

## LABORATORIO DI ACUSTICA

Misura del coefficiente di assorbimento acustico apparente in campo diffuso secondo la norma UNI EN ISO 354:2003

Cliente	Oudimmo Acoustic Design - SONORYZE® Via Tonale 74 - 24061 Albano Sant'Alessandro (BG)
Materiale in prova	AkuPan® FireSafe – Assorbitore planare
Data del test	10/09/2021
Laboratorio	Camera Riverberante Laboratorio di Acustica Dipartimento di Ingegneria Università degli Studi di Ferrara Via Saragat, 1 44122 FERRARA
Sperimentatori	Ing. Cristina Marescotti
Numero di pagine	15

Il Responsabile

Ing. Francesco Pompoli



## 1. Descrizione del metodo di misura

La norma UNI EN ISO 354:2003 [1] descrive la modalità di misura del coefficiente di assorbimento acustico apparente in campo diffuso; la misura viene effettuata in una camera riverberante conforme alle caratteristiche indicate in [1] valutandone il tempo di riverberazione in assenza ed in presenza di una superficie compresa tra 10 m<sup>2</sup> e 12 m<sup>2</sup> di materiale in prova.

La misura viene eseguita secondo [1] in bande di terzi di ottava tra 100 Hz e 5000 Hz.

## 2. Ambiente di misura e strumentazione

Le misure sono state condotte nella camera riverberante del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara; la camera presenta pareti non ortogonali tra loro ed un soffitto inclinato, con un volume complessivo di 252.5 m<sup>3</sup> ed una superficie complessiva di 246.5 m<sup>2</sup> (esclusi elementi diffondenti).

La camera rispetta le specifiche previste dalla norma [1], ed in particolare:

- un'area di assorbimento equivalente inferiore al limite previsto dalla norma in funzione del volume (tabella 1);
- sei colonne che agiscono come elementi diffondenti, di diametro 0.3 m e altezza media 5.0 m (le colonne non presentano tutte la medesima altezza poiché il soffitto è inclinato). La superficie totale delle 6 colonne è pari a 28.9 m<sup>2</sup>;
- quattro diffusori acustici fissi di dimensione 2.0 m x 2.2 m, con un raggio di curvatura di 5.0 m e un'area frontale pari a 4.35 m<sup>2</sup>. Essi sono appesi al soffitto e verificati in conformità all'annesso A paragrafo A.2. La superficie totale dei diffusori appesi è pari a 34.8 m<sup>2</sup> (considerando le due superfici esposte al campo acustico).

La strumentazione utilizzata è costituita da:

- PC con sistema di analisi Real-Time a 8 canali Soundbook Expander;
- Software di misura SAMURAI 2.6;
- 6 microfoni da ½ pollice Bruel and Kjaer 4189-A-021 e preamplificatori Bruel and Kjaer 2671 ad alimentazione ICP;
- 3 sorgenti sonore (dodecaedri) Lookline D203 con amplificatore e generatore di

segnali DA204 Lookline.

Il metodo utilizzato per il calcolo dei tempi di riverberazione è quello della risposta all'impulso integrata (metodo indiretto): viene generato un segnale sine sweep logaritmico da 63 Hz a 10000 Hz, e dalle registrazioni nell'ambiente, tramite convoluzione, viene calcolata la risposta all'impulso. Da questa, tramite integrale all'indietro di Schroeder, viene ricavato il decadimento da rumore stazionario interrotto e su questo calcolato il parametro  $RT_{20}$ .

Tutte queste operazioni vengono effettuate automaticamente dal modulo Tempo di Riverberazione del software Samurai.

