



1984 – 2024

ANIT

ASSOCIAZIONE NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO
TERMICO E ACUSTICO

6° Congresso Nazionale ANIT
21-22 novembre 2024

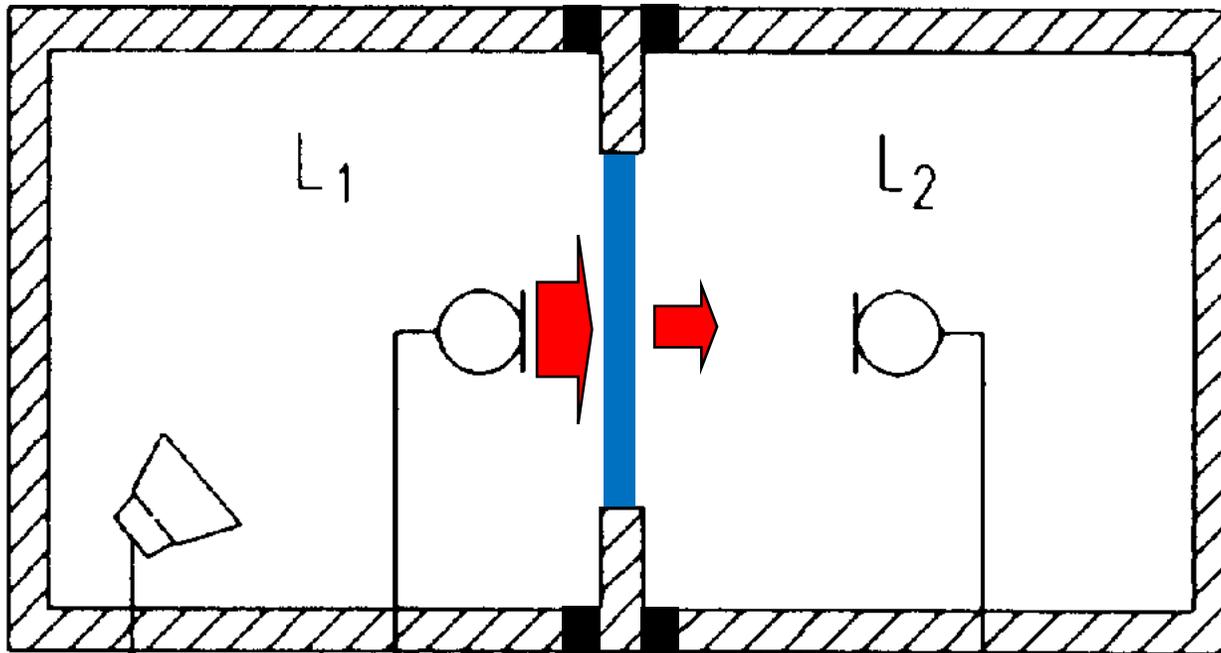
Misure in opera. Criticità e prospettive future per le misure di isolamento di facciata

Ing. Nicola Granzotto – UNI/CT 002/SC01/GL10

Diritti d'autore: la presentazione è proprietà intellettuale dell'autore e/o della società da esso rappresentata. Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore.

DEFINIZIONI PER LE MISURE IN LABORATORIO

Potere fonoisolante, R



R si determina
sperimentalmente da
misure in laboratorio
Serie UNI EN ISO 10140

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A_2)$$

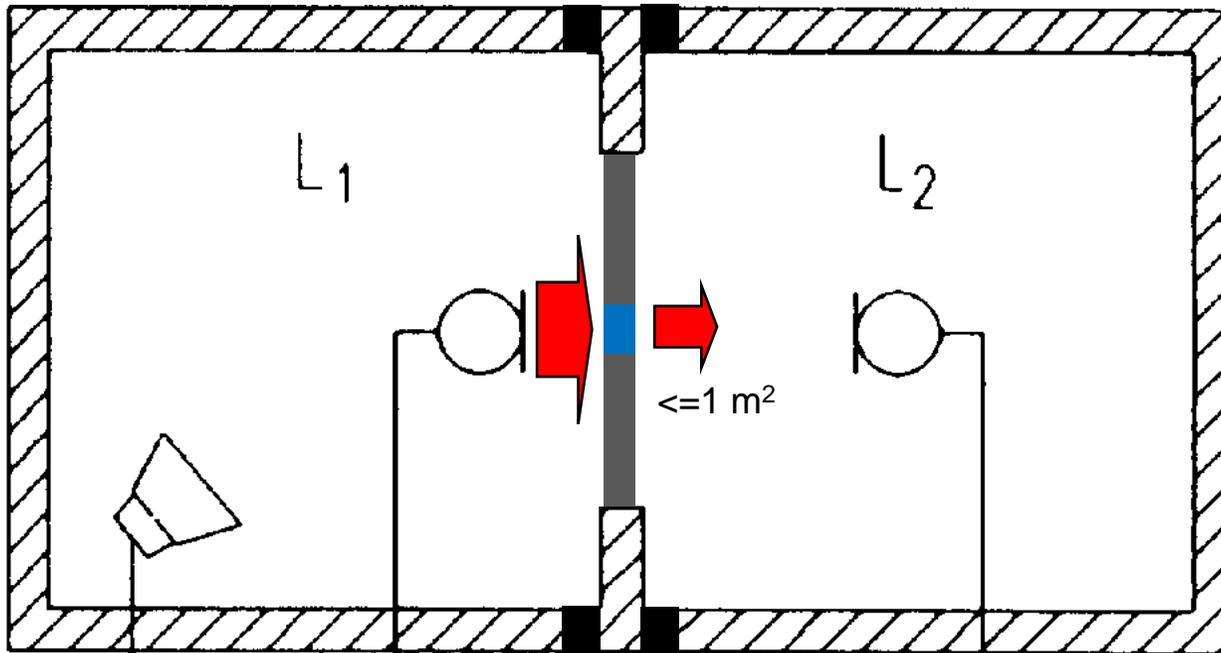
DEFINIZIONI PER LE MISURE IN LABORATORIO

Potere fonoisolante, R



DEFINIZIONI PER LE MISURE IN LABORATORIO

Isolamento acustico normalizzato di un piccolo elemento tecnico, $D_{n,e}$



$D_{n,e}$ si determina
sperimentalmente da
misure in laboratorio
Serie UNI EN ISO 10140

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 + 10 \lg(A_0/A_2)$$

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

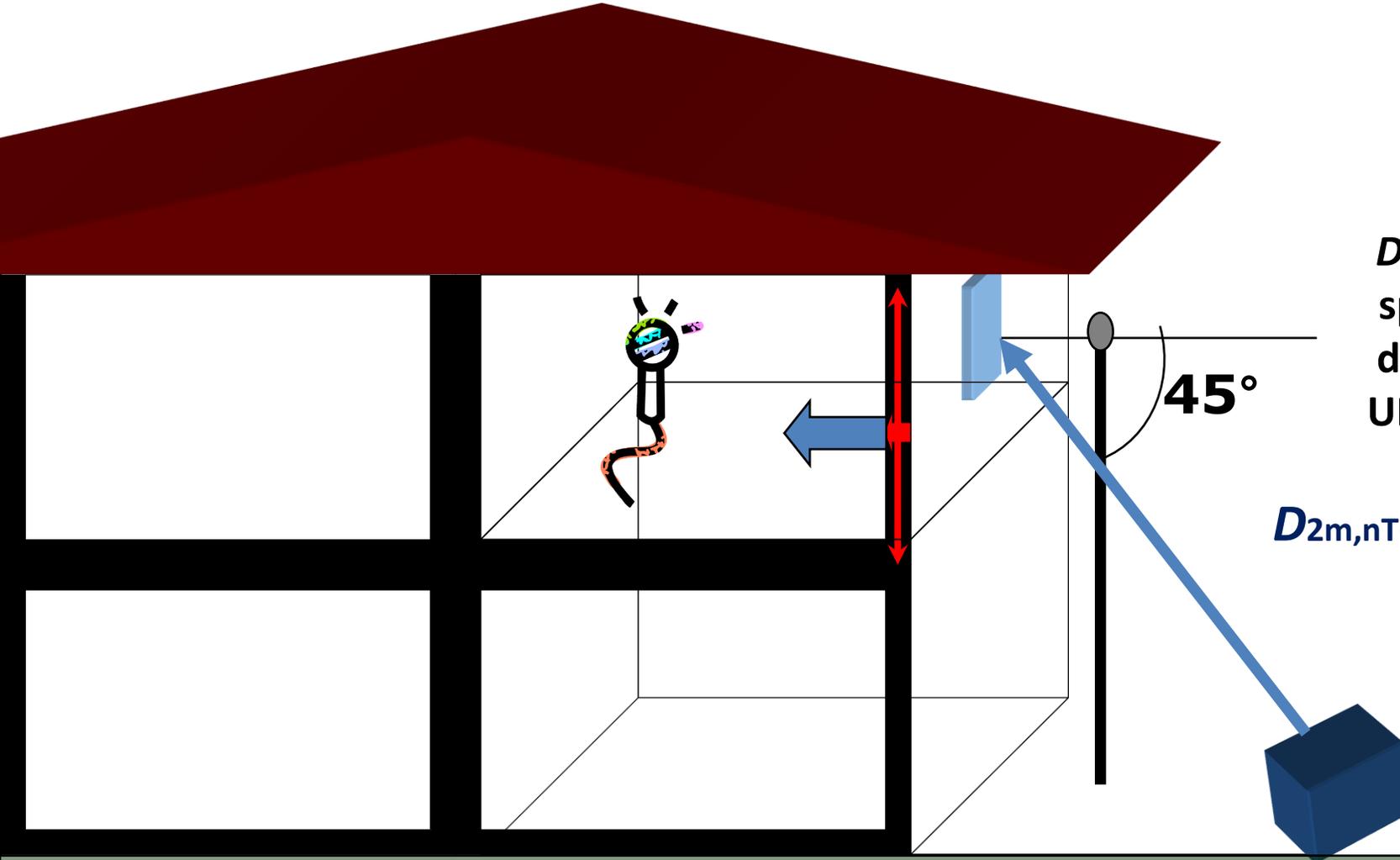
DEFINIZIONI PER LE MISURE IN LABORATORIO

Isolamento acustico normalizzato di un piccolo elemento tecnico, $D_{n,e}$



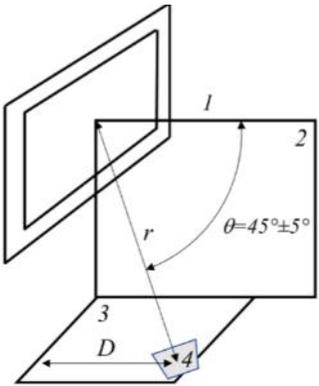
DEFINIZIONI PER LE MISURE IN OPERA

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT}$



$D_{2m,nT}$ si determina
sperimentalmente
da misure in opera
UNI EN ISO 16283-3

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg(T/T_0)$$



$$T_0 = 0.5 \text{ s}$$

DEFINIZIONI PER LE MISURE IN OPERA

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT}$



Calcolo «disassamento» della sorgente (da ISO 140-5 1978)

Posizioni dell'altoparlante

La posizione dell'altoparlante posto al suolo al punto Q (vedere figura), in relazione all'elemento, viene determinata dall'altezza h dell'elemento, dalla distanza d dell'altoparlante dalla facciata e dalla distanza laterale b .

