

DIFFUSIVITÀ DEL CAMPO SONORO NELLE CAMERE RIVERBERANTI PER LA MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

Raffaele Pisani (1), Paolo Onali (1), Chiara Devecchi (1)

1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO), sia.pisani@tin.it

1. Introduzione

La norma UNI EN ISO 10140-5 [1] per la misura in laboratorio del potere fonoisolante di componenti edilizi richiede (al punto 3.1) due camere riverberanti accoppiate da una apertura (la finestra di prova) ove verrà installato il campione. L'angolo di incidenza dell'onda acustica sul campione in prova, generata da una sorgente posta nella camera trasmittente, dovrà essere casuale nel senso che tutte le direzioni dovranno essere equamente probabili.

Il potere fonoisolante misurato e dichiarato nel rapporto di prova deve essere accompagnato dalla stima dell'incertezza di misura per la inevitabile presenza di errori casuali ed errori sistematici. L'errore di tipo casuale è stimato attraverso la determinazione dello scarto tipo dei livelli di pressione sonora rilevati in camera trasmittente ed in camera ricevente oltre allo scarto tipo associato alla misura del tempo di riverberazione. Ridurre lo scarto tipo dei livelli significa dover ridurre la variabilità del campo sonoro in camera trasmittente e ricevente. Questo viene effettuato principalmente con l'inserimento di elementi diffondenti all'interno delle camere, meno agendo sulla geometria delle stesse.

L'impiego di elementi diffondenti è consigliato sin dalla prima stesura della norma ISO 140 (parte 3) al fine di ridurre le ampie variazioni del livello della pressione sonora. Affinché un elemento diffondente abbia effetto alle basse frequenze dovrà possedere dimensioni adeguate alla più elevata lunghezza d'onda del suono che alla frequenza di 100 Hz è pari a 3 m. Superfici così ampie non sono utilizzabili praticamente nelle camere di volume ridotto, inferiore a 100 m³ per cui si utilizzano diffondenti di dimensioni più contenute e meno efficaci per ridurre l'ampiezza dei primi modi di risonanza delle camere.

La diffusività può essere aumentata se gli elementi diffondenti sono opportunamente dimensionati in modo da presentare elevati coefficienti di scattering ISO/FDIS 17497-1 [2]. Si può, in fase di progettazione del laboratorio operare alcune scelte volte a ridurre il rapporto di onde stazionarie alle basse frequenze agendo sia sull'inclinazione delle pareti laterali e del soffitto, sia introducendo adeguate unità assorbenti risonanti alle fre-

quenze ove si innescano i primi modi di risonanza. Seguendo tali criteri di progettazione si ottengono impianti di prova perfettamente conformi ai requisiti della ISO 10140 parte 5 (anno 2010) [1] ove all'allegato A cap. 2 si suggeriscono accorgimenti volti alla soppressione della trasmissione laterale. La struttura delle camere riverberanti che prevede un doppio guscio dei quali quello interno è costituito da pareti in cartongesso si presta facilmente a ridurre l'inconveniente delle onde stazionarie e si colloca nella fascia di qualità più elevata (laboratori di classe C).

Le camere riverberanti con pareti sghembe e guscio interno in cartongesso migliorano all'origine la diffusività del campo sonoro, sopprimono decisamente la trasmissione laterale, rendono più facile l'adeguamento del tempo di riverberazione specialmente alle basse frequenze ai valori richiesti dalla normativa senza impiegare complesse strutture fonoassorbenti fissate alle pareti ed al soffitto. La disponibilità di spazi più ampi all'interno delle camere consente un campionamento del suono più accurato in quanto è più facile mantenere il microfono alle dovute distanze dalla sorgente, dalle pareti e dal campione in prova. Si ottengono in questo modo pareti ad assorbimento e diffusività omogenee che rendono il campo sonoro all'interno meno dipendente dalla posizione degli oggetti correttivi posti in alcuni impianti, sulle pareti e sul soffitto delle camere. Si migliora non solo la casualità dell'angolo di incidenza del campo sonoro sul campione ma si riducono le disuniformità di illuminamento della superficie del campione a volte prodotte da eccessive profondità delle nicchie in cui vengono posati campioni di piccole dimensioni.

2. Scopo del lavoro ed impostazione delle sperimentazioni

Si vuole valutare la variabilità del livello sonoro per bande di terzi di ottava nei diversi punti delle camere trasmettenti e riceventi come indicatore della diffusività. Variabilità più contenute riducono l'incertezza della misura del potere fonoisolante per gli errori casuali e garantiscono un migliore illuminamento acustico della superficie del campione da provare.