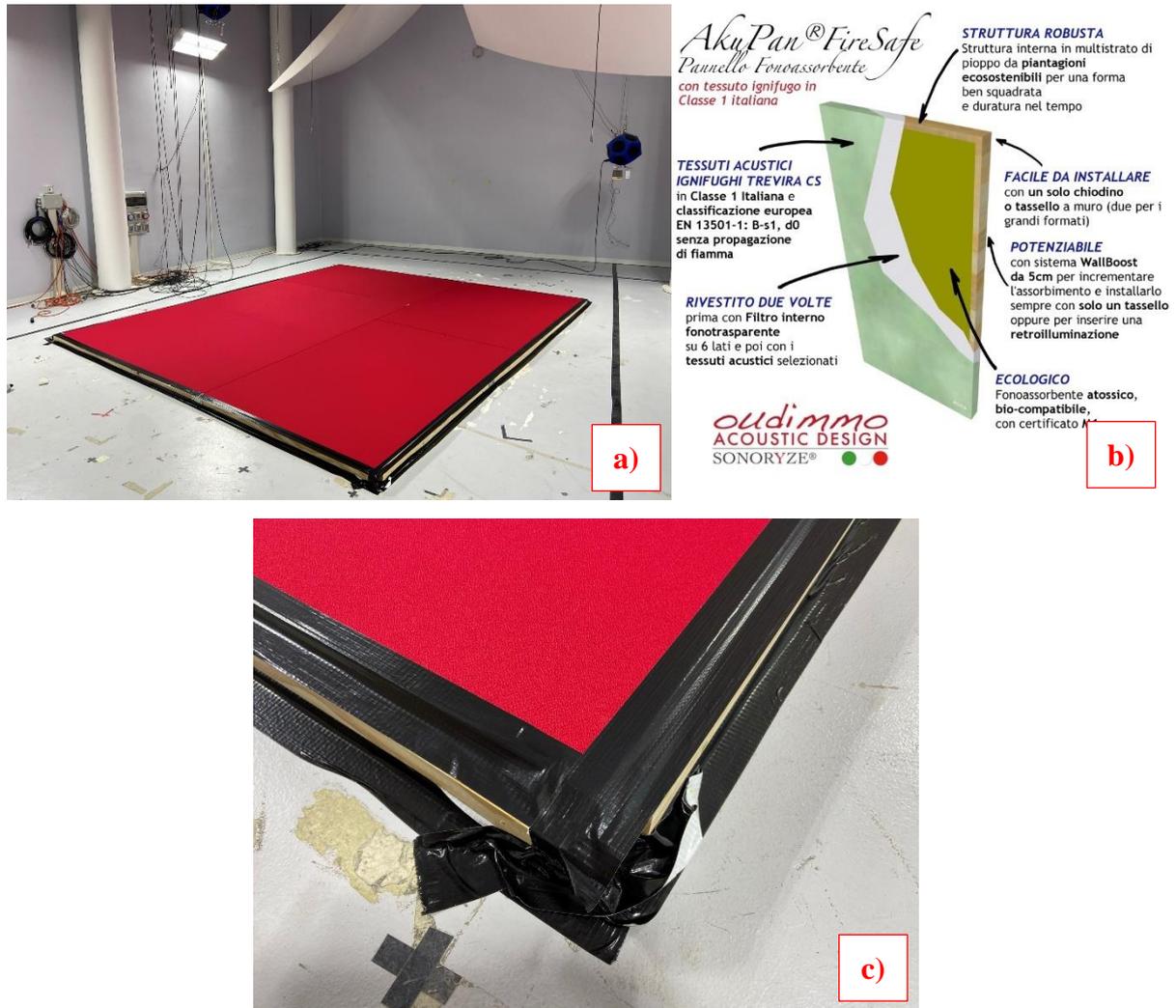
**Tabella 1 – Confronto area di assorbimento equivalente in terzi d'ottava tra la camera riverberante di prova e il valore limite superiore previsto dalla norma [1].**

Frequenza [Hz]	A <sub>1</sub> camera riverberante	A <sub>1</sub> limite superiore
100	6.67	7.56
125	7.07	7.56
160	6.77	7.56
200	7.40	7.56
250	7.42	7.56
315	7.02	7.56
400	6.80	7.56
500	6.64	7.56
630	6.83	7.56
800	6.94	7.56
1000	7.25	8.14
1250	7.42	8.72
1600	8.02	9.30
2000	8.75	11.04
2500	9.13	12.21
3150	9.47	13.95
4000	8.66	15.11

### 3. Descrizione del materiale in prova

Il materiale in prova, commercialmente denominato AkuPan® FireSafe, è costituito da una matrice in fibra minerale biocompatibile con una struttura perimetrale in multistrato di pioppo, di sezione 25 mm x 50 mm. Le lastre sono composte da un doppio

rivestimento: il primo in TNT ignifugo, mentre il secondo in tessuto ignifugo traspirante. Il materiale si presenta in pannelli di dimensione 120.3 cm x 180.2 cm x 5.2 cm, con una densità superficiale di circa 5.25 kg/m<sup>2</sup>. La sezione del materiale con le specifiche relative alla stratigrafia sono mostrate in figura 1 – b).



