

## IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO IN SITU

Raffaele Pisani (1), Paolo Onali (1)

1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO)

### 1. Premessa

La misura del coefficiente di assorbimento acustico si basa su due tecniche comuni: la prima *per incidenza diffusa* in camera riverberante, la seconda *per incidenza normale* nel tubo ad onde stazionarie. Si può determinare il coefficiente di assorbimento secondo i metodi normalizzati:

- tecnica ad onde stazionarie (ISO 10534-1 e ASTM C384) che prevede l'utilizzo di un microfono mobile e determina il rapporto di onde stazionarie che si creano nel tubo di misura.
- tecnica della funzione di trasferimento (ISO 10534-2 e ASTM E1050) che utilizza due microfoni adattati in fase e la misura della funzione di trasferimento tra gli stessi.

I metodi ad onde piane sono proposti per specifiche applicazioni. Molte volte è più conveniente utilizzare un metodo previsto per un particolare tipo di applicazione in altri campi. Il coefficiente di assorbimento, per incidenza diffusa  $\alpha_s$ , è quello più comunemente richiesto per il trattamento delle sale. Il metodo per onde piane fornisce un coefficiente di assorbimento  $\alpha_0$  per incidenza normale, che è diverso da quello desunto in camera riverberante. Sono stati studiati criteri per convertire il coefficiente di assorbimento ad incidenza normale  $\alpha_0$  in un coefficiente di assorbimento  $\alpha_{st}$  per angoli ad incidenza obliqua equiprobabili, che risulta numericamente diverso da  $\alpha_s$ .

In pratica si consiglia l'uso di  $\alpha_s$  (anche detto  $\alpha$  Sabine). Per calcolare  $\alpha_{st}$  dai valori desunti dall'incidenza normale  $\alpha_0$  occorre conoscere, oltre al rapporto di onde stazionarie anche la distanza del primo minimo dal campione in prova. Il valore che si ottiene per  $\alpha_{st}$  è confrontato con  $\alpha_0$  e  $\alpha_s$  come riportato nell'esempio di figura 1 relativamente ad un pannello di lana di vetro di spessore 40 mm. In letteratura si afferma che i coefficienti di assorbimento desunti per incidenza normale si avvicinano maggiormente ai valori determinati in camera riverberante. Quanto detto risulterebbe coerente solo nella gamma di frequenze compresa tra 250 Hz e 1000 Hz, viceversa, si riscontra una inversione di tendenza alle frequenze più basse ed a quelle più elevate.

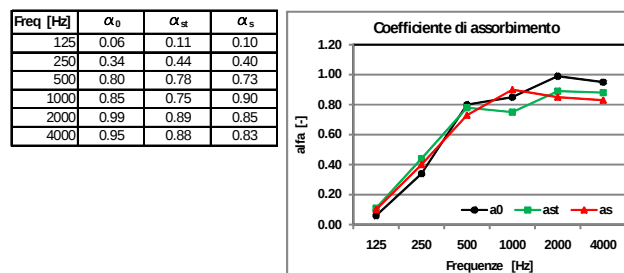


Figura 1 – Differenze dei diversi risultati di misura del coefficiente di assorbimento acustico di un pannello di lana di vetro spesso 4 cm

Nel presente lavoro si vogliono confrontare i risultati delle misure del coefficiente di assorbimento acustico di un pannello fonoassorbente costituito dall'accoppiamento di un tessuto su un pannello di lana di vetro. Le tecniche utilizzate sono relative alla misura del coefficiente di assorbimento per incidenza normale ed in particolare: la tecnica che utilizza la risposta all'impulso è il metodo sottrattivo con finestratura Adrienne e la tecnica che utilizza la funzione di trasferimento tra due microfoni posti in prossimità del campione. I dati si confrontano con quelli ottenuti in camera riverberante.

## 2. Misura del coefficiente di assorbimento acustico con tecnica a due microfoni in campo libero

Il metodo, definito dalla ISO 10534-2, per la misura del coefficiente di assorbimento acustico in tubo con la tecnica due microfoni è stato adattato alla misura in campo libero in prossimità del campione. Si determina la funzione di trasferimento tra due microfoni posti a distanza di 20 mm tra loro e a distanza di 20 mm dal campione. Si dimostra (Fig. 2) che il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  è ricavabile attraverso la funzione di trasferimento  $H_{12}$  tra il microfono M1 e il microfono M2 mediante la relazione

$$(1) \quad \alpha = 1 - \left| \frac{H_{12} \cdot e^{jkx_1} - e^{jkx_2}}{e^{-jkx_2} - H_{12} \cdot e^{-jkx_1}} \right|^2 \quad [-]$$

dove:

$H_{12}$  è la funzione di trasferimento tra il microfono M1 ed il microfono M2

$x_1$  e  $x_2$  sono le distanze del microfono 1 e 2 rispetto al provino

Nella stessa figura 2 si riporta lo schema di misura del coefficiente di assorbimento e la funzione di trasferimento espressa in modulo e fase. L'altoparlante, posto alla distanza di 1 m dal campione, emette un rumore rosa. I due segnali microfonici vengono inviati ad un analizzatore di spettro bicanale che ne determina la funzione di trasferimento.

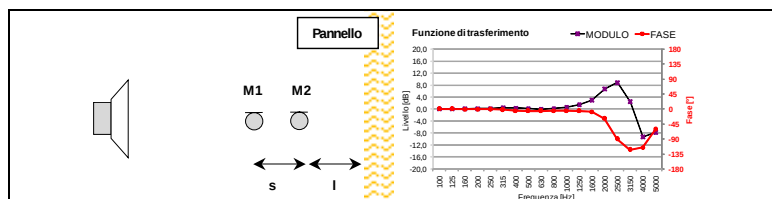


Figura 2 - Schema di misura per la misura dell'assorbimento acustico basato sulla funzione di trasferimento. La funzione è espressa in modulo e fase .

### 3. Misura del coefficiente di assorbimento acustico con tecnica impulsiva

La metodica di misura, definita dalla EN 1793-5 consiste, nel determinare le caratteristiche acustiche dell'impulso riflesso dal manufatto in relazione all'impulso diretto inviato dall'altoparlante (Fig. 3).

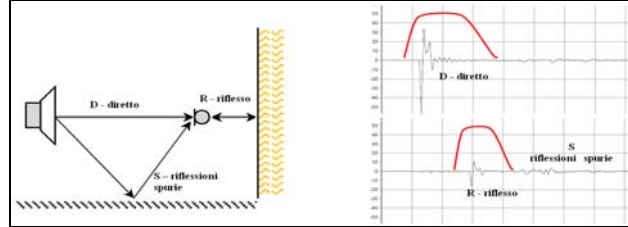


Figura 3 - Schema per la misura dell'assorbimento acustico basato sulla risposta all'impulso e i relativi ecogrammi prodotti da una misura su materiale fonoassorbente.

