dello scopo della misurazione, è possibile utilizzare diversi tipi di sorgenti di rumore (traffico stradale / ferroviario / aereo o altoparlante).

L'utilizzo del metodo con l'altoparlante è necessario quando si devono valutare facciate con elevate prestazioni acustiche, quando la sorgente reale (traffico, ferrovia e aeromobili) non ha energia sufficiente per

una corretta valutazione o quando è richiesta una maggiore ripetibilità dei risultati. La misura in opera con altoparlante, secondo la ISO 16283-3 viene eseguita posizionando la sorgente di rumore all'esterno, l'onda sonora viene quindi diretta verso il centro della facciata. L'angolo tra la normale alla facciata e l'onda sonora che la colpisce deve essere di $45^\circ \pm 5^\circ$. La distanza minima, D , tra la facciata e l'altoparlante deve essere di almeno 5 m (Figura 1). La direttività della sorgente deve essere approssimativamente uniforme, per questo motivo, secondo l'ultima versione della norma, è necessario l'utilizzo di una sorgente omnidirezionale (Allegato C — ISO 16283-3).

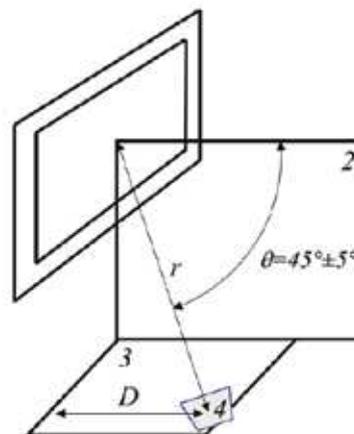


Figura 1. Geometria del metodo con altoparlante:
1 normale alla facciata, 2 piano verticale,
3 piano orizzontale, 4 altoparlante.

L'isolamento acustico di facciata con altoparlante, $D_{ls,2mT}$, è calcolato come differenza tra il livello di pressione sonora esterna, misurato a 2 m davanti al centro della facciata ($L_{1,2m}$) e la media spaziale del livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente

(L_2), corretto da un fattore che tiene conto del tempo di riverberazione (T):

$$D_{1s,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

dove $T_0=0,5$ s è il tempo di riverbero di riferimento. Il microfono esterno deve essere posizionato a 1,5 m d'altezza rispetto al pavimento dell'ambiente ricevente. L'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata, $D_{1s,2m,nT,w}$ viene quindi calcolato secondo la norma ISO 717-1 [3]. Quando si utilizzano posizioni diverse della sorgente sonora, ad esempio quando si valuta l'isolamento acustico di un ambiente d'angolo, il risultato combinato deve essere calcolato secondo la seguente formula:

$$D_{1s,2m} = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-D_i/10} \right) \quad (2)$$

dove n è il numero di posizioni della sorgente e D_i è la differenza di livello per ciascuna combinazione sorgente-ricevitore. Nel caso di facciate con due o più lati esposti al rumore, la norma ISO 16283-3 non specifica in quali posizioni deve essere posizionato l'altoparlante. Tuttavia, in questo caso, sono necessarie due diverse misure sulla facciata. La Figura 2 mostra quattro possibili combinazioni di posizionamento della sorgente per una stanza d'angolo posta al piano terra di un edificio.

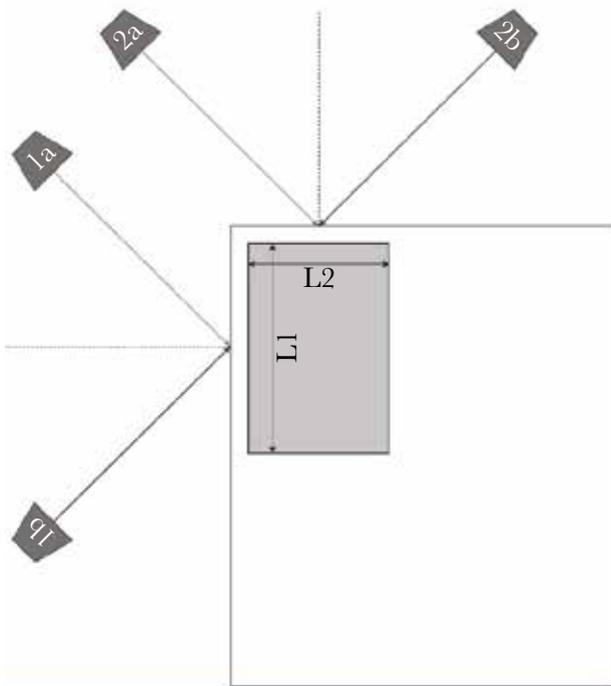


Figura 2. Esempio di una stanza d'angolo con due pareti. Diverse combinazioni di posizioni degli altoparlanti: (a) 1a - 2a; (b) 1a - 2b; (c) 1b - 2a; (d) 1b - 2b.