**Figura 1 – Configurazione di prova: a) provino totale; b) stratigrafia del materiale testato; c) zoom della sigillatura laterale, con nastro telato e telaio in legno.**

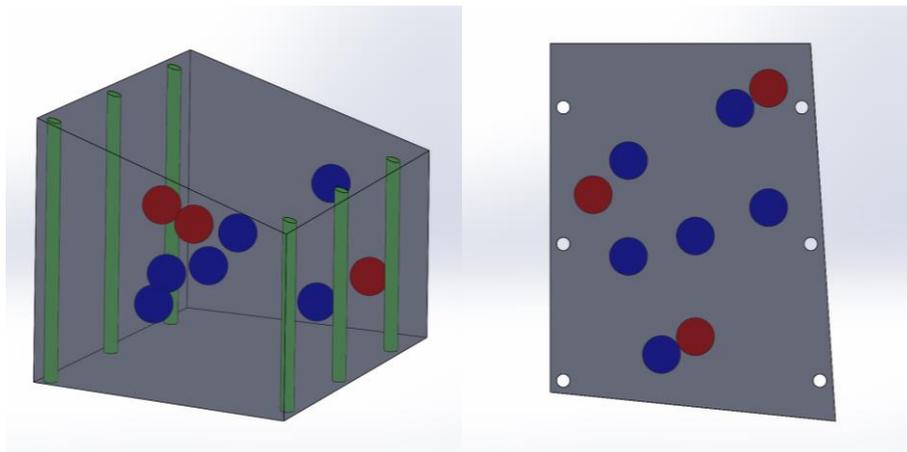
Un totale di 5 pannelli sono stati accostati fino a costituire una superficie continua di dimensione 3.01 m x 3.61 m (rapporto larghezza su lunghezza pari a 0.83). Sul

perimetro è stata posta una cornice riflettente in legno di altezza pari a 5.2 cm e spessore 2.5 cm. La superficie totale occupata dal provino di test (materiale più cornice riflettente) risulta avere dimensioni di 3.06 m x 3.66 m. La configurazione di prova prevede il montaggio del provino secondo la tipologia “Type A mounting” descritta nell’Annesso B della norma di riferimento [1]. Nello specifico si ha:

- Il provino posizionato a pavimento e racchiuso da una cornice di legno. In figura 1 – a) si può vedere il provino totale costituito dai 5 pannelli e dal sistema di sigillatura laterale;
- La stessa cornice viene inoltre sigillata con del nastro telato su tutto il perimetro, posto sia nel contatto cornice-pavimento, sia in quello cornice-materiale, come indicato da norma [1] e mostrato nello zoom di figura 1 – c).

#### 4. Procedure di misura e metodo di calcolo

Le misure sono state effettuate con 3 posizioni sorgente e 6 posizioni microfoniche, per un totale di 18 combinazioni sorgente/microfono; nelle figure 2a e 2b vengono riportate le posizioni utilizzate.