Utilizzato come indicatore lo scarto tipo dei livelli per bande di terzi di ottava, si confrontano tra loro i risultati acquisiti in tre laboratori italiani che si differenziano per forma e per costituzione delle pareti e del soffitto delle camere riverberanti. Si rilevano gli spettri del rumore nei diversi punti delle due camere, generato da una sorgente sonora omnidirezionale (dodecaedro) e si calcola, per ciascuna banda di frequenza, lo scarto tipo attraverso la differenza dei valori puntuali rilevati rispetto al valor medio aritmetico. Ciò è ammesso per le contenute differenze tra i livelli che consentono di sostituire la media aritmetica a quella di tipo energetico.

Gli esperimenti sono stati condotti in 3 laboratori di volumi paragonabili (tutti inferiori a 90 m³ figura 1. Nei tre laboratori il tempo di riverberazione è compreso nella fascia indicata dalla norma ISO 10140 (tra 1s e 2,5 s).

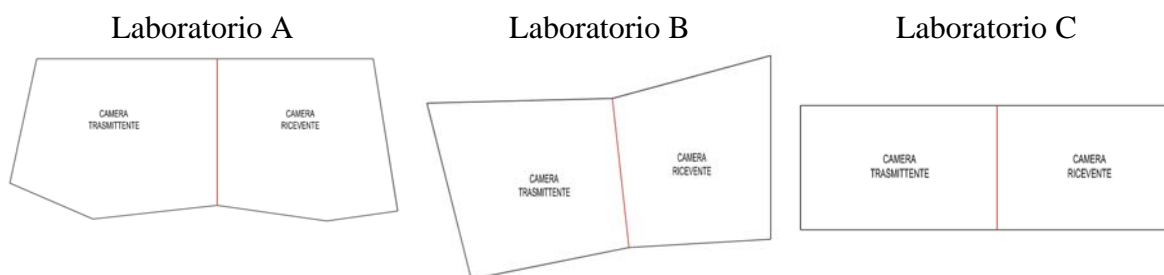


Figura 1 - Pianta dei tre laboratori utilizzati per gli esperimenti di diffusività del campo sonoro

- Il laboratorio A ha una geometria in pianta costituita da due pentagoni irregolari. Le due camere sono a doppio guscio con quella interna realizzata utilizzando una struttura in cartongesso indipendente dal guscio esterno.
- Il laboratorio B presenta una geometria con pianta quadrilatera sghemba. Le camere sono a doppio guscio con tecnica costruttiva simile al laboratorio A.
- Il laboratorio C invece, presenta una pianta rettangolare a singolo guscio in muratura piena. (Fig. 1).

Le camere dei laboratori A e B sono classificate dalla norma ISO 10140-5 per quanto riguarda la struttura delle pareti (annesso A2) di *tipo C*. Le camere riverberanti del laboratorio C sono classificate di *tipo B* dalla norma.

Il primo esperimento, condotto nei tre laboratori diversi, è stato organizzato utilizzando posizioni fisse dei microfoni per meglio quantificare puntualmente il campo sonoro e valutarne la variabilità spaziale attraverso la misura dello scarto tipo.

Il secondo esperimento è stato condotto nei laboratori A e B su un campione che presenta un valore del potere fonoisolante molto contenuto al fine di valutare la diffusività del campo sonoro nella camera ricevente considerando il campione come una sorgente di dimensioni contenute pari a 1,3 m per 1,5 m e ben localizzata sulla parete di riempimento della finestra di prova.

Il terzo esperimento è stato condotto nel laboratorio B al fine di valutare se sussiste una riduzione dello scarto tipo in camera ricevente con l'inserimento di vele diffondenti.

3. Verifica della uniformità del campo sonoro nella camera ricevente e trasmittente

L'esperimento ha coinvolto i tre laboratori di figura 1. Il campo sonoro in camera trasmittente viene generato da un dodecaedro, gli spettri dei livelli sonori nei diversi punti dello spazio sono stati rilevati da microfoni sia in camera trasmittente sia in camera ricevente. Lo spettro del livello di pressione sonora del rumore bianco generato nella camera trasmittente e rilevato nelle due camere è stato effettuato per un periodo temporale di 32 s.

Il campione in prova è costituito da un vetro camera di dimensioni pari a 1,3 m x 1,5 m formato da due lastre stratificate per lato.

Il numero di campionamenti del livello sonoro nel Laboratorio A è stato di 15 ottenuti spostando il dodecaedro in 3 posizioni diverse ed i microfoni in 5 posizioni per ciascuna posizione della sorgente.

Il numero di campionamenti per il laboratorio B è stato di n. 6 ottenute spostando il microfono in 3 posizioni e la sorgente in due punti della camera.

Il numero di campionamenti per il laboratorio C è stato di 10 corrispondenti a 2 posizioni della sorgente e per 5 posizioni dei microfoni.

Nella figura 2 si riportano i valori dello scarto tipo in camera trasmittente per i tre laboratori considerati, nella figura 3 si riporta lo scarto tipo nella camera ricevente degli stessi laboratori.

Confrontando i valori si osserva che lo scarto tipo in camera trasmittente è contenuto e della stessa entità per i tre laboratori. Lo scarto tipo dei livelli rilevati in camera ricevente, invece, è significativamente più elevato per i laboratori B e C mentre è più contenuto per il laboratorio A.