L'angolo θ d'incidenza del suono è dato dalla formula:

$$\cos \theta = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2 + b^2}}$$

In sito, dati l'angolo d'incidenza θ l'altezza h e la distanza laterale b si può ottenere il valore della distanza d dalla formula:

$$d = \sqrt{\operatorname{ctg} \theta h^2 + b^2}$$

Viceversa, data l'altezza h e la distanza d , la distanza laterale b è data dalla formula:

$$b = \sqrt{d^2 \underbrace{\operatorname{tg}^2 \theta}_{=1} - h^2}$$

Piano	h	d	b
0	1.35	5	4.81
1	4.45	5	2.28
2	7.55	7.55	0
3	10.65	10.65	0
4	13.75	13.75	0

INDICI DI VALUTAZIONE

Indice di valutazione
del potere
fonoisolante

$$R \rightarrow R_w$$



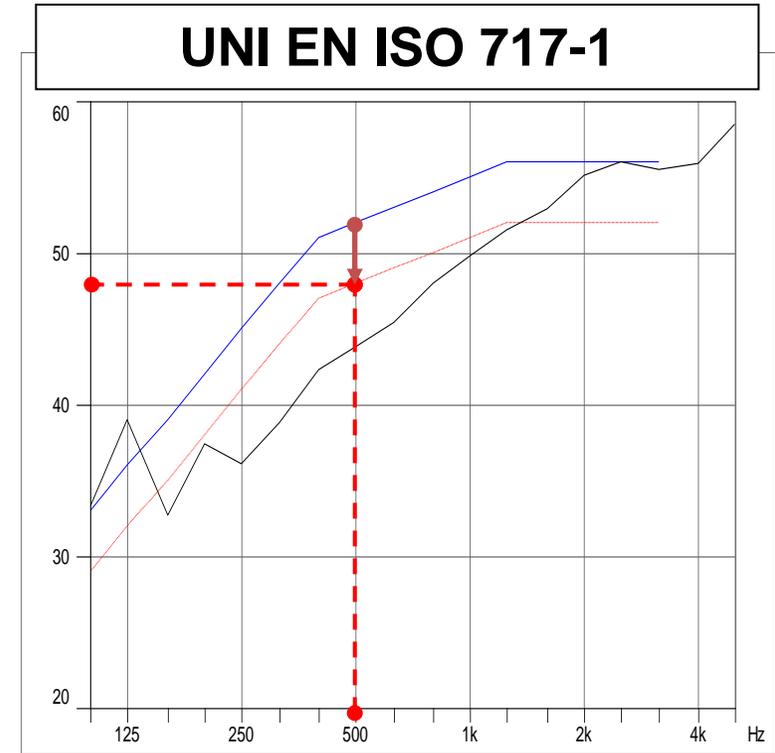
Indice di valutazione
del Isolamento
acustico normalizzato

$$D_{n,e} \rightarrow D_{n,e,w}$$



Indice di valutazione
dell'isolamento
acustico di facciata

$$D_{2m,nT} \rightarrow D_{2m,nT,w}$$

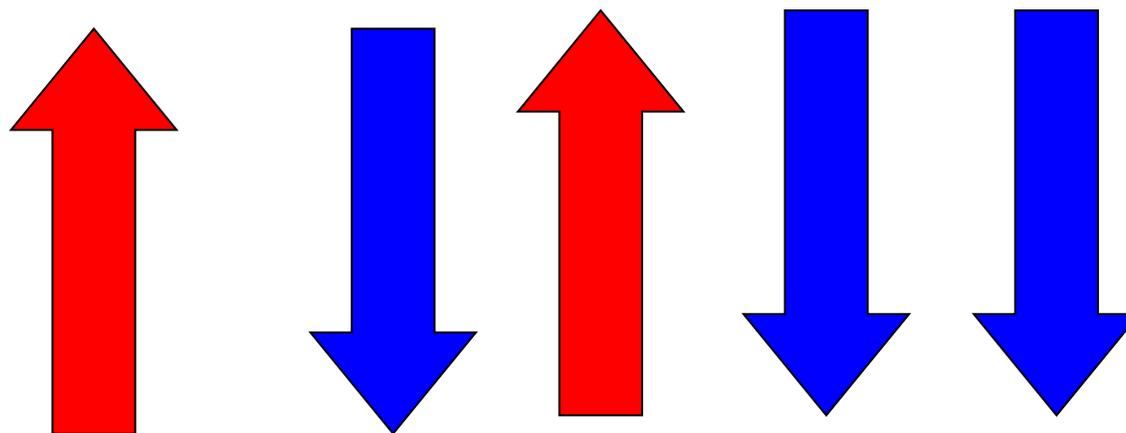


$$R_w, D_{n,e,w}, D_{2m,nT,w}$$

Più alto è il valore migliore è la prestazione della parete

DPCM 05/12/97
DM 23/06/22 (CAM), UNI 11367:2023

Categorie	Parametri				
	Rumore aereo R'_w	Rumore da calpestio $L'_{n,w}$	Rumore dall'esterno $D_{2m,nT,w}$	Impianti a funz. disc. L_{ASmax}	Impianti a funz. cont. L_{Aeq}
Ospedali	55	58	45	35	25
Residenza, alberghi	50	63	40	35	35
Scuole	50	58	48	35	25
Uffici, attività ricreative, commerciali	50	55	42	35	35



Ultimo aggiornamento decreto CAM: D.M. 23/06/2022

«Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l'affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi.

Il decreto contiene le prescrizioni di carattere ambientale da applicare negli **appalti pubblici**, che comprendono sia le caratteristiche che devono avere i **materiali** sia richieste sulla **prestazione finale degli edifici**.

Prestazioni e comfort acustici

I valori prestazionali dei requisiti acustici passivi dei **singoli elementi tecnici** dell'edificio, partizioni orizzontali e verticali, facciate, impianti tecnici, definiti dalla norma UNI 11367 corrispondono almeno a quelli della **classe II** del prospetto 1 di tale norma.

CLASSE	INDICI DI VALUTAZIONE / LIVELLI GLOBALI				
	$D_{2m,nT,w}$ dB	R'_w dB	$L'_{n,w}$ dB	L_{ic} dB(A)	L_{id} dB(A)
I	≥ 43	≥ 56	≤ 53	≤ 25	≤ 30
II	≥ 40	≥ 53	≤ 58	≤ 28	≤ 33
III	≥ 37	≥ 50	≤ 63	≤ 32	≤ 37
IV	≥ 32	≥ 45	≤ 68	≤ 37	≤ 42

La relazione CAM deve prevedere anche una relazione acustica di **calcolo previsionale redatta da un tecnico competente in acustica**; in fase di verifica finale della conformità deve essere prodotta una **relazione di collaudo basata su misure acustiche in opera eseguite da un tecnico competente in acustica**.

I singoli elementi tecnici di ospedali e case di cura soddisfano il livello di “prestazione superiore” riportato nel prospetto A.1 dell’Appendice A di tale norma.

prospetto A.1

Requisiti acustici di ospedali, case di cura e scuole

	Prestazione di base	Prestazione superiore
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$ [dB]	38	43
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di differenti unità immobiliari, R'_w [dB]	50	56
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari, L'_{nw} [dB]	63	53
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, L_{ic} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	32	28
Livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, L_{id} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	39	34
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	50	55
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	45	50
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, L'_{nw} [dB]	63	53

Norme per la progettazione acustica

NORME PER LA PROGETTAZIONE ACUSTICA IN EDILIZIA

Serie UNI EN ISO 12354 e UNI 11175-1

Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti.

UNI EN ISO 12354-1:2017 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti – Parte 1: Isolamento dal rumore per via aerea tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-2:2017 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 2: Isolamento acustico al calpestio tra ambienti.

UNI EN ISO 12354-3:2017 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti - Parte 3: Isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno per via aerea.

UNI EN 12354-5:2023 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di elementi - Parte 5: Livelli sonori dovuti agli impianti

UNI EN 12354-6:2006 Acustica in edilizia - Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti - Parte 6: Assorbimento acustico in ambienti chiusi

UNI 11175-1:2024 Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale - Parte 1: metodo di calcolo semplificato basato su grandezze a numero unico

UNI 11175-2:2024

Acustica in edilizia - Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale - Parte 2: Dati di ingresso per il modello di calcolo

Calcolo dell'isolamento di facciata a partire dalle misure effettuate in laboratorio (UNI EN ISO 12354-3, UNI 11175-1)

L'isolamento di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione viene calcolato secondo la norma UNI EN ISO 12354-3:

$$D_{2m,nT} = R + K + \Delta L_{fs} + 10 \lg \left(C_{Sab} \frac{V}{T_0 S} \right) \text{ [dB]}$$

dove:

R è il potere fonoisolante della facciata [dB] composta da diversi elementi;

K è un termine che tiene conto delle trasmissioni laterali (per elementi rigidi può essere fissato pari a -2, negli altri casi pari a 0);

C_{sab} è la costante di Sabine $C_{sab} = 0,16 \text{ s/m}$;

V è il volume dell'ambiente ricevente [m^3];

S è l'area totale della facciata vista dall'interno [m^2];

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 s;

ΔL_{fs} è la differenza di livello di pressione sonora dovuta alla forma della facciata [dB].

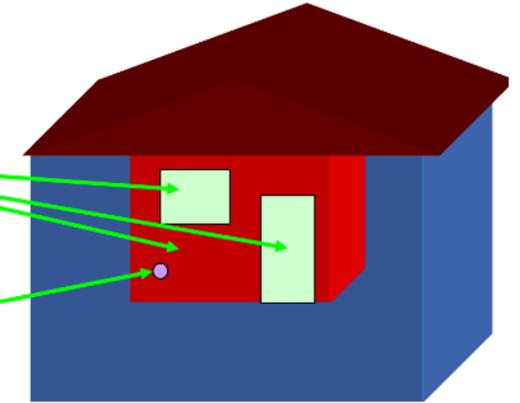
$$R = -10 \lg \tau \text{ [dB]}$$

$$\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i$$

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

$$\tau_{e,i} = \frac{A_0}{S} 10^{-D_{n,e,i}/10}$$

$A_0 = 10 \text{ m}^2$



ΔL_b	1 facciata piana	2 ballatoio	3 ballatoio	4 ballatoio	5 ballatoio
dB					
Assorbimento del tetto (α_w) \Rightarrow	Non applicabile	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$			
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	
				Ringhiera aperta	Ringhiera chiusa
Assorbimento del tetto (α_w) \Rightarrow	$\leq 0,3$ 0,6 $\geq 0,9$				
Orizzonte visivo sulla facciata <1,5 m	-1 -1 0	0 0 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

Casi particolari

UNI CT 002/SC 01/GL 10, "Misura delle prestazioni acustiche di elementi di edificio"

Evaluation Method for Façade Acoustic Insulation for a Corner Room: Discussion on the Results Obtained as a Function of the Source Position