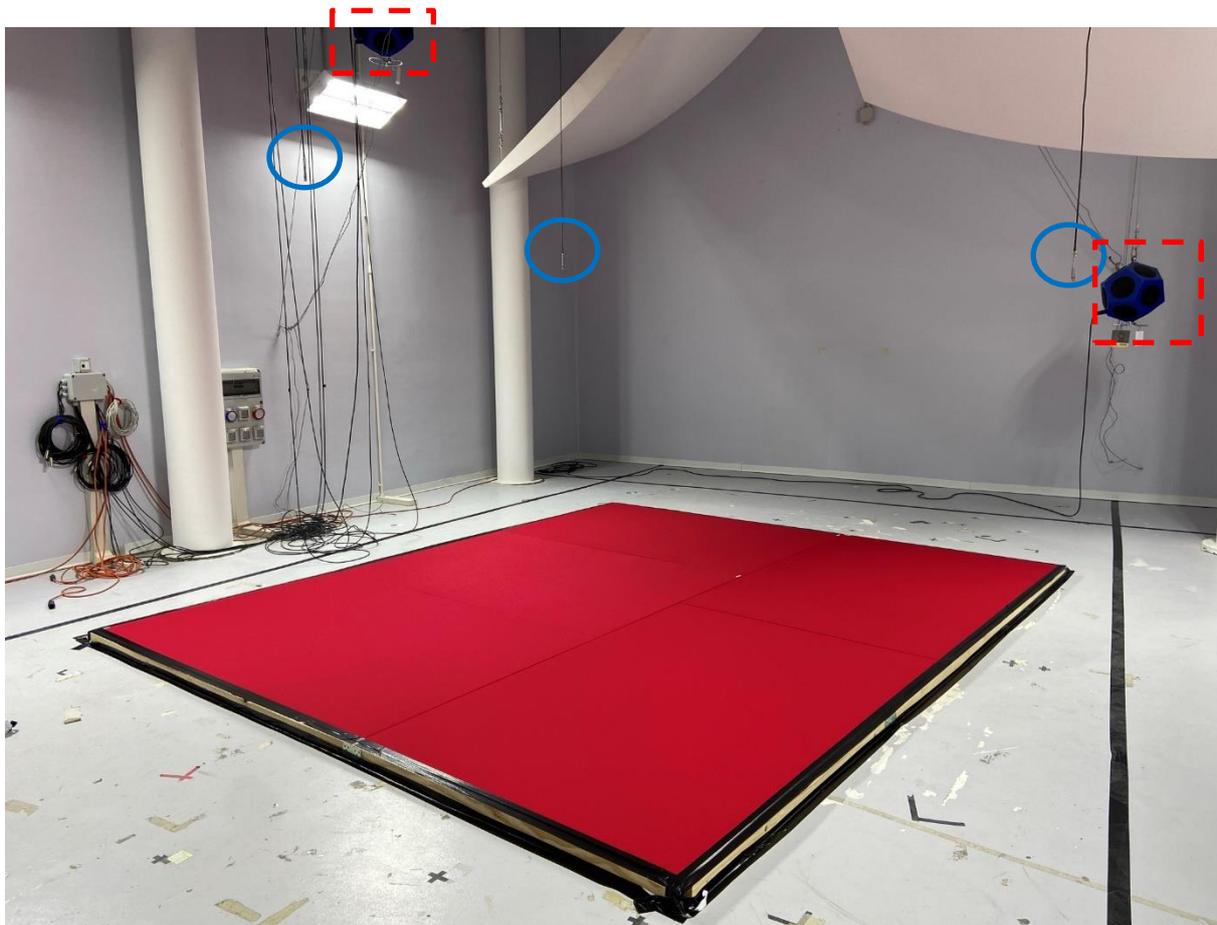
**Figura 2a – Punti di misura: blu – posizioni microfoniche; rosso – posizioni sorgenti.**

Le misurazioni sono state condotte a camera vuota e a camera con materiale in prova. Le variazioni subite dalle condizioni meteorologiche (temperatura ambiente, umidità

relativa percentuale e pressione atmosferica) sono riportate in tabella 2, a seconda della prova effettuata.

**Tabella 2 – Condizioni metereologiche durante i test.**

	T [°C]	u.r %	pa [Pa]
Camera vuota	23.0	38.0	100800
Camera con Assorbitore Planare	23.8	41.0	100800



**Figura 2b – Punti di misura: blu – posizioni microfoniche; rosso – posizioni sorgenti.**

I tempi di riverberazione, con e senza materiale, sono stati calcolati come media aritmetica dei 18 valori calcolati per ciascuna frequenza.

Dai due tempi di riverberazione vengono calcolate le unità assorbenti equivalenti secondo la formula:

$$A_T = A_2 - A_1 = 55,3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1)$$

Dove:

- $A_1$ : area di assorbimento equivalente della camera vuota [m<sup>2</sup>];
- $A_2$ : area di assorbimento equivalente della camera in presenza del provino di test [m<sup>2</sup>];
- $V$ : volume della camera riverberante vuota [m<sup>3</sup>] pari a 252.5 m<sup>3</sup>;
- $c_1$ : velocità di propagazione del suono in aria della camera vuota [m/s];
- $c_2$ : velocità di propagazione del suono in aria della camera in presenza del provino di test [m/s];

Per valori di temperatura compresi nel range [15 – 30] °C, la velocità di propagazione del suono può essere calcolata usando la seguente formula:

$$c = (331 + 0.6 \cdot t)$$

in cui  $t$  è la temperatura dell'aria espressa in [°C].

- $T_1$ : tempo di riverberazione della camera vuota [s];
- $T_2$ : tempo di riverberazione della camera in presenza del provino di test [s];
- $m_1$ : coefficiente di attenuazione di potenza calcolato in accordo alla ISO 9613-1 usando le condizioni climatiche della camera riverberante vuota [m<sup>-1</sup>]. Il valore di  $m$  può essere calcolato dal coefficiente di attenuazione  $\alpha$  descritto nella ISO 9613-1 [2], utilizzando la seguente formula:

$$m = \frac{\alpha}{10 \log(e)}$$

- $m_2$ : coefficiente di attenuazione di potenza calcolato in accordo alla ISO 9613-1 usando le condizioni climatiche della camera riverberante vuota in presenza del provino di test [m<sup>-1</sup>].