Frequenze [Hz]	Laboratorio		
	A dB	B dB	C dB
100	0.7	1.1	1.4
125	0.9	1.2	0.6
160	0.8	1.0	0.9
200	0.6	1.0	0.8
250	0.3	0.2	0.7
315	0.9	0.5	0.5
400	0.5	0.3	0.5
500	0.5	0.1	0.4
630	0.4	0.2	0.2
800	0.4	0.1	0.3
1000	0.2	0.2	0.3
1250	0.1	0.3	0.3
1600	0.3	0.3	0.4
2000	0.1	0.2	0.4
2500	0.2	0.2	0.3
3150	0.1	0.2	0.5
4000	0.1	0.3	0.4
5000	0.1	0.3	0.3

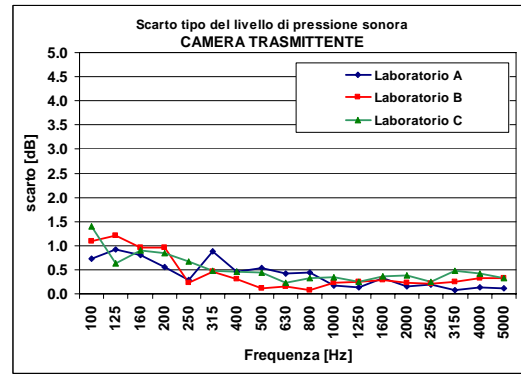


Figura 2 – Scarto tipo in camera trasmittente

Frequenze [Hz]	Laboratorio		
	A dB	B dB	C dB
100	1.3	1.0	2.3
125	1.6	1.8	1.4
160	0.2	2.0	2.5
200	0.4	1.6	2.5
250	0.4	1.7	1.0
315	0.3	0.5	1.3
400	0.1	1.0	0.7
500	0.6	0.3	0.5
630	0.7	0.4	0.5
800	0.4	0.1	0.4
1000	0.2	0.2	0.6
1250	0.1	0.2	0.4
1600	0.2	0.2	0.3
2000	0.1	0.1	0.3
2500	0.1	0.1	0.3
3150	0.2	0.2	0.2
4000	0.3	0.4	0.7
5000	0.2	0.3	1.1

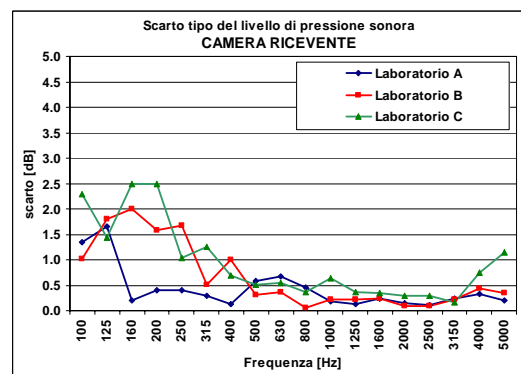


Figura 3 – Scarto tipo in camera ricevente

4. Determinazione dello scarto tipo in camera ricevente per un campione di prestazioni più contenute

Rilevato uno scarto tipo dei livelli di pressione sonora in camera ricevente più elevato di quello misurato in camera trasmittente è stata eseguita una ulteriore misura utilizzando un campione di superficie pari a 2 m² costituito da due lamiere in acciaio accoppiate con film biadesivo. Gli scarti tipo dei livelli sonori misurati in camera ricevente sono rappresentati nella figura 4.

Si può osservare che a parità di superficie e di potere fonoisolante del campione (Rw pari a circa 30 dB) lo scarto tipo dei livelli per il laboratorio a pianta pentagonale irregolare è inferiore a quello del laboratorio a pianta quadrilatera sghemba.

Frequenze [Hz]	Parete	
	Lab. B dB	Lab. A dB
100	2.5	1.7
125	2.8	1.5
160	0.7	0.7
200	1.8	0.7
250	1.3	1.0
315	1.2	0.6
400	0.8	0.6
500	0.5	0.4
630	0.4	0.5
800	0.5	0.4
1000	0.5	0.4
1250	0.8	0.4
1600	0.6	0.4
2000	0.9	0.4
2500	0.8	0.4
3150	0.9	0.3
4000	0.8	0.2
5000	0.6	0.2

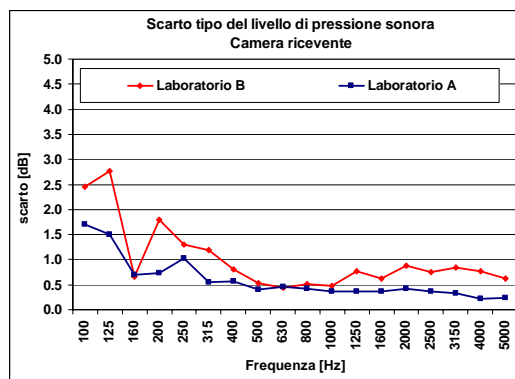


Figura 4 – Scarto tipo in camera ricevente

5. Influenza degli elementi diffondenti

Si confrontano, per il solo laboratorio B, gli scarti tipo dei livelli sonori misurati nella camera ricevente per due particolari condizioni di prova dello stesso campione:

- - Prova 1: porta di dimensioni 1,3 m x 2,3 m; si confrontano gli scarti tipo installando e rimuovendo nella camera ricevente due vele diffondenti. ISO 10140-5 (3.2.2)
- - Prova 2: cassonetto di dimensioni 0,3 m x 1,3 m posizionando e rimuovendo un pannello piano di dimensioni pari a 1,0 m x 2,0 m posto a 10 cm sopra il cassonetto a simulare il soffitto di una camera. ISO 10140-1 (E.2.5.4) “simulation of corner or edge positions”.

Nella figura 5 si confrontano gli scarti tipo dei due campioni in relazione alla presenza o meno di elementi diffondenti.

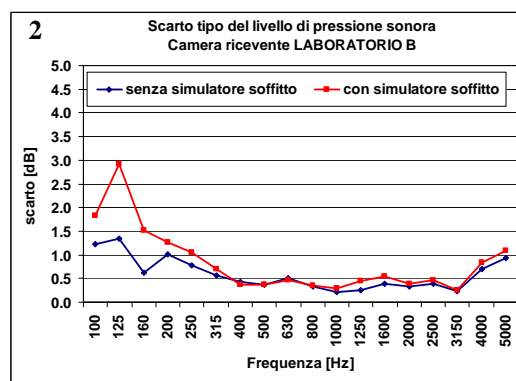
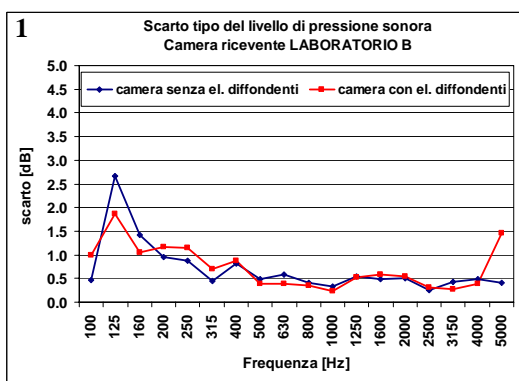


Figura 5 – Scarto tipo in camera ricevente in funzione della presenza di elementi diffondenti

Si osserva che la presenza di vele in camera ricevente non riduce lo scarto tipo dei livelli. Si osserva che la posizione di un elemento riflettente in prossimità dell'elemento di piccole dimensioni non agisce significativamente sulla diffusività del campo acustico.

6. Influenza di un errato montaggio prodotto artificialmente dell'elemento in prova

Per avere una ulteriore riprova dell'azione di sorgenti di dimensioni ridotte su un campione si è provveduto a installare una finestra sulla parete di riempimento e ad agire sulla regolazione della ferramenta al fine di produrre perdite di suono localizzate in

prossimità di una cerniera. Anche in questo esperimento si confrontano gli scarti tipo nelle condizioni di finestra ben regolata e mal regolata. La figura 6 riporta i valori dello scarto tipo rilevato nelle due condizioni.

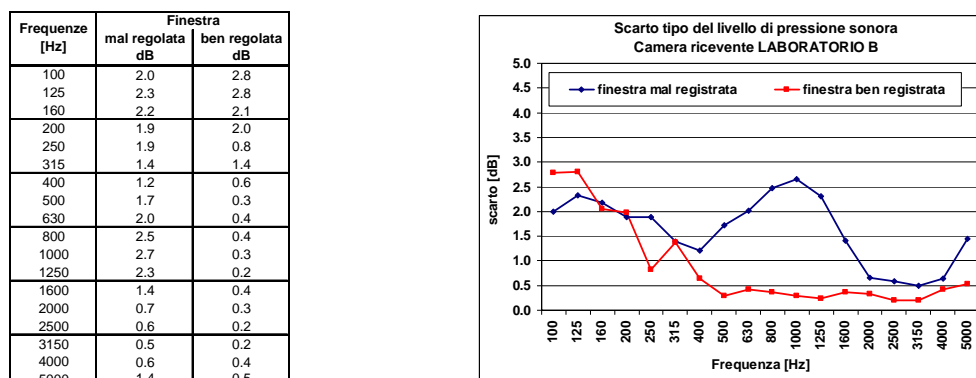


Figura 6 - Scarto tipo in camera ricevente in funzione del montaggio dell'elemento in prova

Si può osservare che nel caso di una perdita di isolamento acustico localizzato in un preciso punto di un campione in prova per effetto, ad esempio, di una cattiva regolazione, lo scarto tipo dei livelli in camera ricevente aumenta in modo significativo aumentando di conseguenza l'incertezza della misura del potere fonoisolante.