Considerando l'esempio di Figura 1, si possono considerare le seguenti quattro combinazioni di una sorgente posizionata a terra ad una distanza di 5 m dalla facciata: (a) 1a - 2a; (b) 1a - 2b; (c) 1b - 2a; (d) 1b - 2b. La combinazione 1a-2a è quella che porta generalmente ad un valore di isolamento di facciata minore e quindi in favore di sicurezza, in quanto i due lati risultano direttamente esposti al rumore. La combinazione 1b-2b invece è quella che porta ad un risultato dell'isolamento generalmente maggiore, in quanto il lato della facciata opposto alla sorgente risulta schermato dall'edificio. Risulta perciò necessario quantificare le suddette differenze e, se possibile, fornire il valore più rappresentativo dell'isolamento acustico di facciata; inoltre per una corretta interpretazione delle prestazioni di isolamento acustico della facciata, il rapporto di prova deve indicare quale posizione della sorgente è stata scelta durante le misurazioni.

2.2. Progettazione dell'isolamento acustico della facciata secondo la norma ISO 12354-3

L'isolamento acustico di facciata dipende dal potere fonoisolante apparente della facciata stessa vista dall'interno del locale, dall'influenza della forma esterna della facciata e dalle dimensioni del locale. L'isolamento acustico di facciata può essere determinato secondo la formula (3).

$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \lg \left(C_{sab} \frac{V}{T_0 S} \right) \quad (3)$$

dove R' è il potere fonoisolante apparente della facciata, ΔL_{fs} è la differenza di livello dovuta alla forma della facciata, $C_{sab}=0,16$ è la costante Sabine, V è il volume della stanza ricevente, T_0 è il tempo di riverbero di riferimento (0,5 s) e S è l'area totale della facciata vista dall'interno. Il potere fonoisolante apparente R' può essere calcolato come:

$$R' = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \tau_{e,i} + \sum_{f=1}^m \tau_f \right) \quad (4)$$

dove $\tau_{e,i}$ è il coefficiente di trasmissione dell'elemento di facciata i dovuto alla trasmissione diretta del suono incidente su questo elemento, relativo alla potenza sonora incidente sulla facciata totale, τ_f è il coefficiente di trasmissione di una facciata o elemento f dovuto alla trasmissione laterale, relativa alla potenza sonora incidente sulla facciata totale, n è il numero di elementi di facciata per la trasmissione diretta ed m è il numero di elementi di facciata laterali.

Per piccoli elementi tecnici (es. prese d'aria, cassonetti) il coefficiente di trasmissione può essere calcolato come:

$$\tau_{e,i} = \frac{10}{S} 10^{-D_{n,e,i}/10} \quad (5)$$

dove $D_{n,e,i}$ è la differenza di livello di pressione sonora normalizzata per il piccolo elemento i -esimo. Per altri elementi (es. muri, tetto, finestre) il coefficiente di trasmissione può essere calcolato secondo la formula:

$$\tau_{e,i} = \frac{S_i}{S} 10^{-R_i/10} \quad (6)$$

dove R_i è il potere fonoisolante dell' i -esimo elemento e, S_i è la sua area.

La norma ISO 12354-3 specifica che, in caso di elementi rigidi, è possibile incorporare la trasmissione laterale riducendo il potere fonoisolante di 2 dB. La norma precisa che, se la facciata non è piana, la superficie totale deve essere ottenuta come somma delle superfici di tutti gli elementi che compongono la facciata visti dall'interno, a condizione che il suono incida in modo omogeneo su tutte le sue porzioni. Se questo requisito non può essere soddisfatto, ogni parte della facciata soggetta a un campo sonoro incidente omogeneo deve essere considerata separa-

tamente nei calcoli. Se le diverse parti della facciata totale sono soggette a diversi livelli di pressione sonora, come nel caso di un ambiente d'angolo, è possibile considerare queste parti separatamente. Il modello può essere utilizzato anche per calcolare direttamente l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata, $D_{2m,nT,w}$, sulla base delle valutazioni numeriche dei singoli elementi coinvolti.