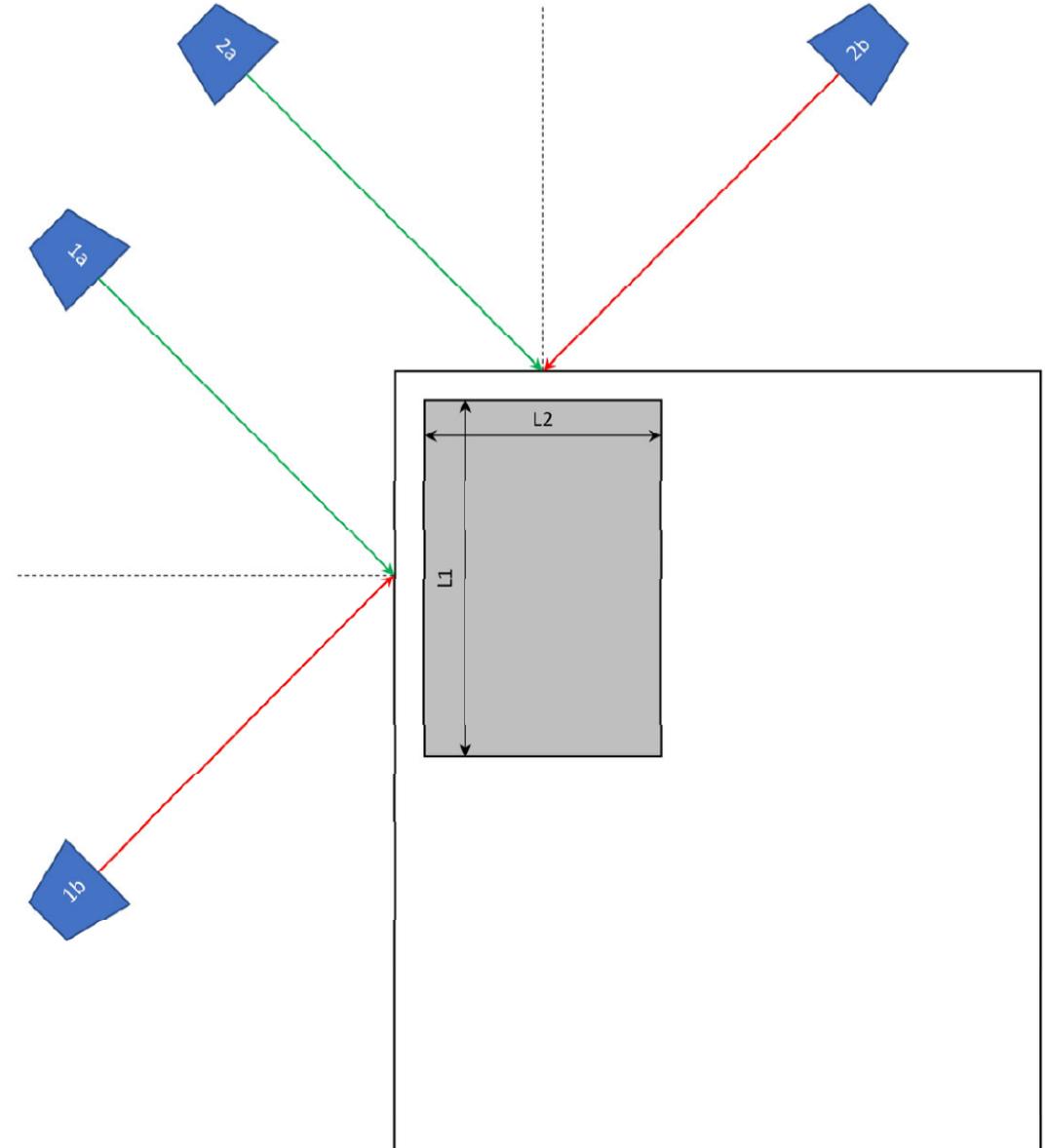
Nicola Granzotto, Edoardo Alessio Piana

doi.org/10.3390/app10217434

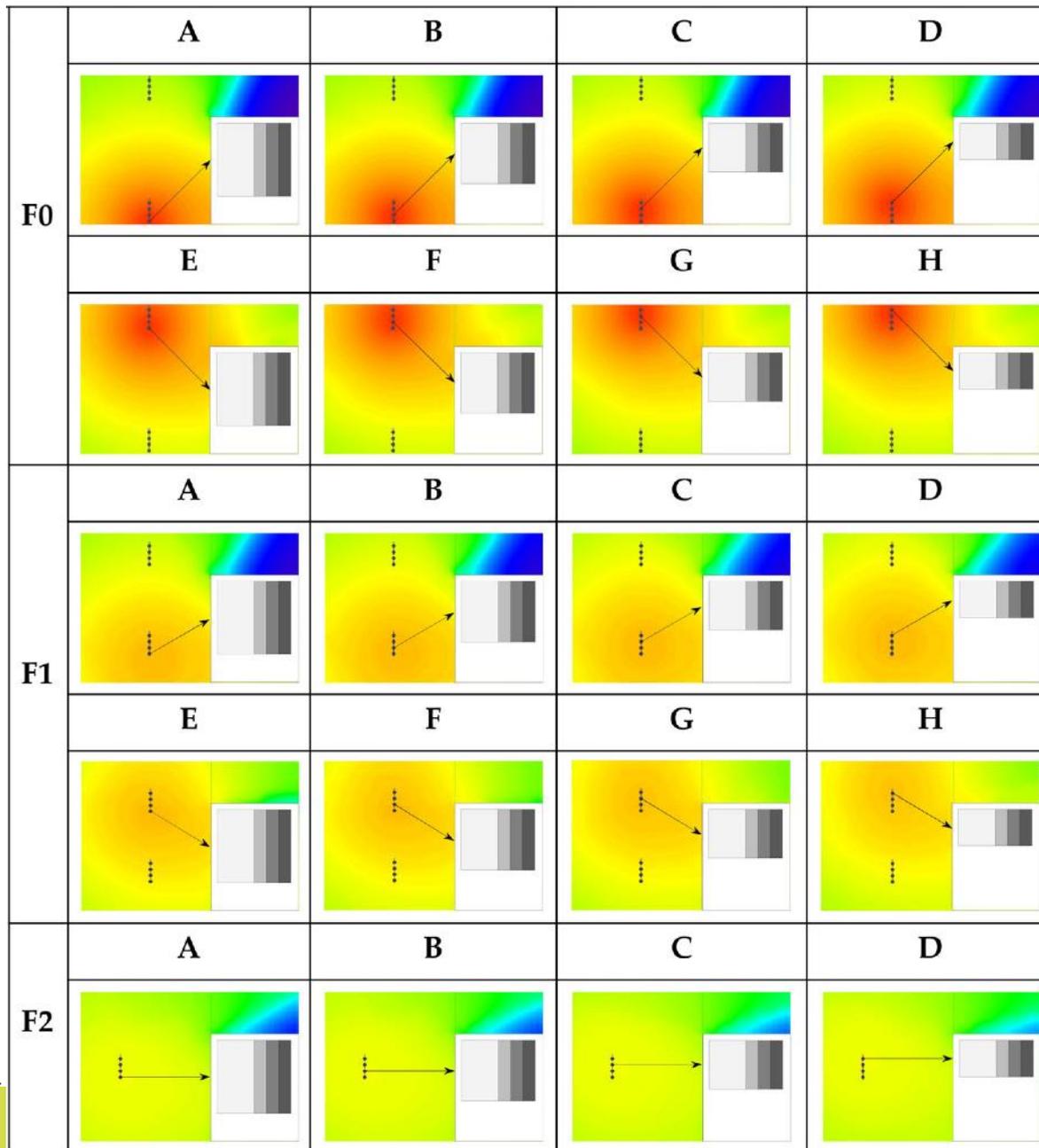
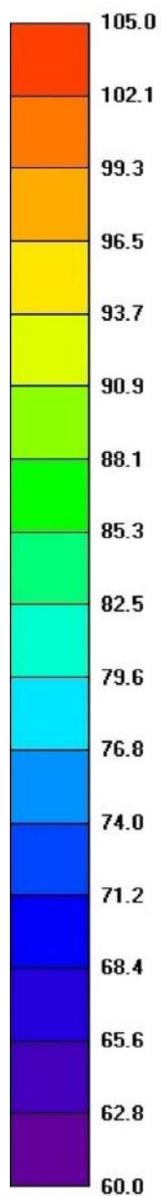
Determinazione dell'isolamento acustico di facciata per ambienti d'angolo

Quando si utilizzano posizioni diverse della sorgente sonora, ad esempio quando si valuta l'isolamento acustico di un ambiente d'angolo, la norma UNI EN ISO 16283-3 indica che il risultato combinato deve essere calcolato secondo la seguente formula:

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



Attenuazione acustica dovuta allo spigolo di un edificio



Ambiente d'angolo con 2 facce

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

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

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

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

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;

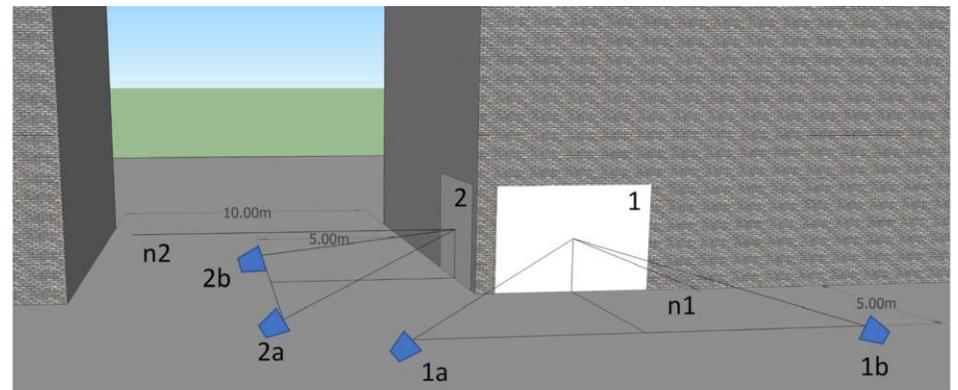
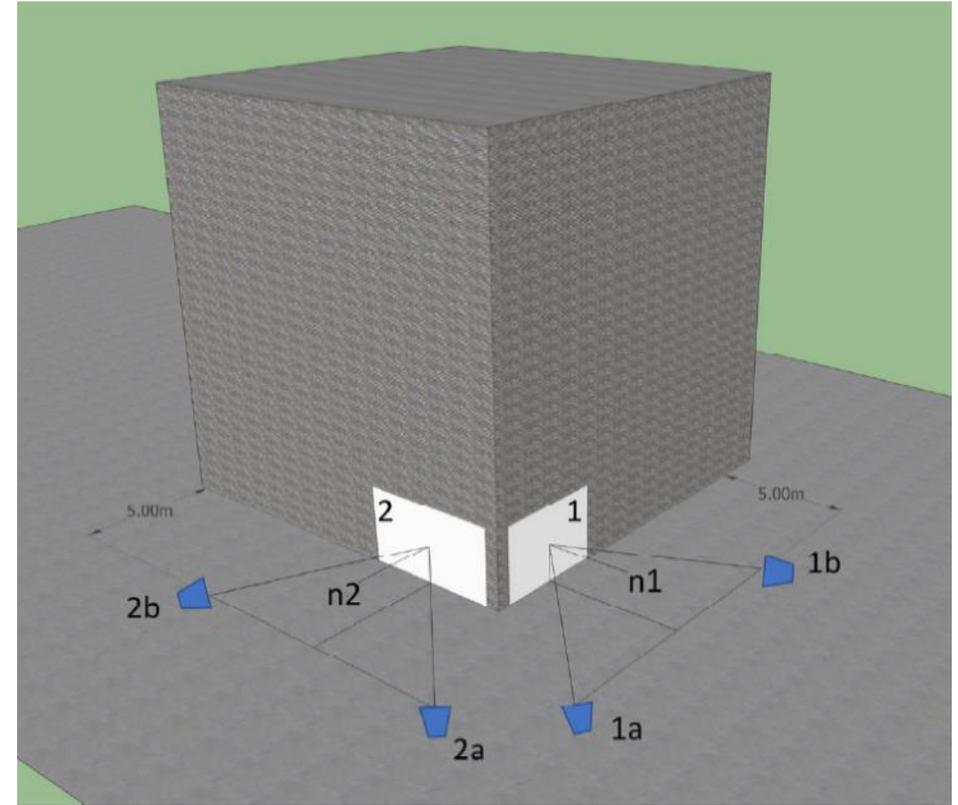
$D_{2m,nT,w11}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata del solo lato 1 con l'altoparlante in posizione 1;

$D_{2m,nT,w22}$ 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;

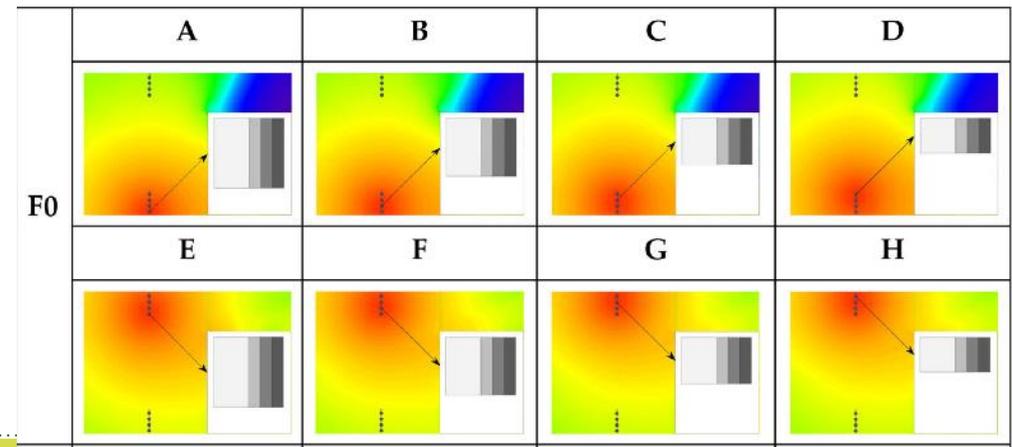
$D_{2m,nT,w}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata complessivo.