L'altoparlante è posto a 150 cm dal campione e il microfono è posto a una distanza di 60 cm dal campione. Nel grafico a lato si evidenziano, separati, l'impulso diretto captato dal microfono e quello riflesso captato dal microfono in un tempo successivo. Il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  è dato dalla relazione (2) che esprime il rapporto tra la trasformata di Fourier dell'impulso riflesso pesato attraverso una finestra temporale detta Adrienne e la trasformata di Fourier dell'impulso incidente anch'esso pesato attraverso una finestra temporale

$$(2) \quad \alpha_j = 1 - \left| \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \right| \quad [-]$$

dove:

$h_i(t)$  è la risposta all'impulso di riferimento rilevata in campo libero

$h_{r,k}(t)$  componente della risposta all'impulso riflessa dal provino per l'angolo

$w_i(t)$  finestra Adrienne applicata alla risposta all'impulso di riferimento

$w_r(t)$  finestra temporale Adrienne applicata alla risposta all'impulso riflessa

$F$  rappresenta il simbolo della trasformata di Fourier

$j$  è l'indice della banda di terzi di ottava (compresa tra 100 Hz e 5 KHz)

$\Delta f_j$  è l'ampiezza della banda di terzi di ottava

$n_j$  è il numero di angoli sui quali è effettuata la media

$t$  tempo dall'inizio della risposta all'impulso della catena di misura.

La risposta all'impulso viene ricavata attraverso la trasformata di Hadamard di un segnale modulato in frequenza (sweep logaritmico). La separazione dell'impulso riflesso, dall'impulso diretto e da altri impulsi spuri prodotti dalla riflessione sul pavimento e da altre superfici vicine viene effettuata attraverso la tecnica sottrattiva di Mommertz. Il sistema altoparlante più microfono viene orientato verso l'alto. Si acquisisce l'impulso emesso senza riflessioni in un'ampia finestra temporale. In questo modo è possibile estrarre il solo impulso riflesso dalla serie di impulsi che caratterizzano l'intero segnale captato dal microfono compreso l'impulso diretto.

#### 4. Risultati delle misure

Il pannello in prova di superficie pari a  $10 \text{ m}^2$  è stato testato in camera riverberante ed è quindi munito di un certificato di qualificazione in campo diffuso. Lo stesso pannello in prova è stato montato su una parete ed è stato sottoposto alla misura del coefficiente di assorbimento con la tecnica impulsiva e con la tecnica della funzione di trasferimento. Si rende necessario effettuare numerose medie in punti diversi del pannello per ottenere un'alta significatività morfologica degli impulsi diretti e riflessi e per ottenere una stabile e quasi unitaria funzione di coerenza nella misura della funzione di trasferimento. Nella figura 4 si confronta il coefficiente di assorbimento ricavato con la tecnica impulsiva per incidenza normale con il coefficiente di assorbimento in campo diffuso.

Nelle stesse figure si riporta la deviazione standard per ogni banda di frequenze.

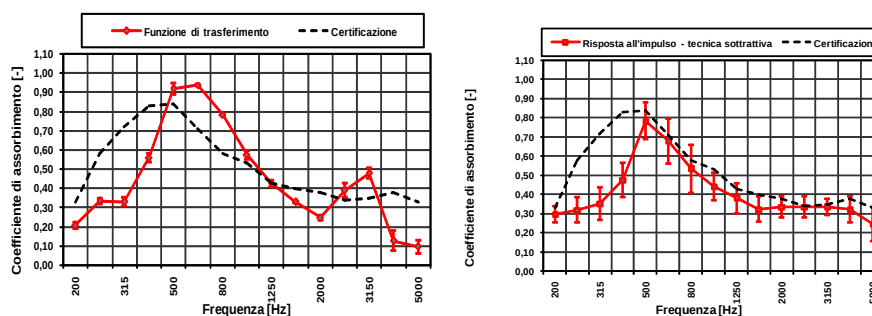


Figura 4 – Confronto tra gli assorbimenti medi rilevati con il metodo della funzione di trasferimento e della risposta all'impulso

Si osserva che vi è una differenza sostanziale per frequenze inferiori a 500 Hz per la tecnica impulsiva. Viceversa, per la banda medio – alta si riscontra un buon accordo tra i valori misurati. La tecnica di misura con la funzione di trasferimento determina, per l'intera gamma di frequenze, un evidente scarto con i valori dell'assorbimento acustico forniti dalla certificazione anche se la deviazione standard risulta estremamente contenuta. In relazione alle prove effettuate con la tecnica della funzione di trasferimento, si rileva che per distanze tra microfono e provino superiori a 20 mm emergono grosse differenze con i coefficienti di assorbimento in campo diffuso che pregiudicano i risultati ottenuti. Viceversa, errori nel posizionamento della coppia microfonica rispetto all'asse del diffusore, determinano scarti contenuti rispetto al metodo in campo diffuso. Non si riscontrano invece, per la tecnica impulsiva, variazioni significative per differenti scelte dell'impulso di riferimento, ovvero lo scostamento dei livelli rispetto al valor medio è estremamente contenuto.

#### 5. Bibliografia

- [1] ISO 10534- 2: 1998 Acoustics - *Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 2: Transfer-function method*
- [2] EN 1793-5: 2003 *Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 5 Intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation*



# PRESENTAZIONE

# IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO IN SITU

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

**(1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO)**



**Studio di Ingegneria Acustica**  
**Via Cav. di Vittorio Veneto, 8**  
**10098 RIVOLI (TO)**  
**Tel. 011-9566871 Fax 011-9561261**  
**e-mail [sia.pisani@tin.it](mailto:sia.pisani@tin.it)**



## **PREMESSA**

**La misura del coefficiente di assorbimento acustico si basa principalmente utilizzando due tecniche :**

- la prima per incidenza diffusa in camera riverberante (ISO 354)
- la seconda per incidenza normale nel tubo ad onde stazionarie

**Il metodo per incidenza normale a sua volta può essere suddiviso:**

- Tecnica in tubo ad onde stazionarie (ISO 10534-1 e ASTM C384)
- Tecnica in tubo che utilizza la funzione di trasferimento (ISO 10534-2 e ASTM E1050)
- Tecnica basata sulla risposta all'impulso (ISO 1793/5).

## VANTAGGI / SVANTAGGI DEI METODI

Per la misura in campo diffuso è richiesto un laboratorio munito di camera riverberante. Il campione deve avere una superficie superiore ai  $10 \text{ m}^2$ .

Il tubo ad onde progressive, se da un lato ha il vantaggio di un'attrezzatura poco ingombrante, ha lo svantaggio di richiedere molto tempo per la misura

Il metodo con la funzione di trasferimento è più veloce ma richiede una strumentazione ed un software appositamente studiato.

La misura con la risposta all'impulso si applica principalmente in ambiente dove apposite finestre temporali eliminano le riflessioni spurie.