Se si effettuano calcoli separati per i due lati della facciata e la media logaritmica (2) viene calcolata senza considerare il contributo del rumore proveniente da altre parti della facciata, si può commettere un errore di valutazione. D'altra parte va notato che, nel caso di misure in opera, è corretto utilizzare la media logaritmica data da (2) perché tali misure tengono già conto della quantità di rumore proveniente dalla porzione di facciata che non è direttamente colpita dall'onda sonora.

Allo scopo di calcolare l'isolamento acustico di facciata, viene introdotta l'attenuazione dovuta alla diffrazione dell'angolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata. L'attenuazione viene indicata con il termine ΔD_{FL} dove F indica la facciata considerata e L la posizione ipotizzata per l'altoparlante.

Si riportano di seguito alcuni casi particolari e delle formulazioni utili per il calcolo previsionale.

3. Calcolo dell'isolamento di facciata di ambienti d'angolo

3.1. Caso di un ambiente d'angolo con due pareti

L'isolamento acustico di facciata di un ambiente d'angolo con due pareti può essere calcolato mediante le seguenti formule [4]:

$$D_{2m,nT,w1} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}} \right) \quad (7)$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}} \right) \quad (8)$$

$$D_{2m,nT,w} = -10 \lg \left(\frac{10^{-\frac{D_{2m,nT,w1}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w2}}{10}}}{2} \right) \quad (9)$$

dove:

$D_{2m,nT,w1}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento dell'intera facciata con l'altoparlante in posizione 1;

$D_{2m,nT,w2}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento dell'intera facciata con l'altoparlante in posizione 2;

$D_{2m,nT,w11}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata del solo lato 1 con l'altoparlante in posizione 1;

$D_{2m,nT,w22}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata del solo lato 2 con l'altoparlante in posizione 2;

ΔD_{21} è l'attenuazione dovuta allo spigolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il lato 2 con l'altoparlante in posizione 1;

ΔD_{12} è l'attenuazione dovuta allo spigolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il lato 1 con l'altoparlante in posizione 2;

$D_{2m,nT,w}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata complessivo.

Per l'attenuazione, ΔD_{FL} , possono essere utilizzati i valori riportati nella Tabella 1.

Piano	$\Delta D_{12b} = \Delta D_{21b}$ Posizione 1b o 2b	$\Delta D_{12a} = \Delta D_{21a}$ Posizione 1a o 2a
Terra	15	0
Primo	12	2
Secondo	12	Non prevista
Terzo	11	Non prevista

Nota 1: le attenuazioni sono state ricavate tramite simulazione software, considerando una distanza altoparlante-facciata pari a 5 m per il piano terra e il primo piano. Per i piani superiori l'altoparlante deve essere posto ad una distanza dalla facciata pari all'altezza del centro della facciata dal piano del terreno. In tal caso la sorgente risulta posizionata frontalmente alla facciata e le posizioni 1a e 2a non sono previste. Nota 2: le attenuazioni variano anche in funzione delle dimensioni dell'ambiente, i valori riportati sono da considerarsi come minimi e si riferiscono ad un edificio in prossimità di altri edifici, posti ad una distanza di 10 m. Per altre casistiche consultare il riferimento bibliografico [4].

Tabella 1 - Attenuazioni dovute alla diffrazione dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il piano terra, primo piano, secondo piano e terzo piano

3.2. Caso di un ambiente con una parete e il tetto

Nel caso di un ambiente con una parete e il tetto a vista, se si considera di posizionare l'altoparlante solamente sul piano del terreno, può essere utilizzata la seguente formula:

$$D_{2m,nT,w} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{31}}{10}} \right) \quad (10)$$

dove: $D_{2m,nT,w33}$ è l'indice di valutazione dell'isola-

mento di facciata del solo lato 3 (tetto) senza attenuazione;

ΔD_{31} è l'attenuazione dovuta allo spigolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il lato 3 (tetto) con l'altoparlante in posizione 1.

Per inclinazioni del tetto minori o uguali al 40% si possono utilizzare le attenuazioni riportate nella Tabella 2.

Piano	ΔD_{31}
Terra	10
Primo	16
Secondo	16
Terzo	15

Nota 3: le attenuazioni sono state ricavate, tramite simulazione software, considerando una distanza altoparlante-facciata pari a 5 m per il piano terra e il primo piano. Per i piani superiori al primo l'altoparlante deve essere considerato ad una distanza dalla facciata pari all'altezza del centro della facciata dal piano del terreno.

Nota 4: in questo specifico caso le posizioni 1a e 2a non sono previste.