Ambiente d'angolo con 2 facce

	A (1b)	B (1b)	C (1b)	D (1b)	E (1a)	F (1a)	G (1a)	H (1a)
	$3 \times 6-6 \times 6$	$3 \times 5-6 \times 5$	$3 \times 4-6 \times 4$	$3 \times 3-6 \times 3$	$3 \times 6-6 \times 6$	$3 \times 5-6 \times 5$	$3 \times 4-6 \times 4$	$3 \times 3-6 \times 3$
F0	21.1-22.7	20.8-22.4	20.5-22.1	20.4-22.0	1.1-2.5	0.4-1.9	1.6-2.3	1.2-2.0
	16.9-15.7	18.7-16.9	18.5-16.5	18.3-16.7	1.0-2.3	0.5-1.8	1.3-2.1	0.7-1.6
F1	19.8-21.4	19.3-20.8	18.7-20.3	18.0-19.5	11.5-12.8	4.2-6.1	3.1-3.8	2.3-3.2
	14.4-13.5	14.0-13.1	13.5-12.9	12.8-12.4	10.9-10.8	4.1-5.5	3.0-3.5	2.2-3.0
F2	14.8-16.0	14.4-15.6	13.8-15.1	13.2-14.4	-	-	-	-
	13.3-13.4	13.3-13.9	12.6-13.2	12.5-13.2	-	-	-	-
F3	14.3-14.7	13.2-14.2	13.2-14.4	12.7-13.8	-	-	-	-
	12.6-13.3	12.0-12.7	11.9-12.6	11.5-12.1	-	-	-	-

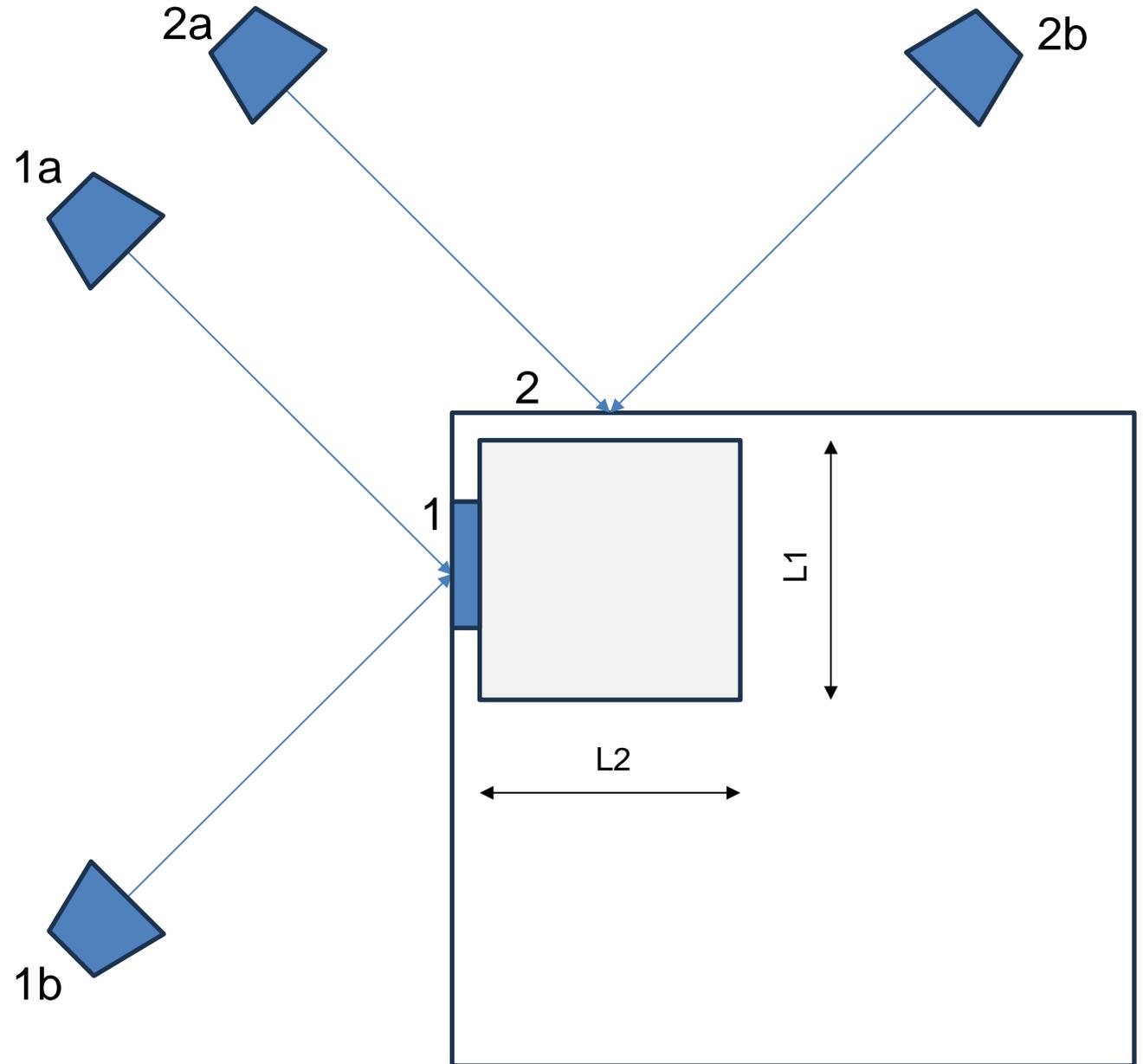
Piano	$\Delta D_{12b} = \Delta D_{21b}$ Posizione 1b o 2b	$\Delta D_{12a} = \Delta D_{21a}$ Posizione 1a o 2a
Terra	15	0
Primo	12	2
Secondo	12	Non prevista
Terzo	11	Non prevista



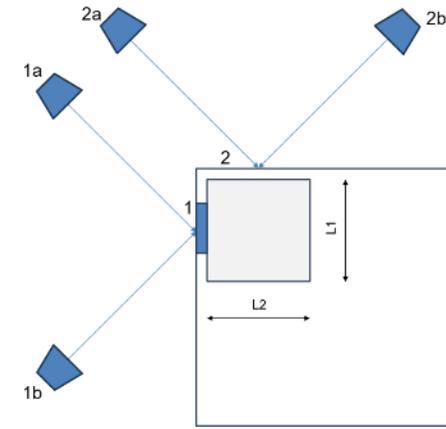
Esempio - Ambiente d'angolo con 2 facce

L1	4	m
L2	4	m
h	2.7	m
S fin	2.5	m ²
V	43.2	m ³
Rm	48	dB
Rf	36	dB

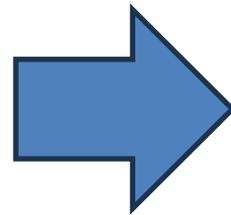
Facciata 1 con finestra



Esempio - Ambiente d'angolo con 2 facce



$L1$	4	m
$L2$	4	m
h	2.7	m
S_{fin}	2.5	m ²
V	43.2	m ³
R_m	48	dB
R_f	36	dB



Facciata 1 con finestra

$D_{2m,nT11}$	40.6	dB
$D_{2m,nT22}$	47.1	dB

PIANO TERRA	1a-2a	1a-2b	1b-2a	1b-2b
ΔD_{21}	0	0	15	15
ΔD_{12}	0	15	0	15
$D_{2m,nT,w2}$	39.7	39.7	40.6	40.6
$D_{2m,nT,w1}$	39.7	46.5	39.7	46.5
$D_{2m,nT,w}$	39.7	41.9	40.1	42.6
PRIMO PIANO				
ΔD_{21}	2	2	12	12
ΔD_{12}	2	12	2	12
$D_{2m,nT,w2}$	40.0	40.0	40.5	40.5
$D_{2m,nT,w1}$	41.3	46.0	41.3	46.0
$D_{2m,nT,w}$	40.6	42.1	40.9	42.5

Ambiente d'angolo con 2 facce (parete+tezzo)

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:

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

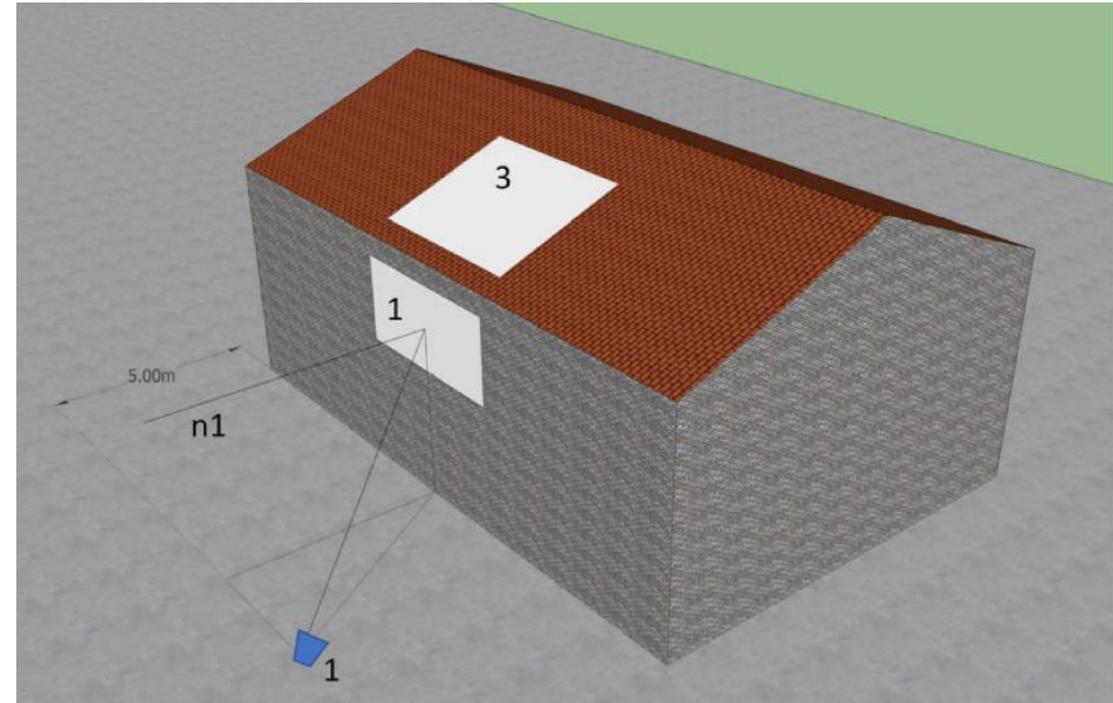
dove:

$D_{2m,nT,w33}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento di facciata del solo lato 3 (tezzo) senza attenuazione;

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

Per inclinazioni del tetto minori o uguali al 40% si possono utilizzare le attenuazioni riportate nel prospetto 4.