7. Conclusioni

L'incertezza della misura del potere fonoisolante in laboratorio dipende principalmente dallo scarto tipo dalla misura dei livelli sonori e quello della misura del tempo di riverberazione. In camera ricevente si rileva, normalmente, uno scarto tipo più elevato ascrivibile alla posizione fissa del campione che, in caso di soppressione della trasmissione laterale, si comporta come unica sorgente con posizione fissa. Per ridurre l'incertezza del misurando occorre ridurre lo scarto tipo che, per i livelli, si traduce in una migliore diffusività del campo all'interno delle due camere. Il confronto degli scarti tipo rilevati in tre laboratori con geometria diversa delle piante e rispondenti a due tipologie costruttive diverse, come stabilite dalla norma ISO 10140, evidenzia una più uniforme distribuzione del suono, specialmente alle basse frequenze, nei laboratori con pareti non parallele.

La pianta pentagonale irregolare e la presenza di un guscio interno, favorisce una migliore distribuzione dell'energia sonora che, per altre forme e tipologie costruttive, dovrebbe essere ottenuta ricorrendo a particolari pannelli fonoassorbenti e diffondenti da applicarsi alle pareti o da sospendere a soffitto.

Gli elementi correttivi con comportamento acustico diverso e concentrato inseriti sulle pareti piane in particolari posizioni deformano l'uniformità spaziale del campo sonoro specialmente in camera trasmittente ove si richiede che il campione in prova sia "illuminato" in modo uniforme su tutta la sua superficie.

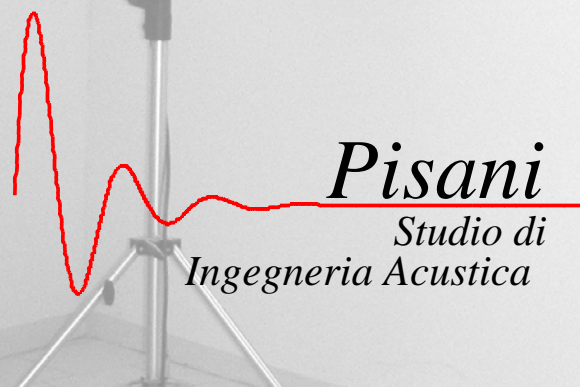
Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 10140-5: 2010, *Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Requisiti per le apparecchiature e le strutture di prova*
- [2] ISO/FDIS 17497-1: 2004, *Sound scattering properties of surfaces parte 1*

PRESENTAZIONE

DIFFUSIVITÀ DEL CAMPO SONORO NELLE CAMERE RIVERBERERANTI PER LA MISURA DEL POTERE FONOISOLANTE

Raffaele PISANI - Paolo ONALI - Chiara DEVECCHI



Studio di ingegneria acustica PISANI
via cavalieri di Vittorio Veneto, 8
10098 Rivoli (TO)
e-mail: sia.pisani@tin.it

La norma **UNI EN ISO 10140-5** per la misura in laboratorio del potere fonoisolante di componenti edilizi richiede (al punto 3.1) due camere riverberanti accoppiate da una apertura (la finestra di prova) ove verrà installato il campione.



L'angolo di incidenza dell'onda acustica sul campione in prova, generata da una sorgente posta nella camera trasmittente, dovrà essere casuale nel senso che tutte le direzioni dovranno essere equamente probabili.

Il potere fonoisolante misurato e dichiarato nel rapporto di prova deve essere accompagnato dalla **STIMA DELL'INCERTEZZA** di misura che tiene conto della presenza di:

errori casuali

rilevabili dalla ripetibilità r

errori sistematici

insiti nella riproducibilità R

L'ERRORE DI TIPO CASUALE è stimato attraverso la determinazione dello scarto tipo dei livelli di pressione sonora rilevati in camera trasmittente ed in camera ricevente oltre allo scarto tipo associato alla misura del tempo di riverberazione.

Ridurre lo scarto tipo dei livelli significa dover ridurre la variabilità del campo sonoro in camera trasmittente e ricevente.

Questo viene effettuato principalmente con **L'INSERIMENTO DI ELEMENTI DIFFONDENTI** all'interno delle camere, meno agendo sulla geometria delle stesse.