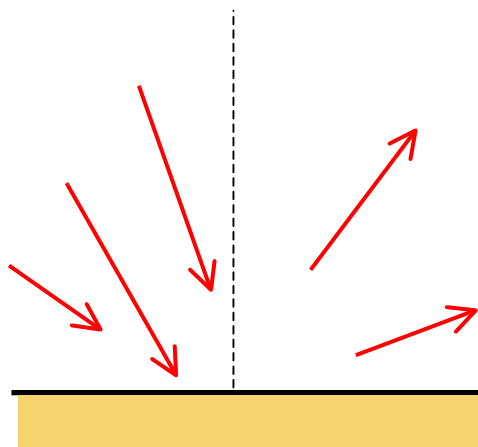
## DIVERSE DEFINIZIONI

Il coefficiente di assorbimento per **incidenza diffusa**  $\alpha_s$  è quello più comunemente richiesto per il trattamento delle sale.

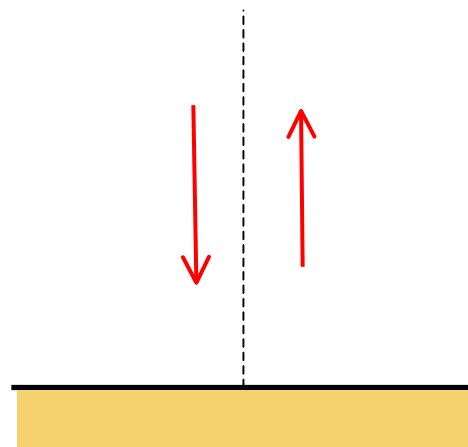
Il metodo per **onde piane fornisce** un coefficiente di assorbimento  $\alpha_0$  per **incidenza normale**, che è diverso da quello desunto in camera riverberante.

Sono stati studiati criteri per convertire il coefficiente di assorbimento ad incidenza normale  $\alpha_0$  in un coefficiente di assorbimento  $\alpha_{st}$  **per angoli ad incidenza obliqua equiprobabili**, che risulta numericamente diverso da  $\alpha_s$ .

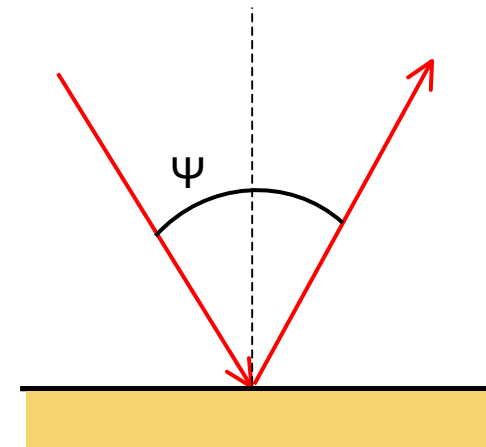
INCIDENZA DIFFUSA  $\alpha_s$ .



INCIDENZA NORMALE  $\alpha_0$



INCIDENZA OBLIQUA  $\alpha_{st}$ .



## CONFRONTI TRA MISURE – DATI DI LETTERATURA

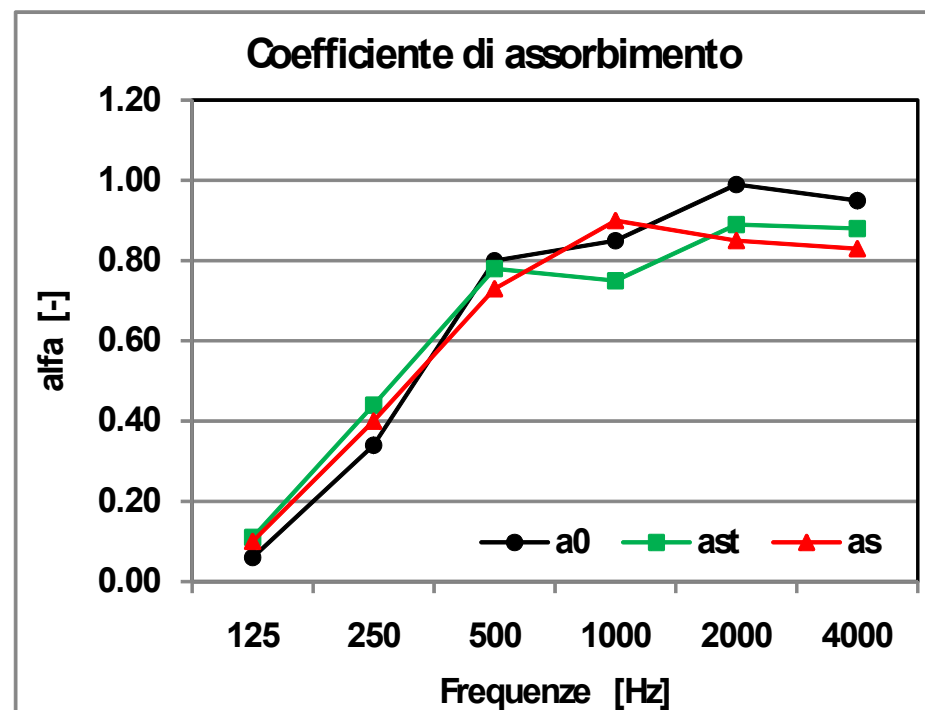
ESEMPIO: risultati di misure effettuate su un pannello di lana di vetro di spessore 40 mm

$\alpha_s$  = coeff. assorbimento per incidenza diffusa

$\alpha_0$  = coeff. assorbimento per incidenza normale

$\alpha_{st}$  = coeff. assorbimento per angoli ad incidenza obliqua equiprobabili

| Freq [Hz] | $\alpha_0$ | $\alpha_{st}$ | $\alpha_s$ |
|-----------|------------|---------------|------------|
| 125       | 0.06       | 0.11          | 0.10       |
| 250       | 0.34       | 0.44          | 0.40       |
| 500       | 0.80       | 0.78          | 0.73       |
| 1000      | 0.85       | 0.75          | 0.90       |
| 2000      | 0.99       | 0.89          | 0.85       |
| 4000      | 0.95       | 0.88          | 0.83       |



Dalla letteratura si afferma che:

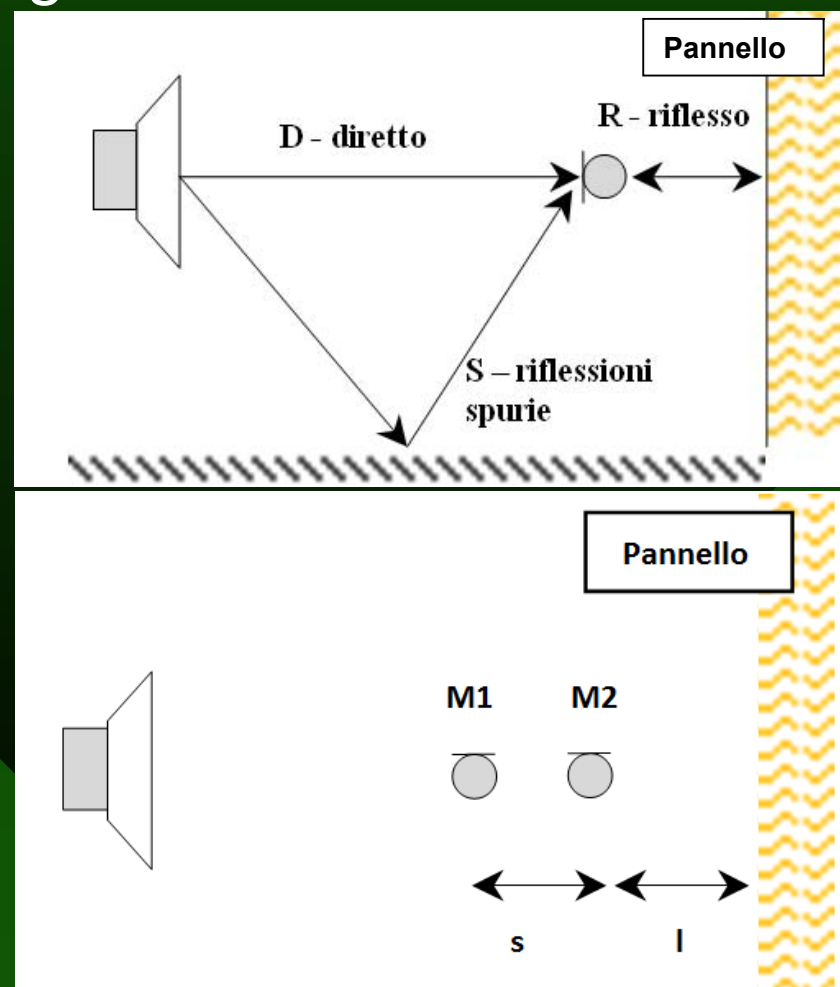
i coefficienti di assorbimento desunti per incidenza normale si avvicinano ai valori determinati in camera riverberante. Quanto detto *risulterebbe coerente solo nella gamma di frequenze compresa tra 250 Hz e 1000 Hz*

## OBIETTIVO DEL LAVORO

Nel presente lavoro si vogliono confrontare i risultati delle misure del coefficiente di assorbimento acustico, per incidenza normale, di un pannello fonoassorbente con l'impiego, in ambiente, delle seguenti due tecniche.

La tecnica che utilizza la risposta all'impulso è il metodo sottrattivo con finestrata Adrienne

La tecnica che utilizza la funzione di trasferimento tra due microfoni derivata dalla misura in tubo



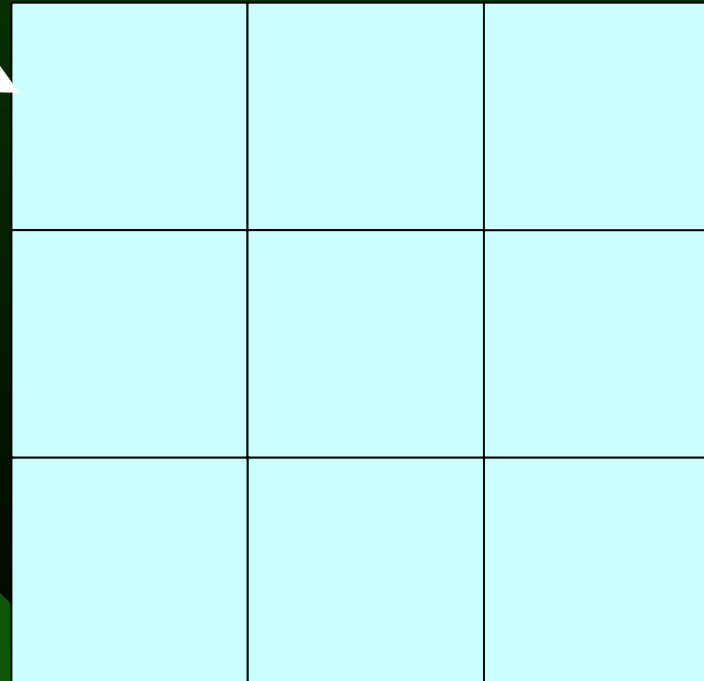
# IL PROVINO ESAMINATO

## Il pannello in prova

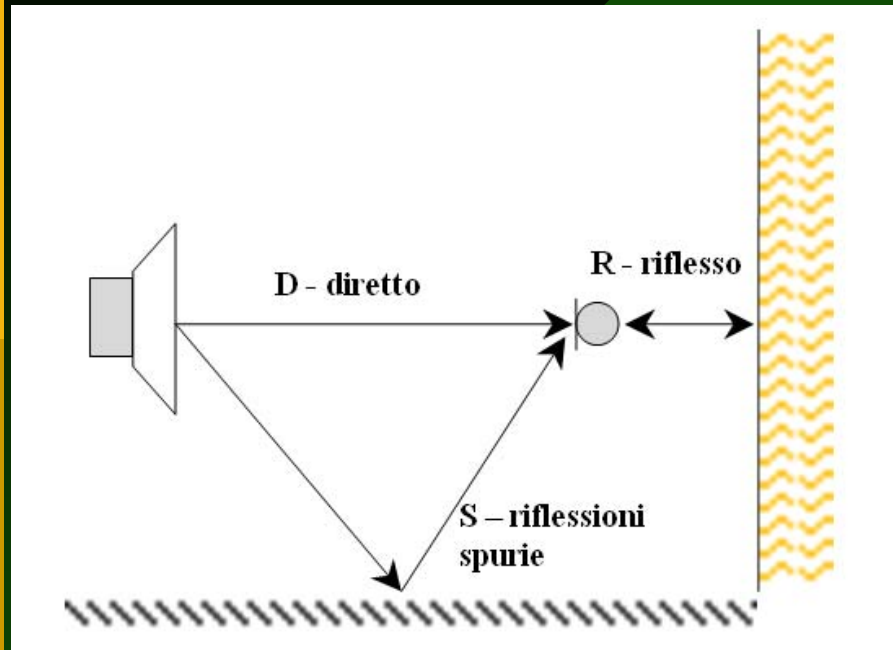
1. ha superficie pari a  $10 \text{ m}^2$  ed è montato su una parete
2. è stato testato in camera riverberante ed è quindi munito di un certificato di qualificazione in **campo diffuso**



PANNELLO  
SINGOLO 1,2 m X  
1,2 m



# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA IMPULSIVA (ISO EN 1793/5)



Si determina la risposta all'impulso con segnale e-sweep o MLS, si isola l'impulso riflesso mediante apposita finestratura