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



	Es. 1	Es. 2	Es. 3	Es. 4	
$D_{2m,nT,w11}$	40	40	40	40	dB
$D_{2m,nT,w33}$	40	36	40	36	dB
ΔD_{31}	10	10	0	0	dB
$D_{2m,nT,w}$	40	39	37	35	dB

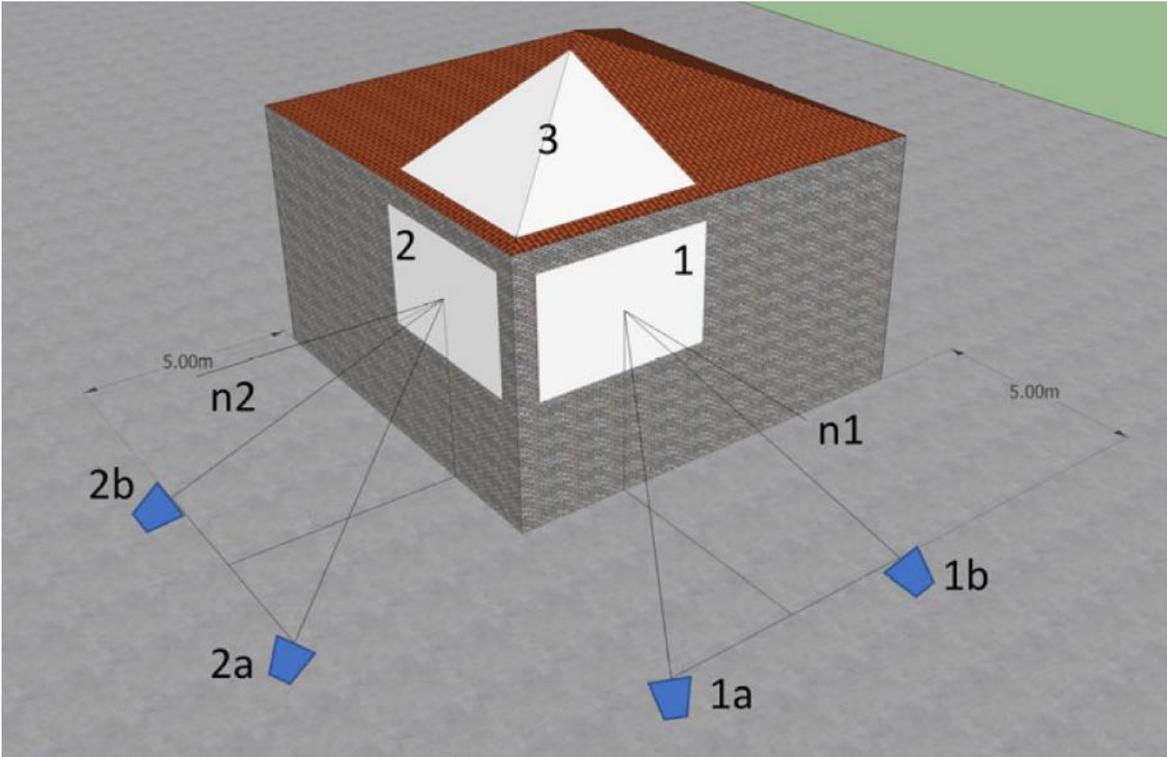
Ambiente d'angolo con 3 facce (due pareti + tetto)

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:

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

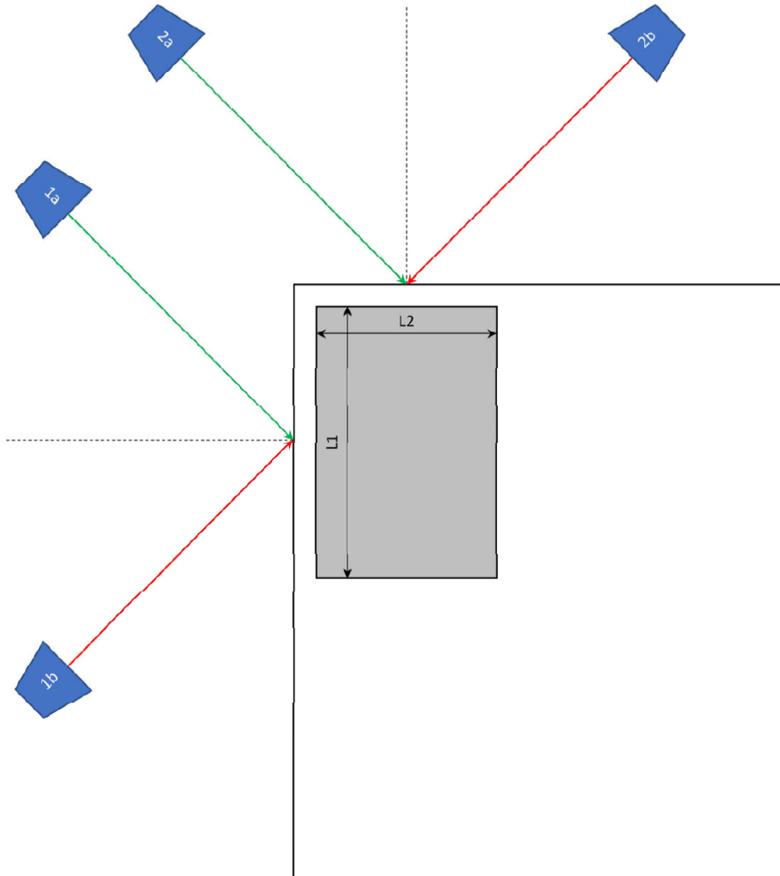
$$D_{2m,nT,w2} = -10 \lg \left(10^{\frac{D_{2m,nT,w22}}{10}} + 10^{\frac{D_{2m,nT,w11} + \Delta D_{12}}{10}} + 10^{\frac{D_{2m,nT,w33} + \Delta D_{32}}{10}} \right)$$

- 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 (20).



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

Misure e previsione

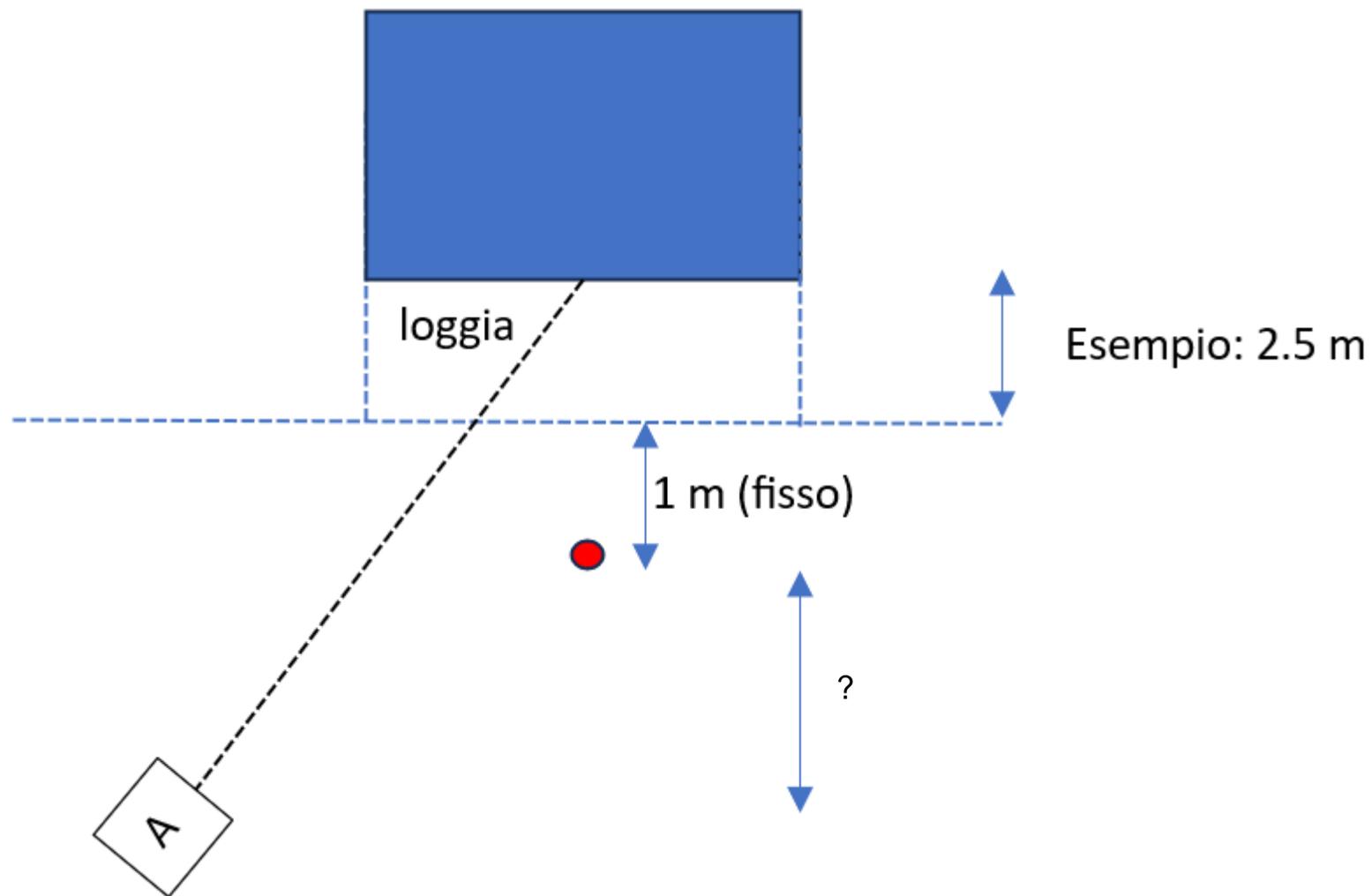


	1a-2a	1a-2b	1b-2a	1b-2b
Measurements according to ISO 16283-3	36.2	37.3	37.0	38.0
Predictions-proposed method (simulated attenuations)	36.0	37.2	36.7	38.1