In fase di progettazione si possono operare alcune scelte atte a **RIDURRE IL RAPPORTO DI ONDE STAZIONARIE ALLE BASSE FREQUENZE** agendo:

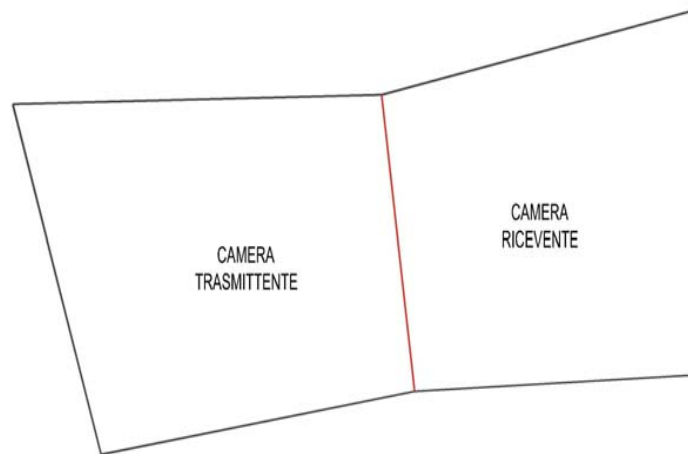
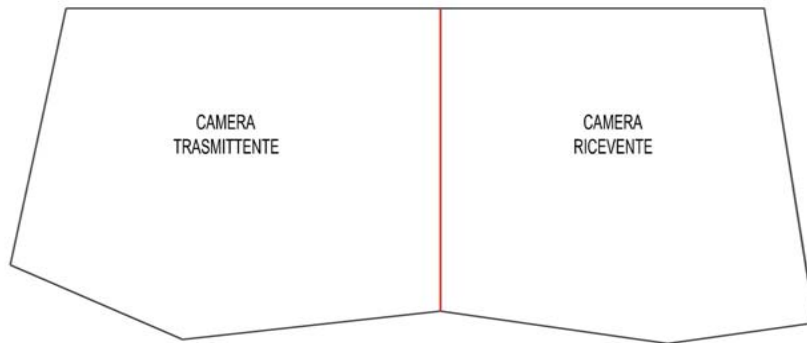
1. sull'inclinazione delle pareti laterali
2. sull'inclinazione del soffitto
3. introducendo unità assorbenti risonanti alle frequenze ove si innescano i primi modi di risonanza

Si vuole valutare la **VARIABILITÀ DEL LIVELLO SONORO** per bande di terzi di ottava nei diversi punti delle camere trasmettenti e riceventi come indicatore della diffusività.

Variabilità più contenute riducono l'incertezza della misura del potere fonoisolante per gli errori casuali e garantiscono un migliore illuminamento acustico della superficie del campione da provare.

Gli esperimenti sono stati condotti in **3 LABORATORI** di volumi paragonabili (tutti inferiori a 90 m^3).

Nei tre laboratori il tempo di riverberazione è compreso nella fascia indicata dalla norma ISO 10140 (tra 1 e 2,5 s).



← LABORATORIO A

Il **laboratorio A** ha una geometria in pianta costituita da due pentagoni irregolari. Le due camere sono a doppio guscio con quella interna realizzata utilizzando una struttura in cartongesso indipendente dal guscio esterno

← LABORATORIO B

Il **laboratorio B** presenta una geometria con pianta quadrilatera sghemba. Le camere sono a doppio guscio con tecnica costruttiva simile al laboratorio A

← LABORATORIO C

Il **laboratorio C** invece, presenta una pianta rettangolare a singolo guscio in muratura piena

UNIFORMITA' DEL CAMPO SONORO

Si vuole valutare la **variabilità del livello sonoro nella camera trasmittente** ed in quella **ricevente**.

L'esperimento è stato condotto nei 3 laboratori (A, B e C) utilizzando le postazioni fisse dei microfoni per meglio quantificare puntualmente il campo sonoro e valutarne la variabilità spaziale.

Laboratorio A: 15 campionamenti (3 sorgenti per 5 posizioni del microfono)

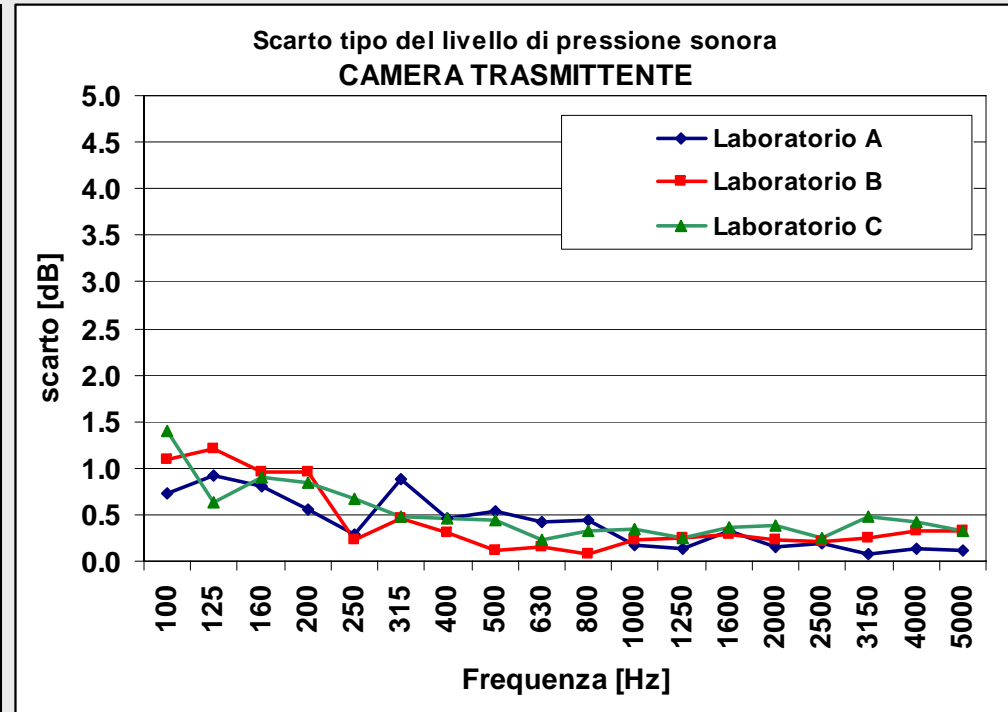
Laboratorio B: 6 campionamenti (2 sorgenti per 3 posizioni del microfono)