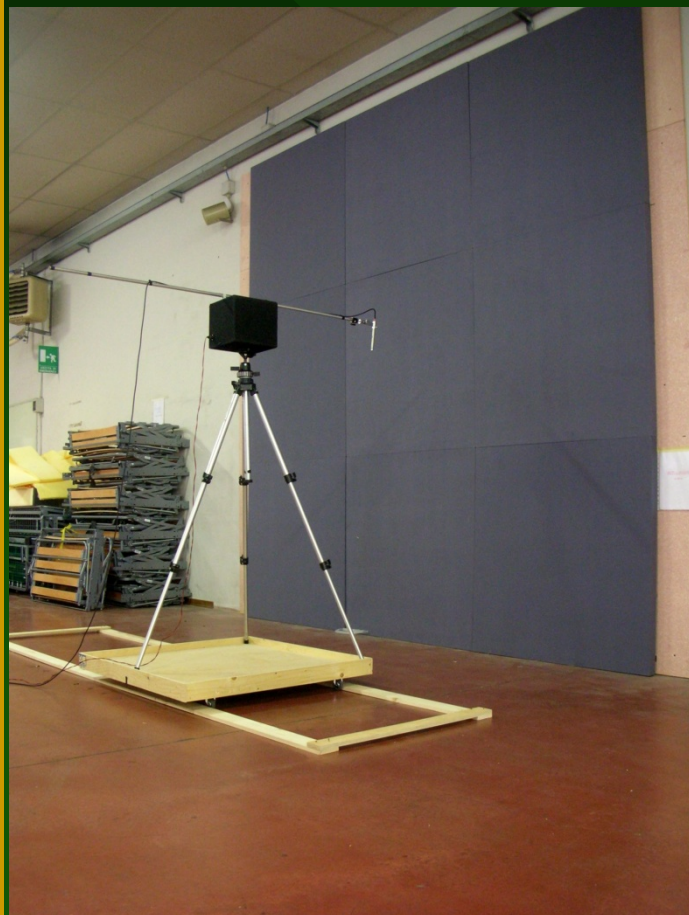
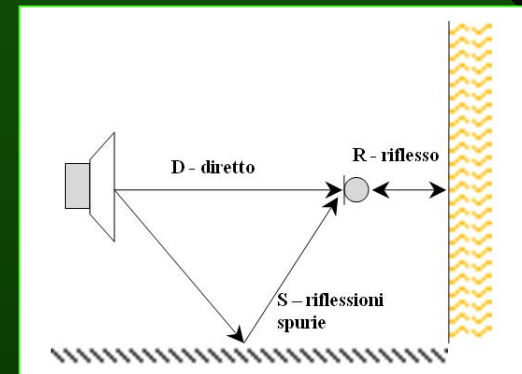
L'altoparlante è posto a 150 cm dal campione ed il microfono è posto a una distanza di 60 cm dal campione.



# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA IMPULSIVA



Pannelli fonoisolanti



Pavimentazione

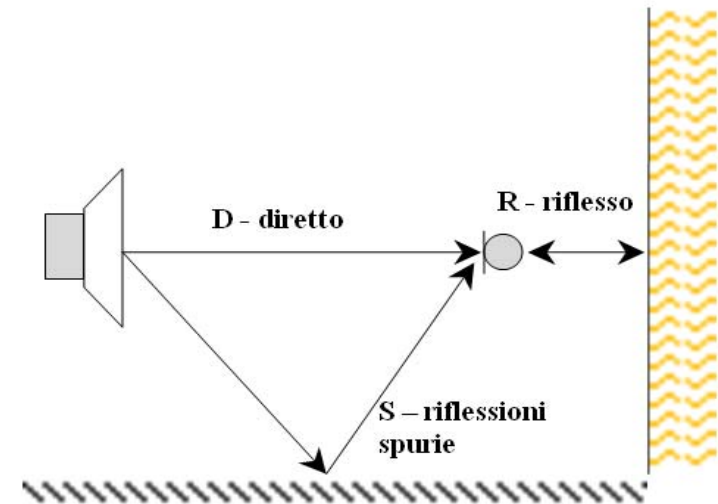
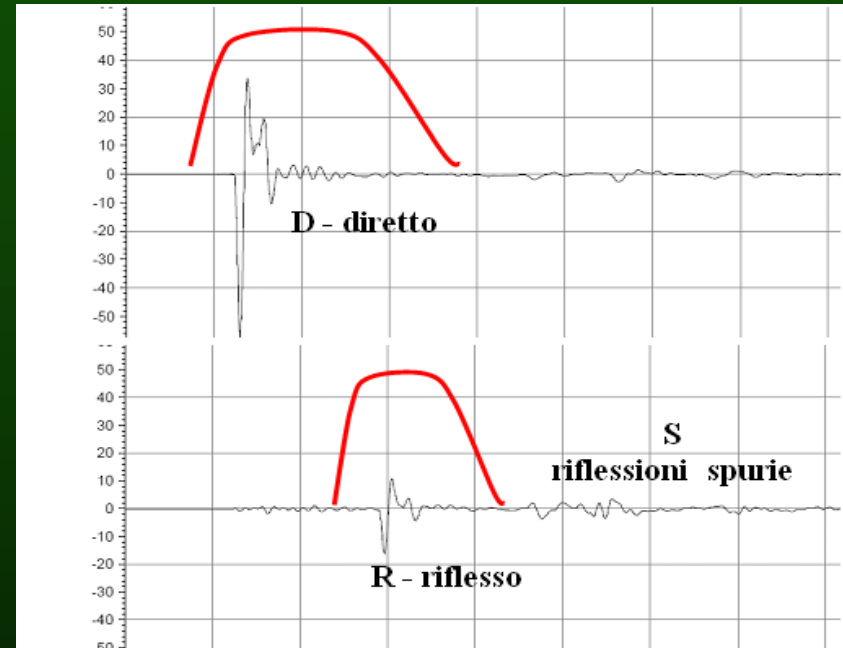
# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA IMPULSIVA

Si evidenziano, separati, l'impulso diretto captato dal microfono e quello riflesso dal campione in prova.

Il coefficiente di assorbimento  $\alpha_0$  è dato dalla relazione

$$\alpha_j = 1 - \left| \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_{r,k}(t) \cdot w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[t \cdot h_i(t) \cdot w_i(t)]|^2 df} \right|$$

- $h_i(t)$  è la risposta all'impulso di riferimento rilevata in campo libero
- $h_{r,k}(t)$  componente della risposta all'impulso riflessa dal provino
- $w_i(t)$  finestra Adrienne applicata alla risposta all'impulso di riferimento
- $w_r(t)$  finestra temporale Adrienne
- $F$  rappresenta il simbolo della trasformata di Fourier
- $j$  è l'indice della banda di terzi di ottava
- $\Delta f_j$  è l'ampiezza della banda di terzi di ottava
- $n_j$  è il numero di angoli sui quali è effettuata la media
- $t$  tempo dall'inizio della risposta all'impulso della catena di misura