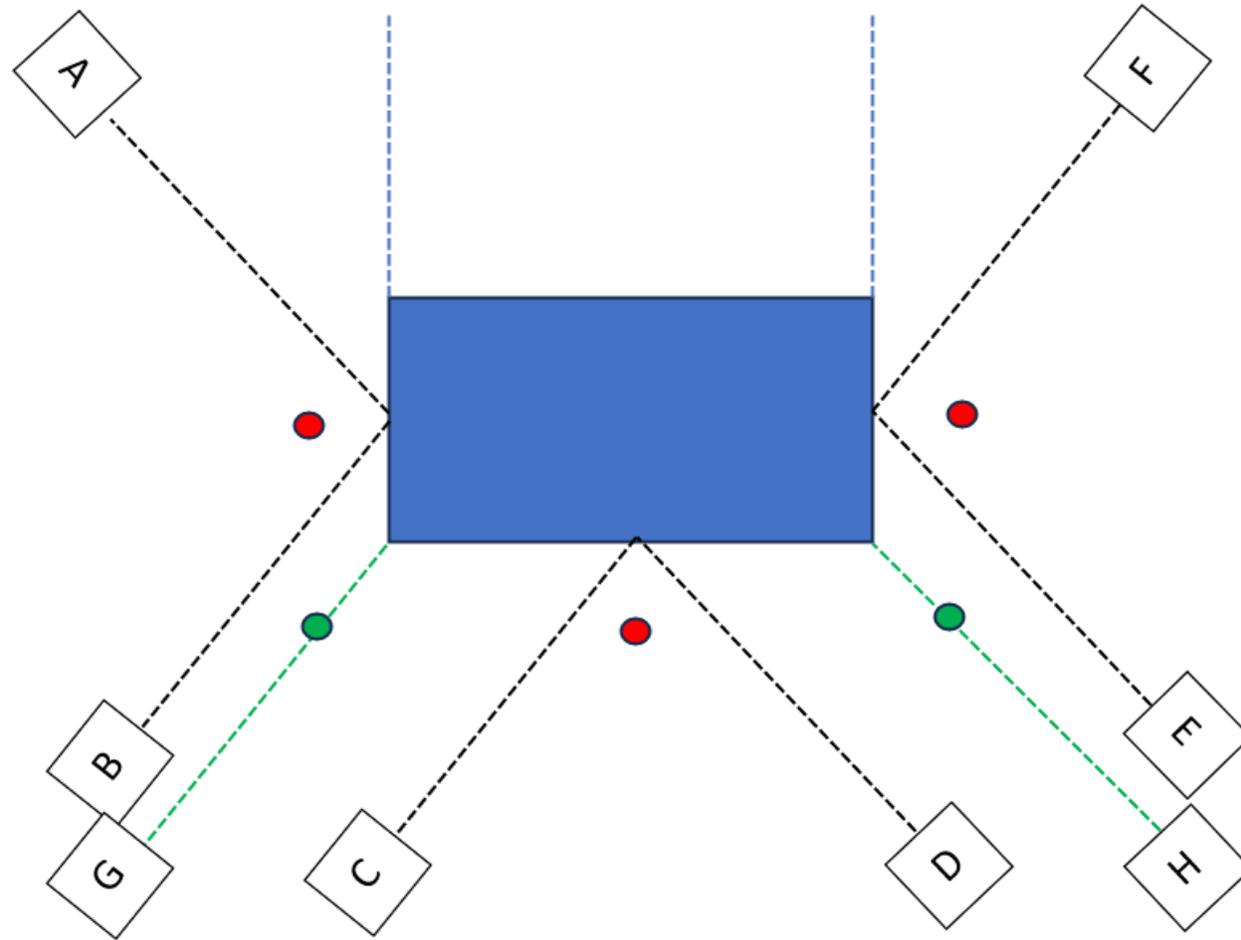
Casi particolari

Esempi

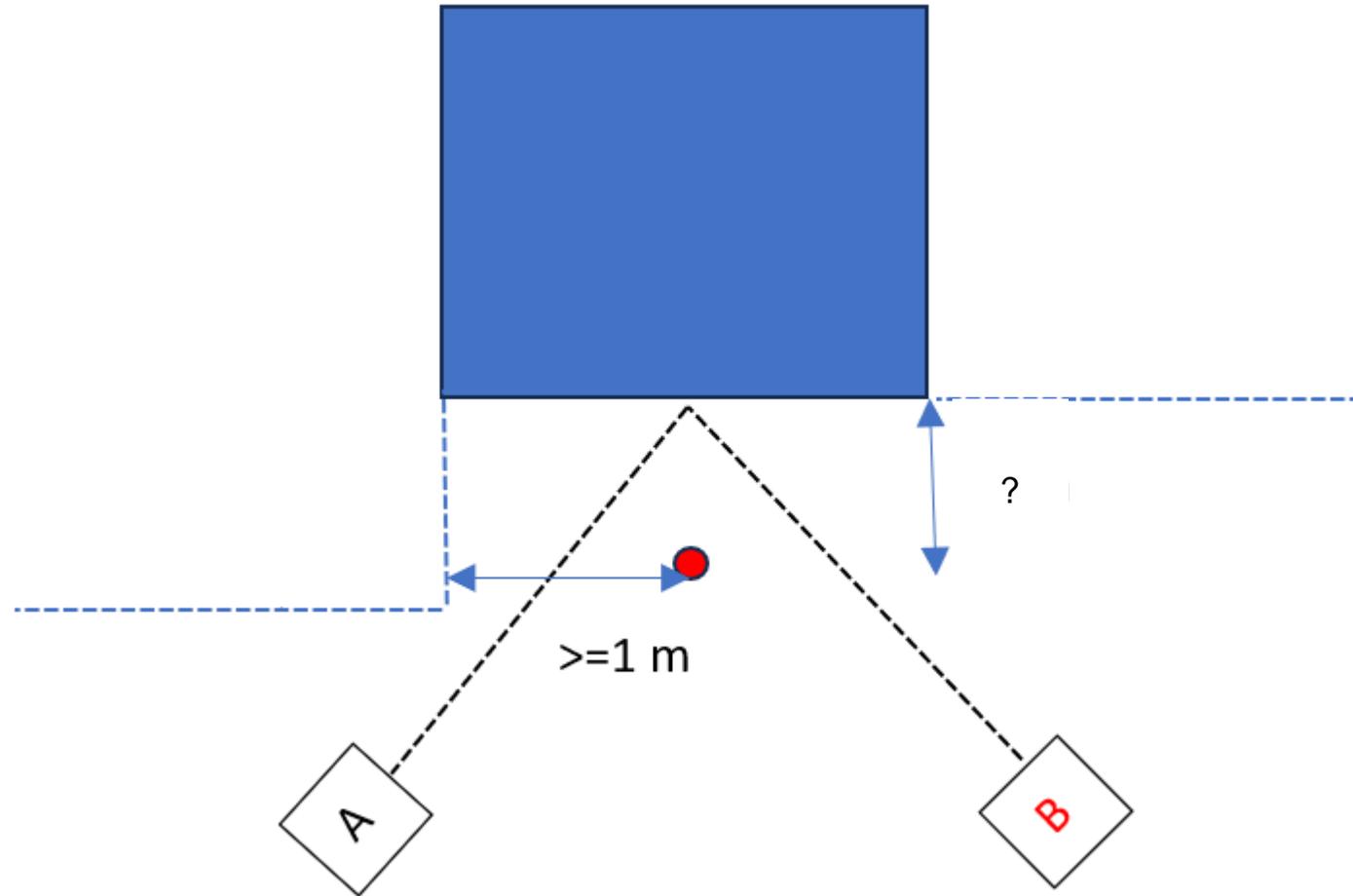
Casi particolari



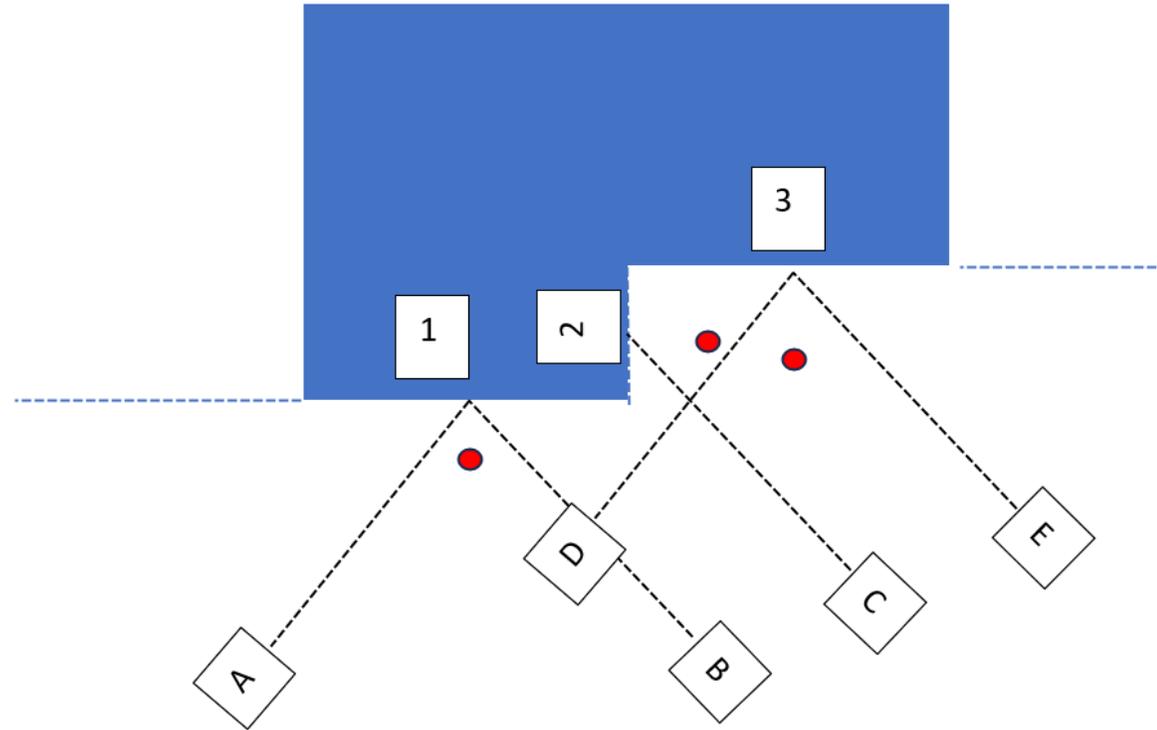
Casi particolari



Casi particolari



Casi particolari



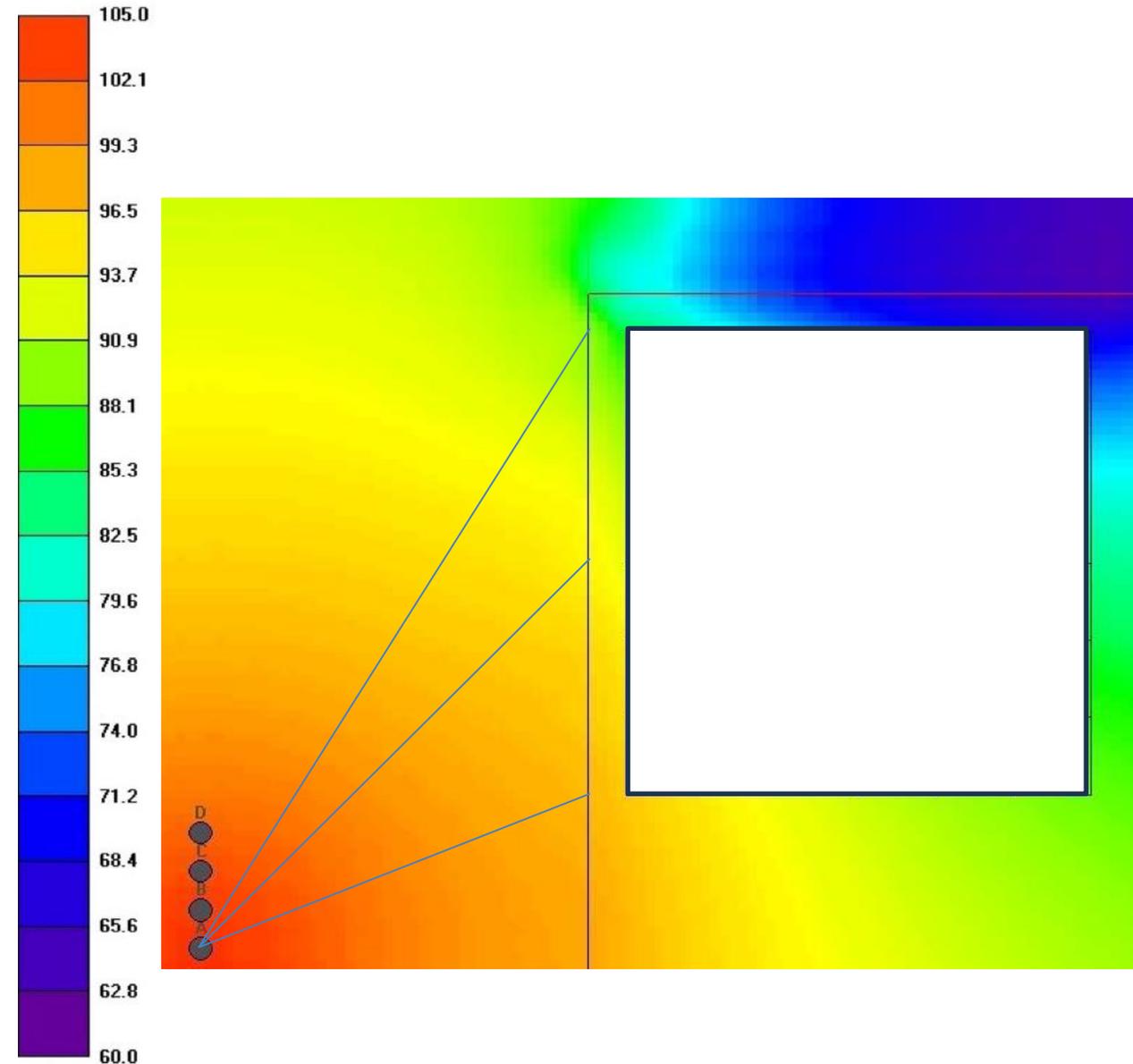
Casi particolari

Requisiti dell'altoparlante

La direttività dell'altoparlante in campo libero deve essere tale che le differenze locali di livello di pressione sonora, misurate su una superficie immaginaria con le stesse dimensioni e orientamento del provino, risultino minori di 5 dB per ogni banda di frequenza di interesse.

Se le dimensioni del provino sono maggiori di 5 m possono essere accettate differenze fino a 10 dB.

In alternativa si può utilizzare un altoparlante che soddisfa i requisiti di direttività nell'appendice C.