Successivamente si calcola il coefficiente di assorbimento acustico apparente per campo diffuso come:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S}$$

Dove:

- S: superficie ricoperta dal materiale di prova [m<sup>2</sup>]. Nel caso in esame S=10.87 m<sup>2</sup>, pari alla superficie frontale del solo materiale. La superficie della cornice non viene inclusa nel calcolo dell'assorbimento come indicato da norma.

## 5. Risultati

**Tabella 3 – Tempi di riverberazione T<sub>20</sub> [s] e coefficiente di assorbimento acustico apparente α<sub>s</sub> per incidenza diffusa del materiale testato in bande di terzo di ottava.**

Frequenza [Hz]	T <sub>20</sub> [s]		α <sub>s</sub> [-]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
100	6.00	4.74	100	0.16
125	5.63	4.20	125	0.22
160	5.83	3.41	160	0.45
200	5.29	2.86	200	0.59
250	5.22	2.40	250	0.83
315	5.42	2.18	315	1.02
400	5.50	2.15	400	1.05
500	5.53	2.09	500	1.10
630	5.30	2.02	630	1.13
800	5.12	2.04	800	1.09
1000	4.81	2.00	1000	1.08
1250	4.57	2.03	1250	1.01
1600	4.08	1.92	1600	1.02
2000	3.58	1.80	2000	1.03
2500	3.19	1.73	2500	1.00
3150	2.76	1.62	3150	0.98
4000	2.45	1.53	4000	0.97
5000	2.00	1.37	5000	0.95

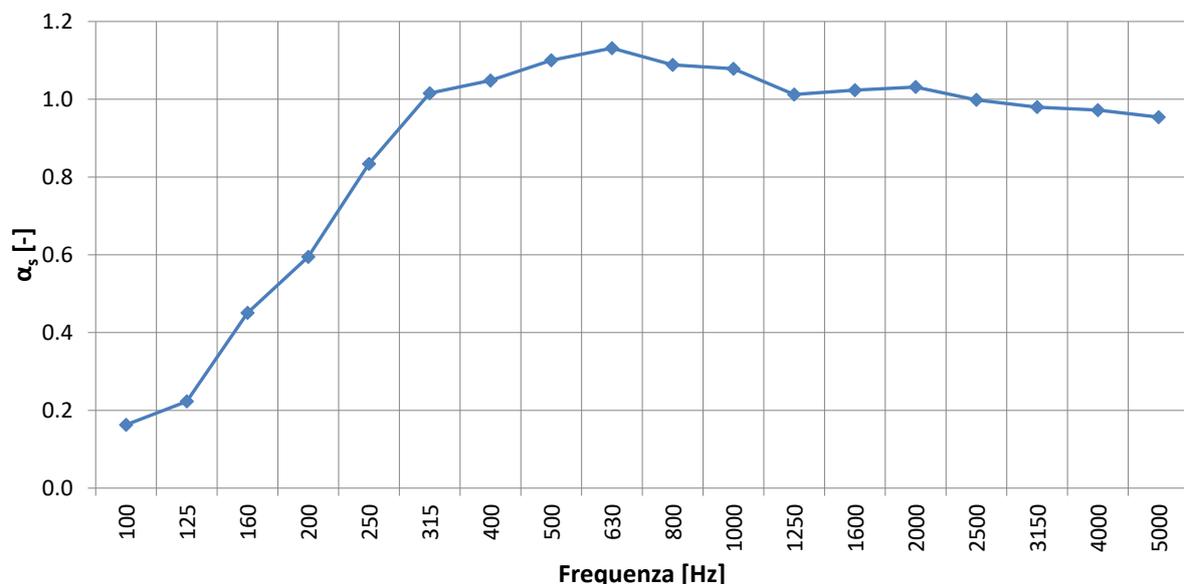
In tabella 3 vengono riportati sia i tempi di riverberazione rilevati a camera vuota e con il materiale di prova, sia i valori del coefficiente acustico apparente α<sub>s</sub> per incidenza diffusa. La tabella è relativa alle bande in terzo di ottava [100 – 5000] Hz, come stabilito

dalla norma [1]. I valori relativi al range in frequenza esteso in cui sono state effettuate le misure [63 – 10000] Hz, sono riportati in allegato A del presente report. L'andamento del coefficiente di assorbimento  $\alpha_s$  viene mostrato in figura 3.