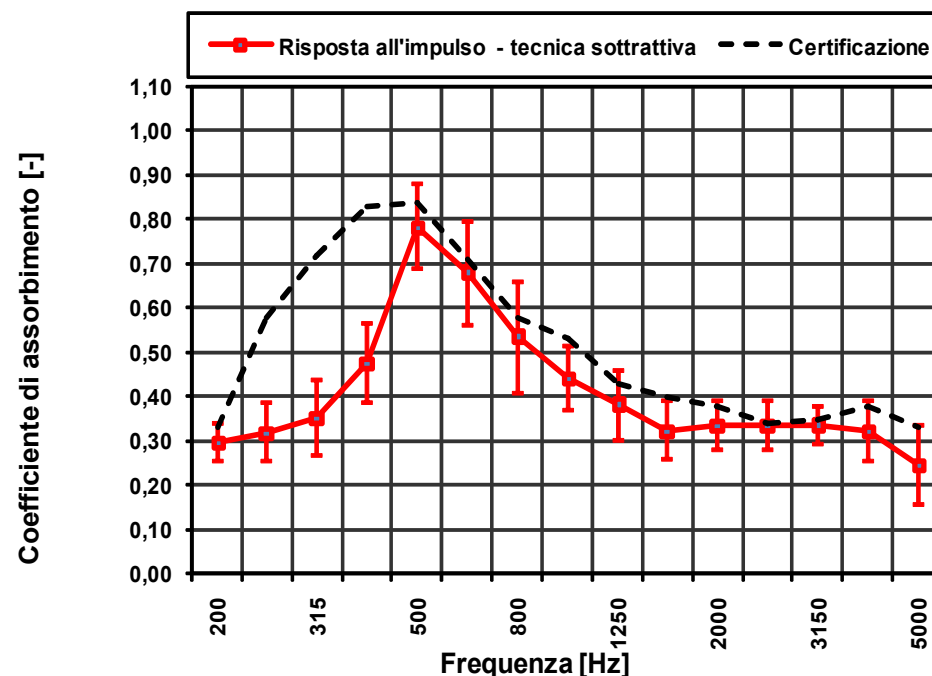
# RISULTATI DELLA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ESEGUITA CON TECNICA IMPULSIVA

In **rosso** si riporta il risultato determinato attraverso la risposta all'impulso

In **nero** si riporta per confronto il risultato ottenuto in camera riverberante

Vi è una differenza sostanziale per frequenze inferiori a 500 Hz.

Viceversa, per la banda medio – alta, si riscontra un buon accordo tra i valori misurati.

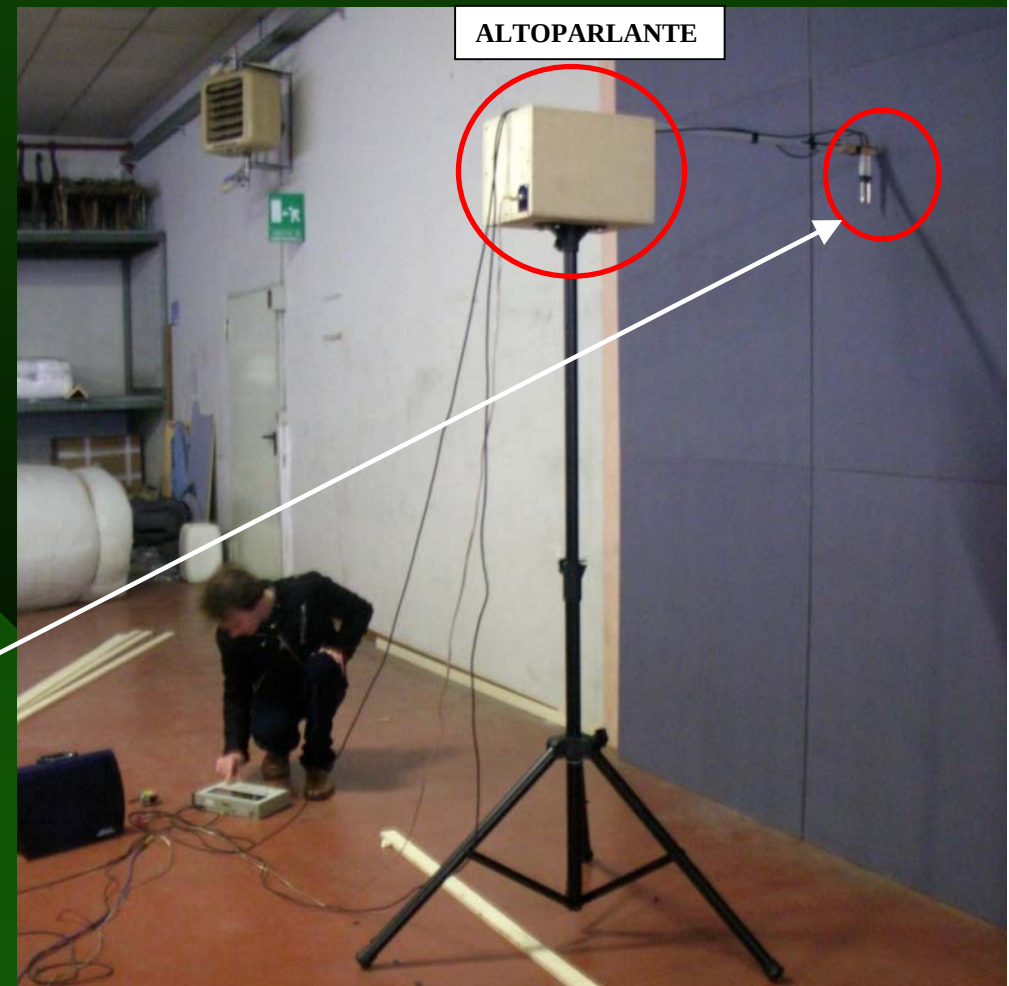


Confronto tra gli assorbimenti medi rilevati con il metodo della risposta all'impulso in campo aperto e con il metodo della camera riverberante

# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA A DUE MICROFONI IN CAMPO LIBERO

Il metodo, definito dalla ISO 10534-2, per la misura del coefficiente di assorbimento acustico in tubo con la tecnica due microfoni, è stato adattato alla misura in campo libero in prossimità del campione