Measurement of Sound Insulation of Windows in the field NORDTEST

PROJECT 556-85

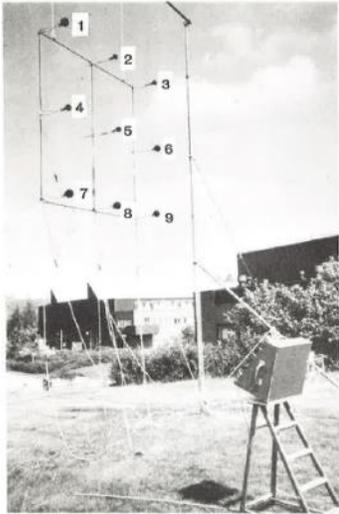


FIGURE 2.5

View over the arrangements for sound measurements in a free-field over a reflecting plane.

$r = 10 \text{ m}$ $\theta = 45^\circ$
 $b = 7 \text{ m}$ $d = 7,1 \text{ m}$ $h = 1,3 \text{ m}$

Frekvens	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10	Medel 1-9	Sigma Delta 1-9 max
50 Hz	58.9	60.9	66.7	65.1	62.0	58.0	55.7	63.5	71.9	0.0	66.4	3.9
63 Hz	55.5	59.4	59.4	58.4	55.2	58.5	60.4	59.9	64.9	0.0	60.5	1.9
80 Hz	62.0	61.5	61.9	61.9	62.1	61.3	62.6	53.2	64.4	0.0	62.4	1.0
100 Hz	65.5	65.7	66.4	67.4	66.8	66.4	67.4	67.5	67.4	0.0	66.9	.6
125 Hz	70.4	69.1	69.5	70.9	70.4	70.1	72.0	71.0	71.1	0.0	70.5	.9
160 Hz	73.1	72.0	73.0	74.5	73.5	73.3	75.2	74.8	74.5	0.0	73.9	1.0
200 Hz	74.9	73.4	74.1	75.8	75.4	74.7	76.1	75.1	75.7	0.0	75.2	.9
250 Hz	76.3	74.5	75.2	76.7	76.4	75.7	77.9	77.8	77.0	0.0	76.5	1.1
315 Hz	76.7	75.3	75.4	77.2	76.4	76.0	78.4	78.1	78.2	0.0	77.0	1.2
400 Hz	77.3	75.4	75.5	77.5	75.7	75.3	78.4	77.2	77.3	0.0	76.8	1.1
500 Hz	76.5	75.4	75.1	77.1	76.0	73.9	76.5	74.7	74.9	0.0	75.7	1.0
630 Hz	74.1	73.3	74.1	75.1	74.4	72.5	70.4	68.9	67.9	0.0	72.9	2.5
800 Hz	74.9	72.7	72.8	73.0	72.6	71.4	66.1	65.3	63.6	0.0	71.6	4.1
1000 Hz	75.4	73.5	73.6	72.9	72.4	71.2	66.7	65.3	65.0	0.0	72.0	3.9
1250 Hz	77.0	75.3	75.5	75.0	74.5	73.1	69.5	68.0	68.0	0.0	73.9	3.5
1600 Hz	76.4	74.9	74.9	76.0	75.6	73.7	71.3	69.5	69.3	0.0	74.2	2.8
2000 Hz	76.6	75.7	75.7	78.1	77.9	75.9	74.9	72.8	72.9	0.0	76.0	1.9
2500 Hz	74.0	73.0	73.1	76.6	76.4	74.6	74.6	72.4	73.3	0.0	74.5	1.5
3150 Hz	73.3	72.4	72.0	75.4	75.9	74.3	76.4	74.2	75.5	0.0	74.8	1.7
4000 Hz	75.8	75.3	74.7	75.0	75.4	73.5	78.9	77.5	82.1	0.0	77.3	2.6
5000 Hz	75.1	74.7	74.0	74.8	74.8	71.8	77.3	76.9	83.0	0.0	77.1	3.1

$r = 15 \text{ m}$ $\theta = 45^\circ$
 $b = 10,5 \text{ m}$ $d = 10,6 \text{ m}$ $h = 1,3 \text{ m}$

Frekvens	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10	Medel 1-9	Sigma Delta 1-9 max
50 Hz	56.2	62.3	61.0	60.9	57.0	56.8	56.4	57.4	57.2	0.0	59.0	2.3
63 Hz	54.3	60.3	59.1	58.3	55.0	56.2	55.4	56.9	58.3	0.0	57.5	2.0
80 Hz	59.5	60.2	62.1	64.5	62.8	61.9	61.6	67.1	64.5	0.0	63.3	2.4
100 Hz	65.4	64.9	64.9	65.9	65.9	65.1	66.3	66.6	66.0	0.0	65.7	.6
125 Hz	68.7	67.7	68.6	70.0	69.4	69.4	69.7	70.1	69.7	0.0	69.3	.8
160 Hz	73.5	72.9	73.6	74.6	74.3	74.5	75.2	75.9	75.4	0.0	74.5	1.0
200 Hz	74.7	73.3	73.7	75.7	74.7	73.7	75.8	75.7	75.1	0.0	74.8	1.0
250 Hz	75.2	73.3	74.1	75.8	74.9	74.3	77.0	76.6	76.4	0.0	75.4	1.3
315 Hz	75.9	74.9	75.2	75.9	75.6	75.6	77.0	77.5	77.8	0.0	76.3	1.0
400 Hz	76.9	74.7	74.7	76.5	74.9	74.4	76.5	75.7	76.0	0.0	75.7	.9
500 Hz	74.8	74.0	74.1	74.7	73.9	72.3	73.0	71.5	72.4	0.0	73.5	1.2
630 Hz	73.7	72.5	73.4	72.5	71.5	70.4	66.2	64.4	62.4	0.0	71.1	4.2
800 Hz	74.4	73.1	73.5	71.7	71.1	70.9	63.3	62.6	61.6	0.0	71.1	5.1
1000 Hz	73.4	72.5	73.1	70.9	71.0	70.5	63.8	63.0	63.1	0.0	70.6	4.4
1250 Hz	74.0	73.0	73.4	72.0	71.9	71.9	65.6	65.0	65.0	0.0	71.4	3.8
1600 Hz	74.4	73.0	73.3	73.0	72.7	72.0	67.0	66.4	66.8	0.0	71.8	3.2
2000 Hz	76.3	75.4	75.6	75.5	75.4	74.9	71.0	69.5	70.4	0.0	74.4	2.7
2500 Hz	74.8	74.2	74.5	74.9	74.9	74.3	71.2	69.4	71.2	0.0	73.6	2.1
3150 Hz	74.6	74.5	74.7	76.3	75.3	73.3	71.4	74.9	0.0	74.8	1.5	
4000 Hz	74.5	74.7	78.7	79.4	77.4	76.6	75.4	81.1	0.0	77.5	2.4	
5000 Hz	72.5	72.2	72.8	76.6	77.8	75.5	75.1	75.3	82.1	0.0	76.8	3.1

$r = 6,6 \text{ m}$ $\theta = 45^\circ$
 $b = 0 \text{ m}$ $d = 4,7 \text{ m}$ $h = 4,7 \text{ m}$

Frekvens	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10	Medel 1-9	Sigma Delta 1-9 max
50 Hz	58.3	59.9	57.7	58.7	59.0	58.5	59.0	59.1	59.4	0.0	58.9	.6
63 Hz	61.4	60.2	59.6	61.0	62.1	61.0	62.4	62.8	62.7	0.0	61.6	1.1
80 Hz	65.9	65.2	65.8	66.7	66.8	66.8	68.6	68.0	0.0	67.0	1.2	
100 Hz	69.7	69.9	70.3	71.5	70.7	70.7	72.4	73.1	72.7	0.0	71.4	1.3
125 Hz	73.1	72.9	72.9	74.6	74.5	74.9	76.0	76.0	75.9	0.0	74.7	1.3
160 Hz	75.3	75.0	75.2	77.5	77.1	76.4	78.5	78.7	78.0	0.0	77.1	1.4
200 Hz	74.2	73.5	74.1	76.5	75.8	76.1	78.2	78.4	78.0	0.0	76.4	1.9
250 Hz	72.6	72.9	73.4	74.7	74.7	75.0	76.5	76.6	76.6	0.0	75.0	1.6
315 Hz	78.5	78.3	78.7	78.4	79.1	78.8	78.7	79.5	79.1	0.0	78.8	.4
400 Hz	81.9	81.8	81.8	82.1	82.4	81.9	81.2	82.1	82.0	0.0	81.5	.3
500 Hz	84.0	83.9	84.3	84.7	84.8	84.2	84.0	84.0	83.8	0.0	84.2	.4
630 Hz	83.3	83.3	83.5	83.8	84.3	83.9	83.9	84.1	83.6	0.0	83.8	.3
800 Hz	83.2	83.1	83.2	84.4	84.7	84.6	84.7	85.1	84.9	0.0	84.3	.8
1000 Hz	81.9	81.5	81.5	83.4	83.2	82.9	84.0	84.5	84.4	0.0	83.2	1.2
1250 Hz	81.1	81.0	81.2	82.3	82.9	82.3	83.7	84.0	83.7	0.0	82.6	1.2
1600 Hz	81.3	81.4	80.9	82.1	82.6	81.9	82.7	83.4	82.7	0.0	82.2	.8
2000 Hz	82.1	82.7	82.1	83.1	84.4	83.2	83.1	84.2	83.9	0.0	83.3	.9
2500 Hz	75.6	80.4	79.6	80.7	82.0	80.5	80.9	81.6	81.9	0.0	80.9	.9
3150 Hz	78.9	80.0	79.3	80.4	82.0	80.0	80.7	81.0	82.7	0.0	80.7	1.2
4000 Hz	80.8	82.1	81.4	82.6	84.4	81.5	82.3	83.3	86.8	0.0	83.2	1.8
5000 Hz	79.9	81.1	80.9	81.3	83.4	80.4	80.4	82.4	87.4	0.0	82.5	2.3