In tabella 4 sono riportati i valori del coefficiente di assorbimento acustico apparente per incidenza diffusa in banda di ottava, ottenuti dalla media aritmetica delle tre bande di terzo di ottava contenute nell'ottava analizzata, come definito in norma [1].

**Tabella 4 – Coefficiente di assorbimento acustico apparente  $\alpha_s$  per incidenza diffusa del materiale testato in bande di ottava.**

$\alpha_s$ [-]	
Frequenza [Hz]	Materiale Testato
125	0.28
250	0.81
500	1.09
1000	1.06
2000	1.02
4000	0.97

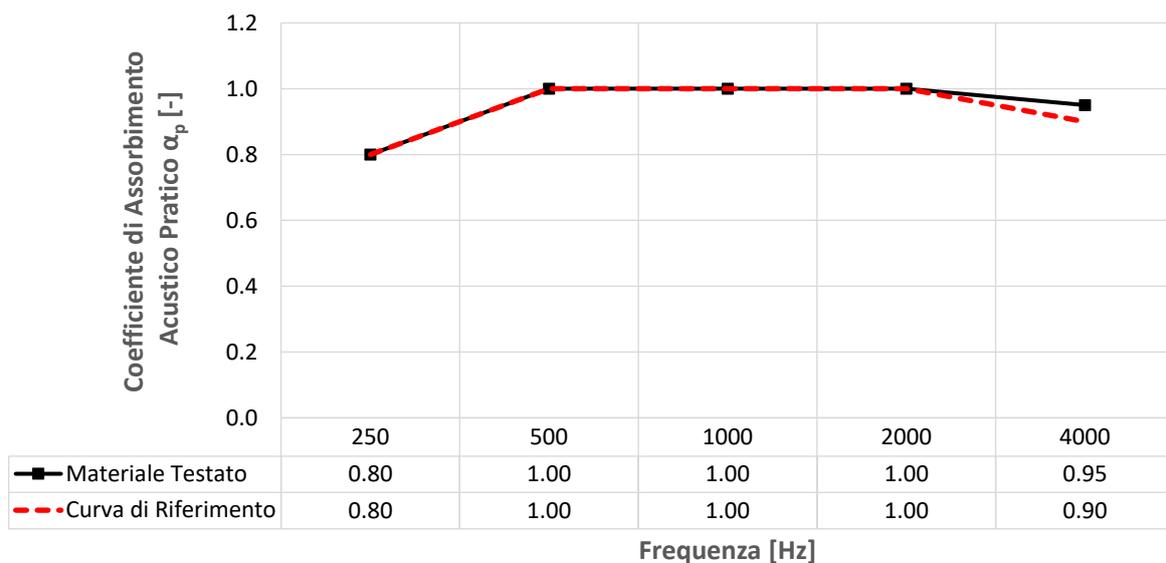


**Figura 3 – Andamento dell'assorbimento acustico apparente  $\alpha_s$  per incidenza diffusa in terzi d'ottava.**

È stato inoltre calcolato il coefficiente di assorbimento acustico ponderato  $\alpha_w$  come definito dalla UNI EN ISO 11654 [3]. Tale coefficiente rappresenta un valore unico indipendente dalla frequenza uguale al valore della curva di riferimento a 500 Hz, dopo la traslazione conformemente a quanto specificato della norma stessa [2]. I valori riportati e calcolati per il materiale di prova (tabella 5), sono seguiti dai relativi indicatori di forma, i quali mostrano se il coefficiente di assorbimento acustico pratico  $\alpha_p$  supera quello della curva di riferimento traslata di almeno 0.25 in diverse gamme di frequenza (L per 250 Hz, M per 500 Hz o 1000 Hz, H per 2000 Hz o 4000 Hz). Nel presente caso, il materiale testato non possiede nessun indicatore di forma, come mostrato in figura 4, dove viene graficato l'andamento del coefficiente di assorbimento acustico pratico  $\alpha_p$  rispetto alla curva di riferimento [3], con i relativi valori in banda di ottava, necessari per il calcolo del valore di  $\alpha_w$ .