PARTICOLARE DEI MICROFONI

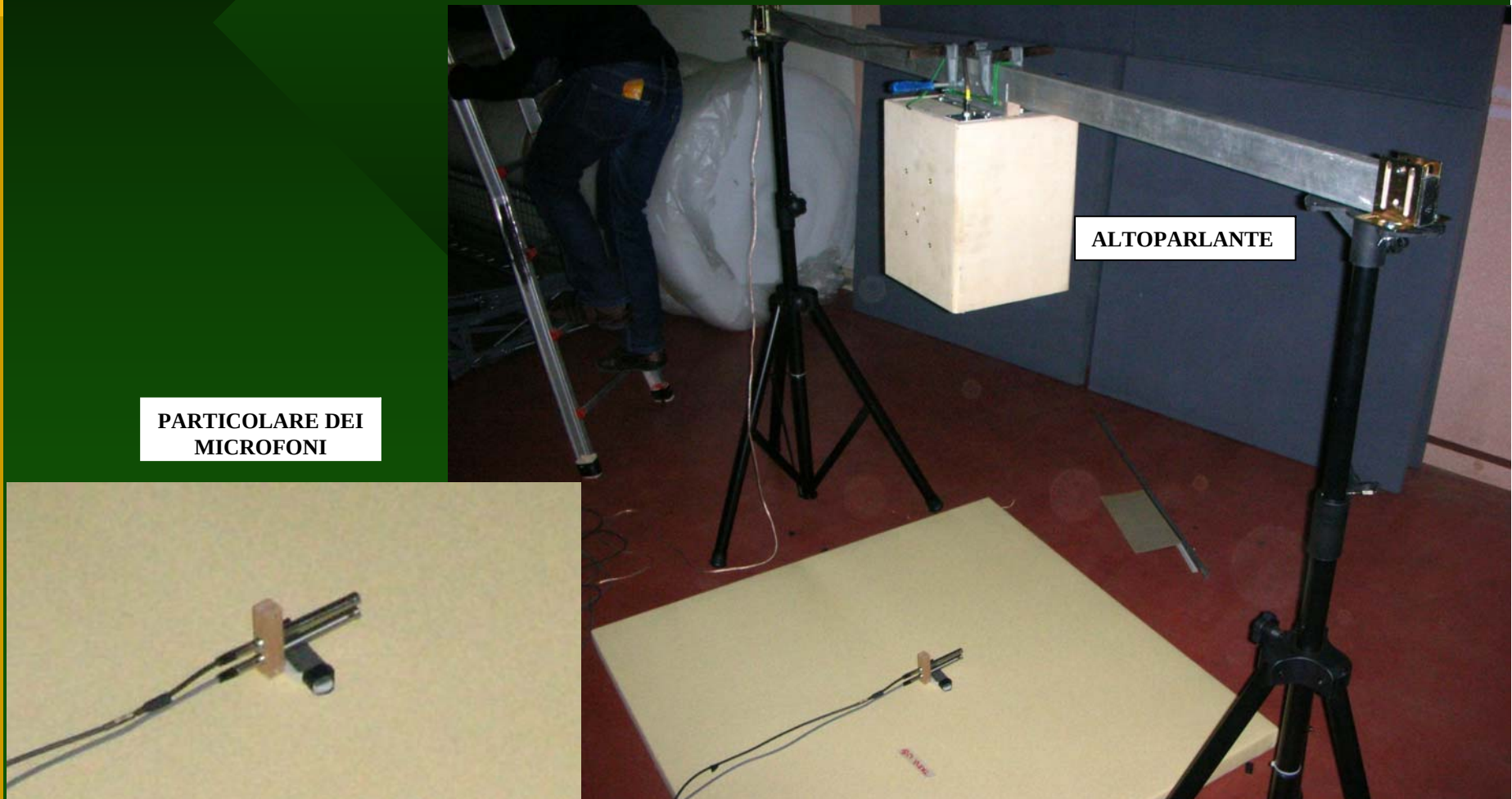


# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA A DUE MICROFONI IN CAMPO LIBERO

Esempio di disposizione orizzontale del provino (pannello fonoisolante)

PARTICOLARE DEI  
MICROFONI

ALTOPARLANTE



# MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ACUSTICO CON TECNICA A DUE MICROFONI IN CAMPO LIBERO

Il coefficiente di assorbimento  $\alpha$  è ricavabile attraverso la funzione di trasferimento  $H_{12}$  mediante la seguente relazione:

$$\alpha = 1 - \left| \frac{H_{12} \cdot e^{jkx_1} - e^{jkx_2}}{e^{-jkx_2} - H_{12} \cdot e^{-jkx_2}} \right|^2$$

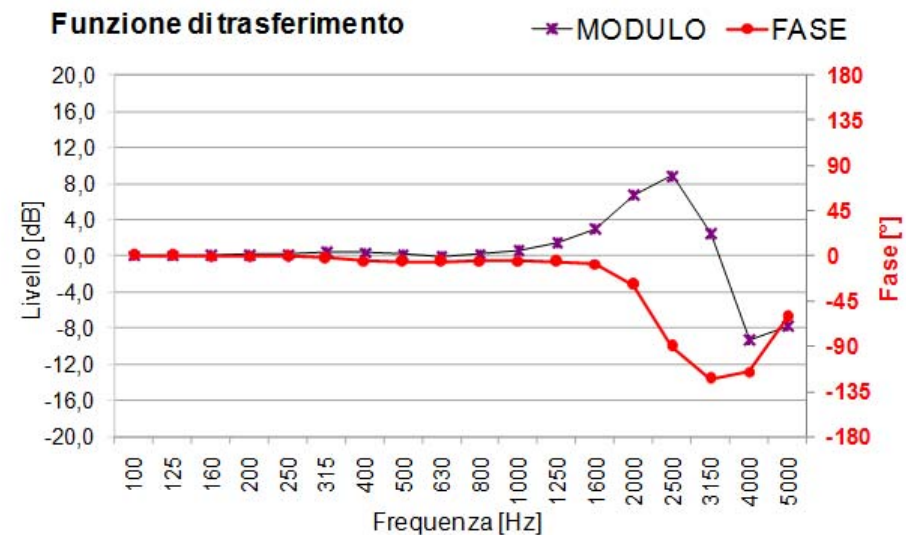
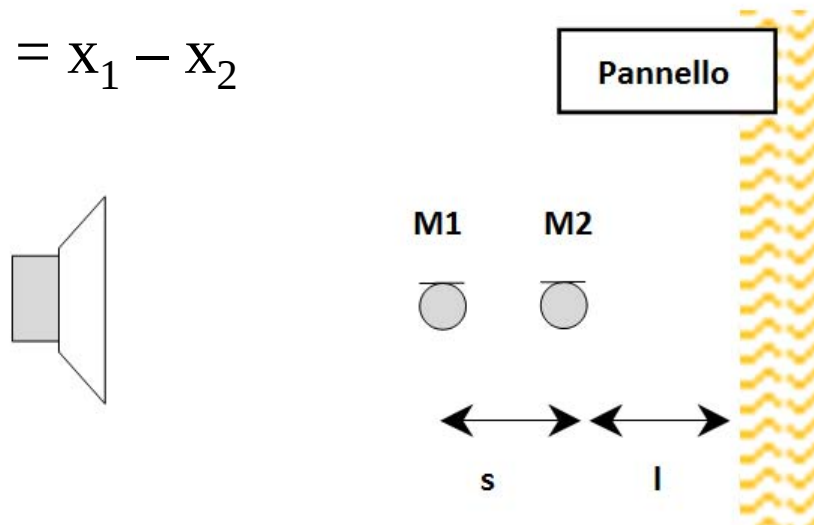
dove