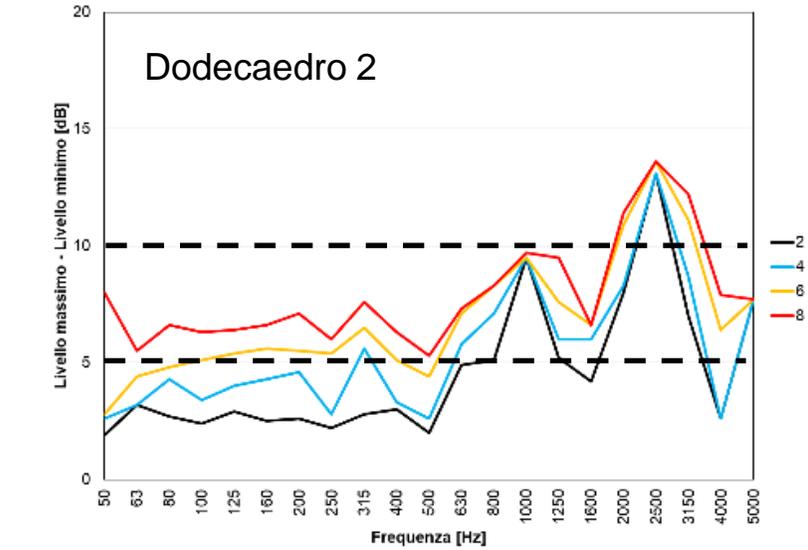
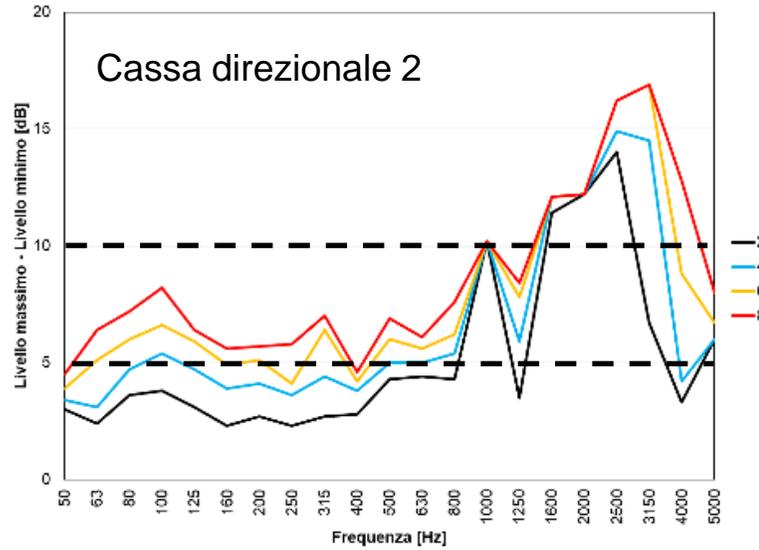
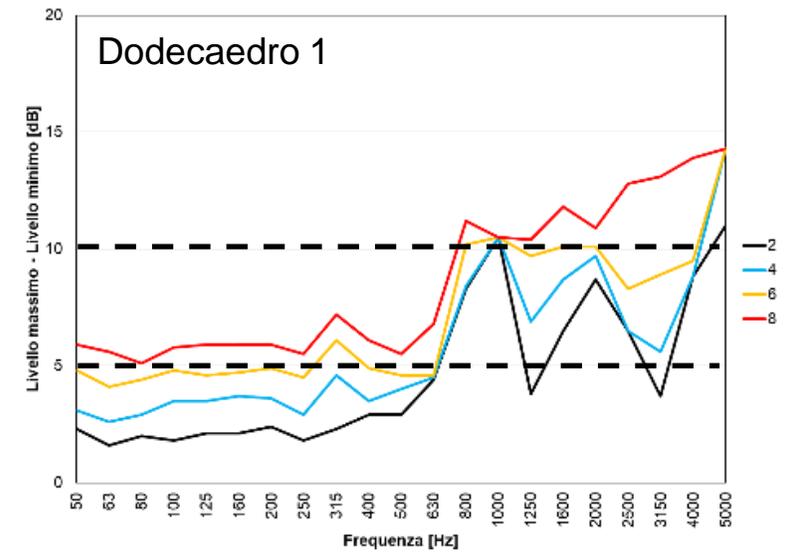
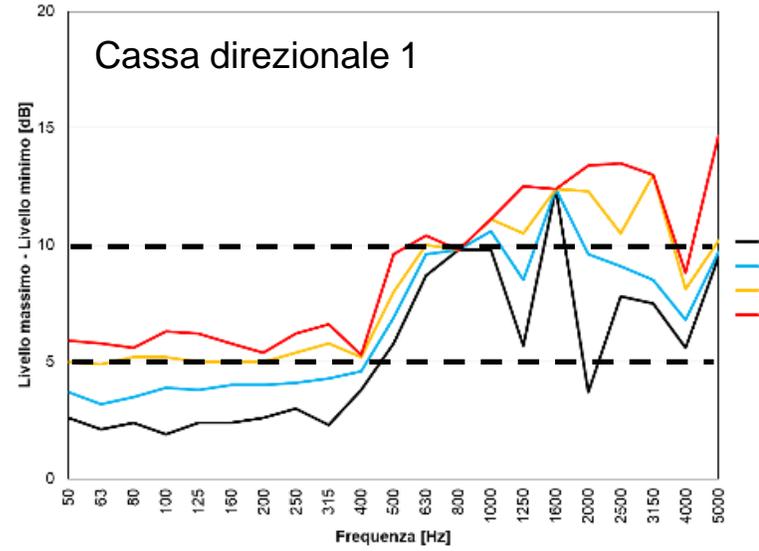
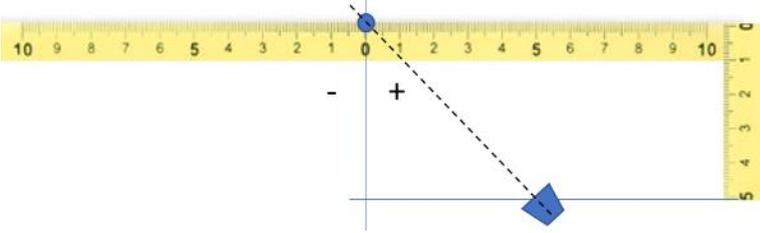
$r = 10 \text{ m}$ $\theta = 45^\circ$
 $b = 5,3 \text{ m}$ $d = 7 \text{ m}$ $h = 4,7 \text{ m}$

Frekvens	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10	Medel 1-9	Sigma Delta 1-9 max
50 Hz	58.1	59.4	57.9	57.9	57.9	56.5	57.6	57.4	58.0	0.0	57.9	.8
63 Hz	61.1	58.7	57.9	59.9	58.4	57.4	58.9	59.1	58.9	0.0	59.0	1.1
80 Hz	64.1	63.2	62.2	63.5	63.9	63.0	64.6	64.4	64.0	0.0	63.7	.8
100 Hz	68.5	68.0	67.6	68.9	68.5	67.7	69.7	69.2	68.7	0.0	68.6	.7
125 Hz	72.8	71.9	71.9	73.1	72.9	72.2	73.7	73.3	72.8	0.0	72.8	.6
160 Hz	75.4	74.9	74.9	75.9	75.4	75.2	76.4	76.3	75.7	0.0	75.6	.5
200 Hz	76.4	75.4	75.3	77.0	76.7	76.5	77.7	77.3	77.0	0.0	76.7	.8
250 Hz	76.3	76.3	76.4	78.0	77.4	77.4	79.0	78.5	77.9	0.0	77.5	1.0
315 Hz	75.4	75.5	76.1	77.3	77.9	77.3	79.3	78.9	78.4	0.0	77.5	1.4
400 Hz	76.7	76.1	75.4	77.3	76.3	76.7	77.9	78.2	78.3	0.0	77.1	1.0
500 Hz	78.6	78.2	77.5	79.1	78.5	77.2	78.9	78.2	78.4	0.0	78.3	.6
630 Hz	78.3	77.3	77.3	78.2	77.9	77.2	78.4	77.7	76.6	0.0	77.7	.6
800 Hz	79.1	78.4	77.6	79.0	78.2	77.4	78.4	77.9	77.3	0.0	78.2	.7
1000 Hz	79.7	79.0	78.9	79.5	79.1	78.4	79.6	79.0	78.7	0.0	79.1	.4
1250 Hz	79.3	78.8	78.5	80.1	79.6	79.3	80.5	80.1	79.9	0.0	79.6	.7
1600 Hz	79.1	78.4	77.8	79.5	79.1	78.4	80.2	79.4	79.3	0.0	79.1	.7
2000 Hz	80.2	79.9	79.0	80.9	80.7	79.4	81.3	80.5	80.5	0.0	80.3	.7
2500 Hz	77.5	77.2	76.5	78.5	78.4	76.9	78.9	77.8	78.4	0.0	77.9	.8
3150 Hz	77.1	77.2	76.3	77.9	78.1	76.3	78.7	76.9	78.9	0.0	77.6	1.0
4000 Hz	78.7	79.0	78.3	80.2	80.8	77.7	80.0	79.0	83.0	0.0	79.9	1.6
5000 Hz	78.1	78.4	77.3	79.0	79.7	76.4	78.6	77.9	83.8	0.0	79.4	2.1

$r = 15 \text{ m}$ $\theta = 45^\circ$
 $b = 9,5 \text{ m}$ $d = 10,6 \text{ m}$ $h = 4,7 \text{ m}$

Frekvens	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8	Pos. 9	Pos. 10	Medel 1-9	Sigma Delta 1-9 max
50 Hz	58.7	62.0	60.8	59.2	58.3	57.5	55.9	55.9	56.5	0.0	58.8	2.1
63 Hz	56.8	57.5	56.3	56.7	56.0	55.7	55.5	56.1	55.7	0.0	56.3	.6
80 Hz	61.6	60.9	61.3	61.6	61.5	61.4	62.1	62.0	61.6	0.0	61.6	.4
100 Hz	66.7	65.8	65.8	66.7	66.4	66.2	66.7	66.7	66.5	0.0	66.5	.4
125 Hz	71.6	70.5	70.5	71.8	71.1	70.9	71.7	71.4	71.0	0.		

Confronto 2 dodecaedri e 2 casse direzionali



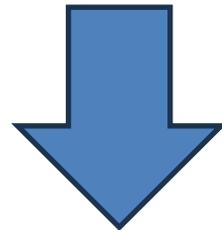
Casi particolari

Requisiti dell'altoparlante

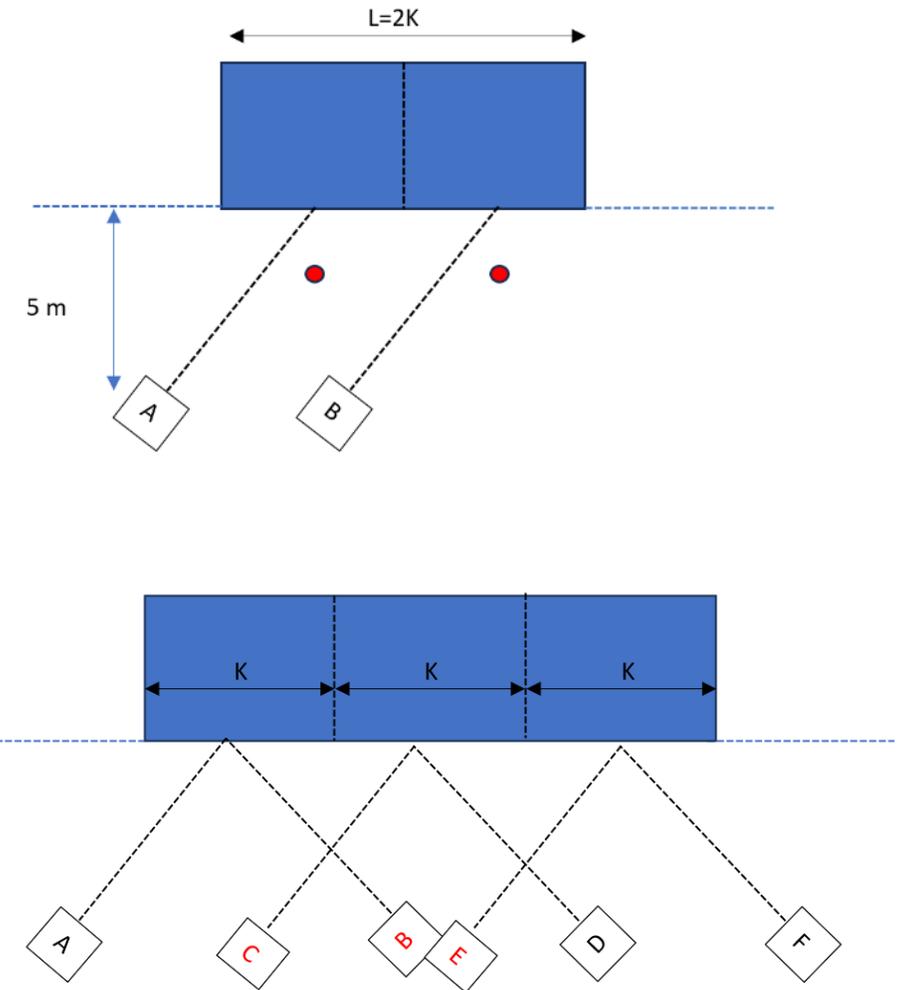
La direttività dell'altoparlante in campo libero deve essere tale che le differenze locali di livello di pressione sonora, misurate su una superficie immaginaria con le stesse dimensioni e orientamento del provino, risultino minori di 5 dB per ogni banda di frequenza di interesse.

Se le dimensioni del provino sono maggiori di 5 m possono essere accettate differenze fino a 10 dB.

In alternativa si può utilizzare un altoparlante che soddisfa i requisiti di direttività nell'appendice C.



Larghezza misurabile K



CONTATTI

Ing. Nicola Granzotto

Email: nicola@progettodecibel.it

Tel: 3939936473

Grazie per l'attenzione