**Tabella 5 – Coefficiente di assorbimento acustico ponderato e relativi indicatori di forma.**

	$\alpha_w$	Indicatore di forma
<b>Materiale Testato</b>	1.00	-



**Figura 4 – Andamento del coefficiente di assorbimento acustico pratico  $\alpha_p$  rispetto alla curva di riferimento in banda di ottava.**

## 6. Precisione

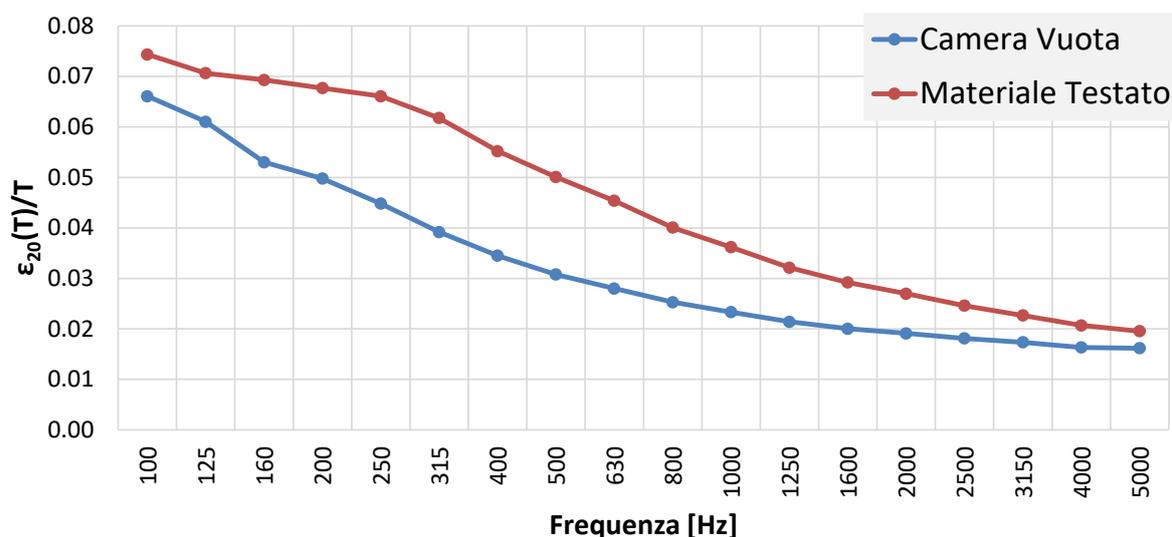
L'incertezza globale sulle misure del coefficiente di assorbimento è influenzata da due principali fattori: il primo è l'incertezza sulla misura di tempo di riverberazione ed il suo effetto è particolarmente importante quando viene utilizzato il metodo con il rumore stazionario interrotto. Il secondo fattore è dovuto ai limiti di riproducibilità, causato dal set-up di misura completo, il quale include anche la camera di riverberazione e il metodo di montaggio.

La deviazione standard relativa del tempo di riverberazione  $T_{20}$  viene stimata utilizzando la formula riportata nella ISO/TR 140-13:

$$\frac{\varepsilon_{20}(T)}{T} = \sqrt{\frac{2.42 + 3.59/N}{f \cdot T}}$$

Dove:

- $\varepsilon_{20}(T)$ : è la deviazione standard del tempo di riverberazione  $T_{20}$  [s];
- $T$ : è il tempo di riverberazione misurato [s];
- $f$ : è la frequenza di centro banda della banda di terzo d'ottava [Hz];
- $N$ : è il numero di curve di decadimento valutate.



**Figura 6 – Andamento della deviazione standard relativa in terzi d'ottava.**

I valori della deviazione standard relativa  $\epsilon_{20}(T)/T$  sono riportati in tabella 6, sia a camera vuota che in presenza del materiale di test. I corrispettivi andamenti in terzi d'ottava sono invece riportati in figura 6.

Per quanto riguarda invece la riproducibilità delle misure di coefficiente di assorbimento, tale parametro è ancora in fase di investigazione.

**Tabella 6 – Deviazione standard  $\epsilon_{20}$  del tempo di riverberazione  $T_{20}$  in terzi d'ottava.**

Frequenza [Hz]	$\epsilon_{20}(T)/T$	
	Camera vuota	Materiale Testato
100	0.066	0.074
125	0.061	0.071
160	0.053	0.069
200	0.050	0.068
250	0.045	0.066
315	0.039	0.062
400	0.035	0.055
500	0.031	0.050
630	0.028	0.045
800	0.025	0.040
1000	0.023	0.036
1250	0.021	0.032
1600	0.020	0.029
2000	0.019	0.027
2500	0.018	0.025
3150	0.017	0.023
4000	0.016	0.021
5000	0.016	0.020

## 7. Bibliografia

- [1] UNI EN ISO 354:2003, Acustica – Misura dell’assorbimento acustico in camera riverberante.
- [2] ISO 9613-1:1993, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- [3] UNI EN ISO 11654:1998, Acustica – Assorbitori acustici per l’edilizia – Valutazione dell’assorbimento acustico.