$H_{12}$  è la funzione di trasferimento tra il microfono M1 ed il microfono M2

$x_1$  e  $x_2$  sono le distanze dei microfoni 1 e 2 rispetto al pannello

ESEMPIO: setup di misura e funzione di trasferimento

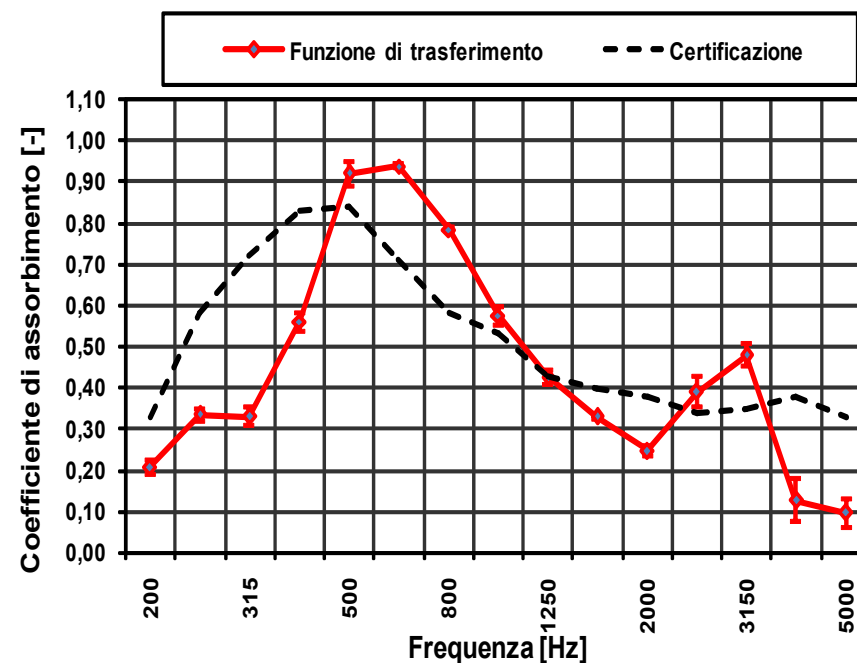
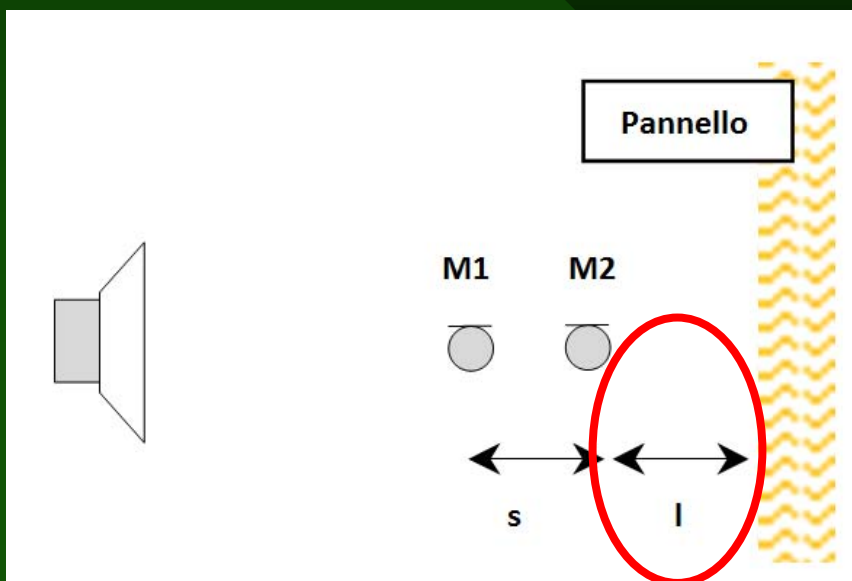
$$S = x_1 - x_2$$



# RISULTATI DELLA MISURA DEL COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO ESEGUITA CON FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

Si rileva, per l'intera gamma di frequenze, un evidente scarto rispetto ai valori dell'assorbimento acustico forniti dalla certificazione, anche se la deviazione standard risulta estremamente contenuta.

Per distanze tra microfono e provino superiori a  $l = 20$  mm emergono grosse differenze con i coefficienti di assorbimento in campo diffuso che pregiudicano i risultati ottenuti



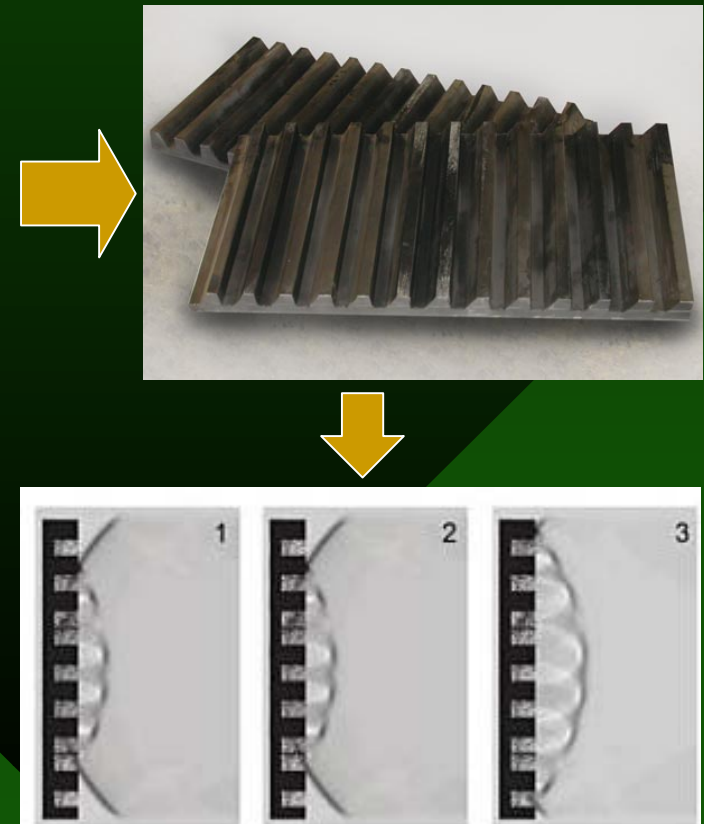
Confronto tra gli assorbimenti medi rilevati con il metodo della funzione di trasferimento e ed in campo diffuso (certificazione)

## CONCLUSIONI SULLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

Tale metodo è analogo al rilievo della funzione di trasferimento in tubo. Si può applicare tale metodo se si rendono meno rigorose le ipotesi relative a propagazione sonora per onda piana, verificata solamente per superfici molto ampie, isotrope e omogenee. I valori determinati non sempre rappresentano il comportamento di grandi superfici o strutture complesse (provini con intercapedini o particolari sagomature)

Le discontinuità superficiali possono determinare effetti di diffrazione e (le sorgenti immagine che definiscono la frazione di energia riflessa dal materiale investito dall'onda sonora) possono creare "lobi di radiazione" ed onde sferiche che devono essere caratterizzate in modulo e fase per risolvere il sistema per  $H_{12}$

Si ha il vantaggio, rispetto alla misura in tubo, che non è necessario sagomare il campione o trattarlo preventivamente per la misura.



## CONCLUSIONI SULLA TECNICA DELLA RISPOSTA ALL'IMPULSO

Una corretta misura prevede dimensioni adeguate del provino come indicate dalla ISO 1793/5.

Nella tabella seguente si riporta un esempio di calcolo su un sistema di misura dato

| SETUP di misura          |     |     | DATI USCITA          |     |    |
|--------------------------|-----|-----|----------------------|-----|----|
| Vel. Suono               | 343 | m/s | f,min analisi        | 175 | Hz |
| Distanza Mic -superficie | 1,5 | m   | r, cerchio minimo    | 1,8 | m  |
| Dist. Mic - altoparlante | 0,8 | m   | lato,quadrato minimo | 3,1 | m  |

Se il rilievo è effettuato in interni, l'ambiente di prova deve essere ampio, esso, infatti, determina le riflessioni parassite che riducono la finestra di analisi

La tecnica è sensibile alla temperatura ambientale (da letteratura ad es. si indica uno scarto del valore di assorbimento pari a 0,03 per 1°C di variazione di temperatura)