Laboratorio C: 10 campionamenti (2 sorgenti per 5 posizioni del microfono)

CAMERA TRASMITTENTE

Scarto tipo in camera trasmittente

Frequenze [Hz]	Laboratorio		
	A dB	B dB	C dB
100	0.7	1.1	1.4
125	0.9	1.2	0.6
160	0.8	1.0	0.9
200	0.6	1.0	0.8
250	0.3	0.2	0.7
315	0.9	0.5	0.5
400	0.5	0.3	0.5
500	0.5	0.1	0.4
630	0.4	0.2	0.2
800	0.4	0.1	0.3
1000	0.2	0.2	0.3
1250	0.1	0.3	0.3
1600	0.3	0.3	0.4
2000	0.1	0.2	0.4
2500	0.2	0.2	0.3
3150	0.1	0.2	0.5
4000	0.1	0.3	0.4
5000	0.1	0.3	0.3



Confrontando i valori si osserva che lo **SCARTO TIPO IN CAMERA TRASMITTENTE È CONTENUTO E DELLA STESSA ENTITÀ** in tutti e tre i laboratori.

VERIFICA DELL'UNIFORMITA' DEL CAMPO SONORO

L'esperimento è stato condotto nei laboratori A (pianta pentagonale) e B (pianta quadrilatera sghemba) su un campione che presenta un valore del potere fonoisolante molto contenuto ($R_w=30$ dB) al fine di **valutare la diffusività del campo sonoro**.

La misura è stata eseguita utilizzando un campione di 2 m^2 costituito da due lamiere di acciaio accoppiate con film biadesivo.

INFLUENZA ELEMENTI DIFFONDENTI

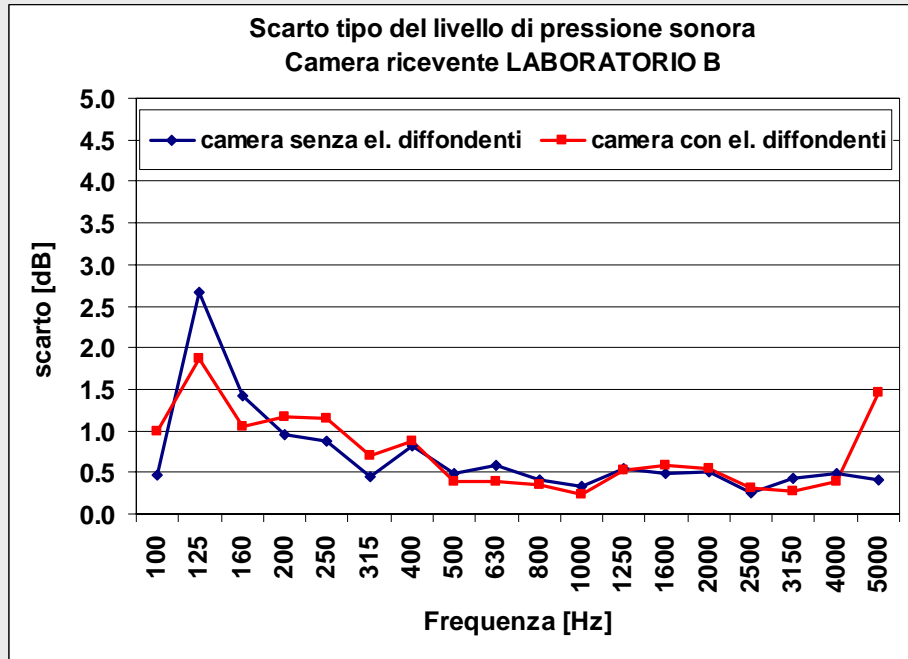
Si vuole valutare se sussiste una **riduzione dello scarto tipo in camera ricevente con l'inserimento di vele diffondenti.**

Si confrontano, per il solo laboratorio B, gli scarti tipo dei livelli sonori misurati nella camera ricevente per le due condizioni di prova, con e senza l'inserimento di vele diffondenti:

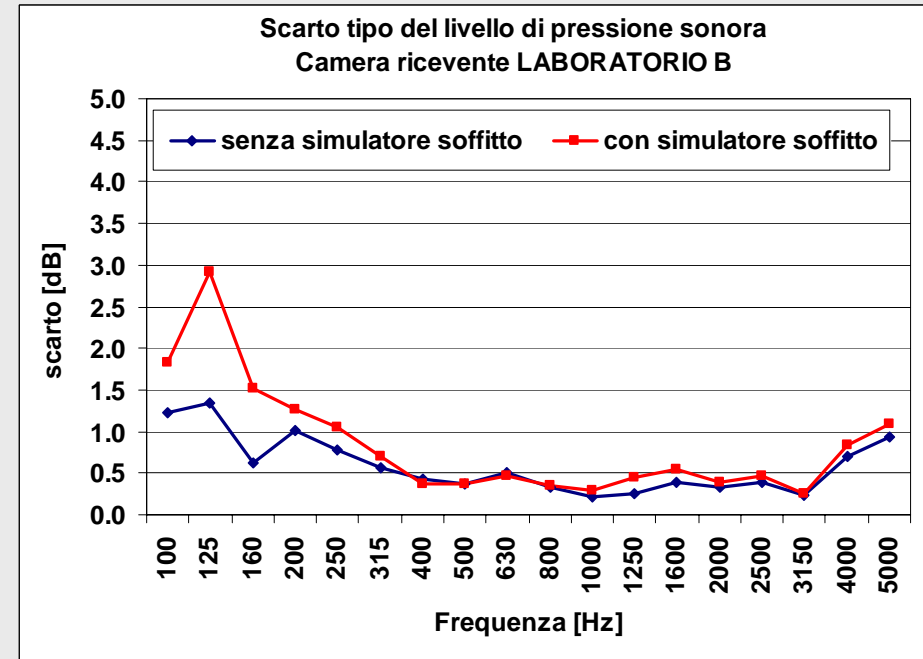
PROVA 1: porta (1,3 x 2,3m)

PROVA 2: piccolo elemento (1 x 0,3m)

SCARTO TIPO IN CAMERA RICEVENTE IN FUNZIONE DELLA PRESENZA DI ELEMENTI DIFFONDENTI



PORTA



PICCOLO ELEMENTO

Si osserva che:

la presenza di vele in camera ricevente non riduce lo scarto tipo dei livelli.

la posizione di un elemento di piccole dimensioni (cassonetto) non agisce significativamente sulla diffusività del campo acustico.



INFLUENZA DI UN ERRATO MONTAGGIO

Per determinare l'azione di sorgenti di dimensioni ridotte su un campione si è provveduto ad installare una finestra sulla parete di prova e si è **provveduto ad agire sulla regolazione della ferramenta** al fine di produrre perdite di suono localizzate in prossimità di una cerniera.

Si confrontano gli scarti tipo nelle condizioni di finestra ben regolata e mal regolata.

L'incertezza della misura del potere fonoisolante in laboratorio che opera in regime di ripetibilità stretta dipende:

1. dallo scarto tipo della misura dei livelli sonori
2. dallo scarto tipo della misura del tempo di riverberazione

In camera ricevente si rileva, normalmente, uno scarto tipo più elevato ascrivibile alla posizione fissa del campione che, in caso di soppressione della trasmissione laterale, si comporta come unica sorgente con posizione fissa.

Per ridurre l'incertezza del misurando occorre **ridurre lo scarto tipo che, per i livelli, si traduce in una migliore diffusività del campo all'interno delle due camere.**

Il confronto degli scarti tipo rilevati in tre laboratori evidenzia una **più uniforme distribuzione del suono**, specialmente alle basse frequenze, **nei laboratori con pareti non parallele.**



La **pianta pentagonale irregolare e la presenza di un guscio interno**, favoriscono una migliore distribuzione dell'energia sonora che, per altre forme e tipologie costruttive, dovrebbe essere ottenuta ricorrendo a particolari pannelli fonoassorbenti e diffondenti da applicarsi alle pareti o da sospendersi a soffitto.

Gli **elementi correttivi concentrati in camera trasmittente deformano l'uniformità spaziale del campo sonoro specialmente ove si richiede che il campione in prova sia "illuminato" in modo uniforme su tutta la sua superficie.**

Gli **elementi correttivi concentrati in camera ricevente aumentano lo scarto tipo dei livelli sonori misurati nei diversi punti già compromesso dal fatto che la sorgente sonora occupa costantemente una sola posizione fissa su una parete della camera ricevente.**

BIBLIOGRAFIA

ISO/FDIS 17497-1: 2004, *Sound scattering properties of surfaces parte 1*

UNI EN ISO 10140-5: 2010, *Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico di edifici e di elementi di edificio - Requisiti per le apparecchiature e le strutture di prova*