Ferrara, 13 Settembre 2021

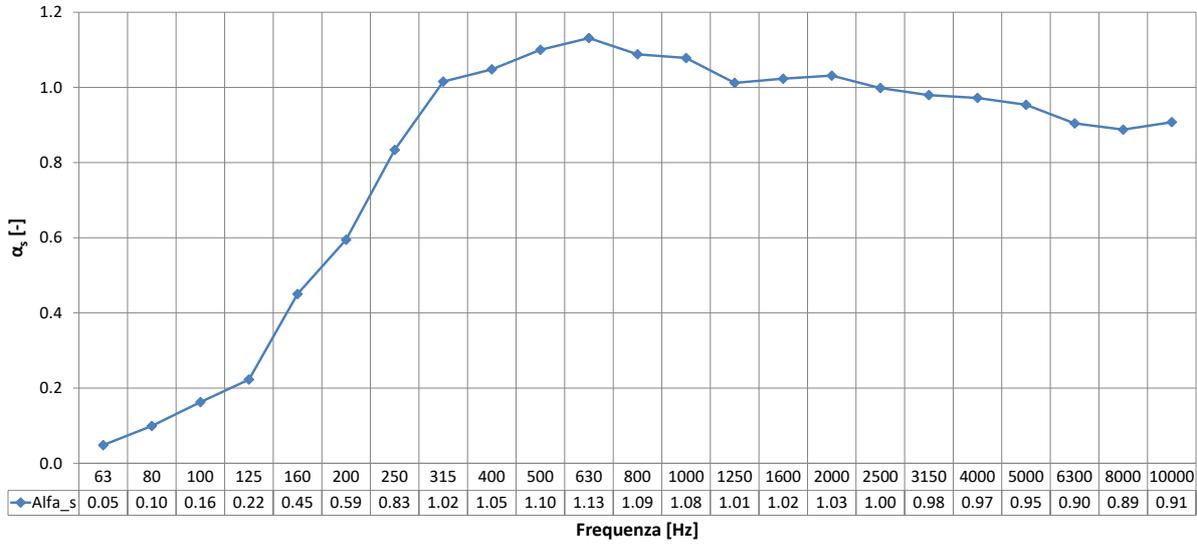
Il Responsabile  
Ing. Francesco Pompoli



**A.1. Appendice – Tempi di riverberazione e coefficiente di assorbimento acustico apparente  $\alpha_s$  per incidenza diffusa: terzi d’ottava nel range di frequenza esteso [63 – 10000] Hz.**

**Tabella A.1 – Tempi di riverberazione  $T_{20}$  [s] e coefficiente di assorbimento acustico apparente  $\alpha_s$  per incidenza diffusa del materiale testato in bande di terzo di ottava.**

Frequenza [Hz]	$T_{20}$ [s]		$\alpha_s$ [-]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
63	6.40	5.89	63	0.05
80	6.14	5.26	80	0.10
100	6.00	4.74	100	0.16
125	5.63	4.20	125	0.22
160	5.83	3.41	160	0.45
200	5.29	2.86	200	0.59
250	5.22	2.40	250	0.83
315	5.42	2.18	315	1.02
400	5.50	2.15	400	1.05
500	5.53	2.09	500	1.10
630	5.30	2.02	630	1.13
800	5.12	2.04	800	1.09
1000	4.81	2.00	1000	1.08
1250	4.57	2.03	1250	1.01
1600	4.08	1.92	1600	1.02
2000	3.58	1.80	2000	1.03
2500	3.19	1.73	2500	1.00
3150	2.76	1.62	3150	0.98
4000	2.45	1.53	4000	0.97
5000	2.00	1.37	5000	0.95
6300	1.58	1.20	6300	0.90
8000	1.15	0.96	8000	0.89
10000	0.92	0.81	10000	0.91



**Figura A.1 – Andamento dell'assorbimento acustico apparente  $\alpha_s$  per incidenza diffusa in terzi d'ottava.**