Tabella 2 - Attenuazioni relative al tetto dovute alla diffrazione dell'edificio per il piano terra, primo piano, secondo piano e terzo piano

Nel caso sia più rappresentativo considerare una seconda posizione dell'altoparlante direzionata verso il tetto, ad esempio per considerare un rumore proveniente da tutte le direzioni verso la facciata (rumore da traffico e rumore dovuto ad aeromobili, ecc.), risulta molto complicato generalizzare una formulazione a causa delle molteplici variabili in gioco. In questo caso potranno essere utilizzate le formule (1), (2) e (3) con attenuazioni nulle, in favore di sicurezza.

3.3. Caso di un ambiente d'angolo con due pareti e il tetto

Nel caso di un ambiente con due pareti e il tetto a vista avente due inclinazioni, se si considera di posizionare l'altoparlante sul piano del terreno, si possono utilizzare le seguenti formule:

$$D_{2m,nT,w1} = -10\lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w33} + \Delta D_{31}}{10}} \right) \quad (11)$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10\lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w33} + \Delta D_{32}}{10}} \right) \quad (12)$$

dove:

ΔD_{31} è l'attenuazione dovuta allo spigolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il lato 3 (tetto) con l'altoparlante in posizione 1.

ΔD_{32} è l'attenuazione dovuta allo spigolo dell'edificio o alla diversa distanza sorgente-facciata per il lato 3 (tetto) con l'altoparlante in posizione 2.

$D_{2m,nT,w}$ viene calcolato con la formula (9).

Per le attenuazioni delle pareti si possono considerare i valori della Tabella 1 mentre per le attenuazioni del tetto si possono considerare i valori della Tabella 3.

Piano	$\Delta D_{13b}, \Delta D_{31b}, \Delta D_{23b}, \Delta D_{32b}$	$\Delta D_{13a}, \Delta D_{31a}, \Delta D_{23a}, \Delta D_{32a}$
	Posizione 1b o 2b	Posizione 1a o 2a
Terra	11	11
Primo	17	17
Secondo	18	-
Terzo	15	-

Nota 5: le attenuazioni sono state ricavate, tramite simulazione software, considerando una distanza altoparlante-facciata pari a 5 m per il piano terra e il primo piano. Per i piani superiori al primo l'altoparlante deve essere posto ad una distanza dalla facciata pari all'altezza del centro della facciata dal piano del terreno. In tal caso la sorgente risulta posizionata frontalmente alla facciata e le posizioni 1a e 2a non sono previste.

Tabella 3 – Attenuazioni relative al tetto dovute alla diffrazione dell'edificio per il piano terra, primo piano, secondo piano e terzo piano

4. Esempio di calcolo

Si riporta di seguito un esempio di calcolo relativo ad ambienti d'angolo di dimensioni $L_1=4$ m, $L_2=5$ m e altezza 2,75 m, posti al piano terra, primo piano e secondo piano (senza tetto a vista).

Si considera come indice di valutazione del potere fonoisolante della parete opaca di facciata il valore $R_{wm} = 52$ dB mentre per il serramento il valore

$R_{vf} = 35$ dB. Entrambi i lati hanno una finestra di dimensioni 1.500 m x 1.250 m.

Si considerano inoltre un coefficiente di forma della facciata $\Delta L_s = 0$ e una perdita per trasmissioni laterali pari a 2 dB.

Applicando la formula (3) gli indici di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione del solo lato 1 e del

solo lato 2 risultano rispettivamente:

$$D_{2m,nT,w11} = 42.3 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w22} = 42.2 \text{ dB}$$

Per quanto riguarda le attenuazioni dovute alla diffrazione si considerano i valori riportati nella Tabella 1. Si riportano di seguito i calcoli dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, approssimati a una sola cifra con un decimale, relativi all'ambiente d'angolo posto al piano terra per le combinazioni della sorgente sonora 1a-2a, 1a-2b, 1b-2a, 1b-2b.

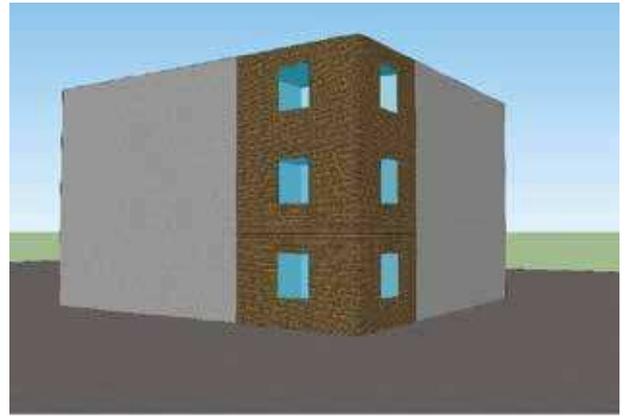


Figura 3 - Esempio di edificio con ambienti d'angolo

Combinazione 1a-2a:

$$D_{2m,nT,w1} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}} \right) = -10 \lg \left(10^{-\frac{42.3}{10}} + 10^{-\frac{42.2+0}{10}} \right) = 39.3 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}} \right) = -10 \lg \left(10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{42.3+0}{10}} \right) = 39.3 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = -10 \lg \left(\frac{10^{-\frac{D_{2m,nT,w1}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w2}}{10}}}{2} \right) = -10 \lg \left(\frac{10^{-\frac{39.3}{10}} + 10^{-\frac{39.3}{10}}}{2} \right) = 39.3 \text{ dB}$$

Combinazione 1a-2b:

$$D_{2m,nT,w1} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}} \right) = -10 \lg \left(10^{-\frac{42.3}{10}} + 10^{-\frac{42.2+0}{10}} \right) = 39.3 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10 \lg \left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}} \right) = -10 \lg \left(10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{42.3+15}{10}} \right) = 42.1 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = -10 \lg \left(\frac{10^{-\frac{D_{2m,nT,w1}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w2}}{10}}}{2} \right) = -10 \lg \left(\frac{10^{-\frac{39.3}{10}} + 10^{-\frac{42.1}{10}}}{2} \right) = 40.4 \text{ dB}$$

Combinazione 2a-1b:

$$D_{2m,nT,w1} = -10\lg\left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}}\right) = -10\lg\left(10^{-\frac{42.3}{10}} + 10^{-\frac{42.2+15}{10}}\right) = 42.2 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10\lg\left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}}\right) = -10\lg\left(10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{42.3+0}{10}}\right) = 39.3 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = -10\lg\left(\frac{10^{-\frac{D_{2m,nT,w1}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w2}}{10}}}{2}\right) = -10\lg\left(\frac{10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{39.3}{10}}}{2}\right) = 40.5 \text{ dB}$$

Combinazione 2a-1b:

$$D_{2m,nT,w1} = -10\lg\left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w11}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w22} + \Delta D_{21}}{10}}\right) = -10\lg\left(10^{-\frac{42.3}{10}} + 10^{-\frac{42.2+15}{10}}\right) = 42.2 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w2} = -10\lg\left(10^{-\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}}\right) = -10\lg\left(10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{42.3+15}{10}}\right) = 42.1 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = -10\lg\left(\frac{10^{-\frac{D_{2m,nT,w1}}{10}} + 10^{-\frac{D_{2m,nT,w2}}{10}}}{2}\right) = -10\lg\left(\frac{10^{-\frac{42.2}{10}} + 10^{-\frac{42.1}{10}}}{2}\right) = 42.1 \text{ dB}$$

Nella Tabella 4 si i riportano i risultati relativi al piano terra, primo piano e secondo piano.

Piano	$D_{2m,nT,w}$ 1a-2a	$D_{2m,nT,w}$ 1a-2b	$D_{2m,nT,w}$ 1b-2a	$D_{2m,nT,w}$ 1b-2b
Terra	39.3	40.4	40.5	42.1
Primo	40.1	40.9	41.0	42.0
Secondo	-	-	-	42.0

Tabella 4 – Risultati dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione per le diverse combinazioni di posizione della sorgente, per il piano terra, primo piano e secondo piano

Si può notare come al piano terra la combinazione 1b-2b fornisca un valore dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$, maggiore di quasi 3 dB rispetto alla combinazione 1a-2a. La combinazione 1a-2a risulta pertanto in favore di sicurezza.

Per quanto riguarda il secondo piano è presente solo la combinazione 1b-2b. 

* Nicola Granzotto, Edoardo Piana, Laboratorio di Acustica Applicata Università degli Studi di Brescia

Bibliografia

- [1] ISO 12354-3:2017 Building Acoustics. Estimation of Acoustic Performance of Buildings from the Performance of Elements—Part 3: Airborne Sound Insulation against Outdoor Sound.
- [2] ISO 16283-3:2016 Acoustics. Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements Façade Sound Insulation.
- [3] ISO 717-1:2020 Acoustics. Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements. Part 1: Airborne Sound Insulation.
- [4] Granzotto N., Piana E.A. Evaluation Method for Façade Acoustic Insulation for a Corner Room: Discussion on the Results Obtained as a Function of the Source Position. Applied Science 2020, 10(21), 7434. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/21/7434>