

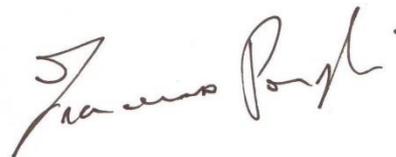
LABORATORIO DI ACUSTICA

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® SCREEN FireSafe 1812 – Assorbitori discreti
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 dell'area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} [m²] 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 un adeguato numero di elementi discreti, da definire secondo le specifiche riportate nel punto 6.2.2 della norma [1].

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 m³ ed una superficie complessiva di 246.5 m² (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 m²;
- 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 m². 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 m² (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_1 camera riverberante	A_1 limite superiore
100	6.57	7.56
125	7.02	7.56
160	6.79	7.56
200	7.42	7.56
250	7.47	7.56
315	7.00	7.56
400	6.71	7.56
500	6.66	7.56
630	6.78	7.56
800	6.94	7.56
1000	7.20	8.14
1250	7.38	8.72
1600	8.05	9.30
2000	8.81	11.04
2500	9.16	12.21
3150	9.46	13.95
4000	8.76	15.11

3. Descrizione del materiale in prova

Il materiale in prova, commercialmente denominato AkuPan® SCREEN FireSafe 1812, 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 5.81 kg/m² e rimane sospeso da terra tramite l'utilizzo di 2 supporti di appoggio da 33.0 cm x 5.0 cm (altezza) in acciaio inox. La sezione del materiale con le specifiche relative alla stratigrafia sono mostrate in figura 1 – b).



Figura 1 – Configurazione di prova: a) elementi discreti testati; b) stratigrafia del materiale testato.

La configurazione di prova prevede di testare il materiale come un assorbitore acustico discreto, poiché viene commercializzato come divisorio acustico fonoassorbente bifacciale. Il provino viene testato secondo le istruzioni riportate nel punto 6.2.2 della norma [1]. Nello specifico:

- Vengono testati 3 pannelli (numero minimo consigliato) di dimensione 120.3 cm x 180.2 cm (altezza) x 5.2 cm, montati su dei supporti in acciaio inox di altezza 5.0 cm (altezza totale del singolo pannello 185.4 cm);
- I pannelli vengono posizionati in modo casuale all'interno della camera riverberante, rispettando le seguenti distanze:



- Devono essere distanti dalle pareti (compresi colonne e diffusori) di almeno 1.0 m;
- Devono essere distanti dalle posizioni microfoniche di almeno 1.0 m;
- Devono essere distanti tra di loro di almeno 2.0 m.
- Il risultato del test deve portare ad unità assorbenti equivalenti superiori ad 1 m^2 e inferiori a 13.17 m^2 in tutto il range di misura.

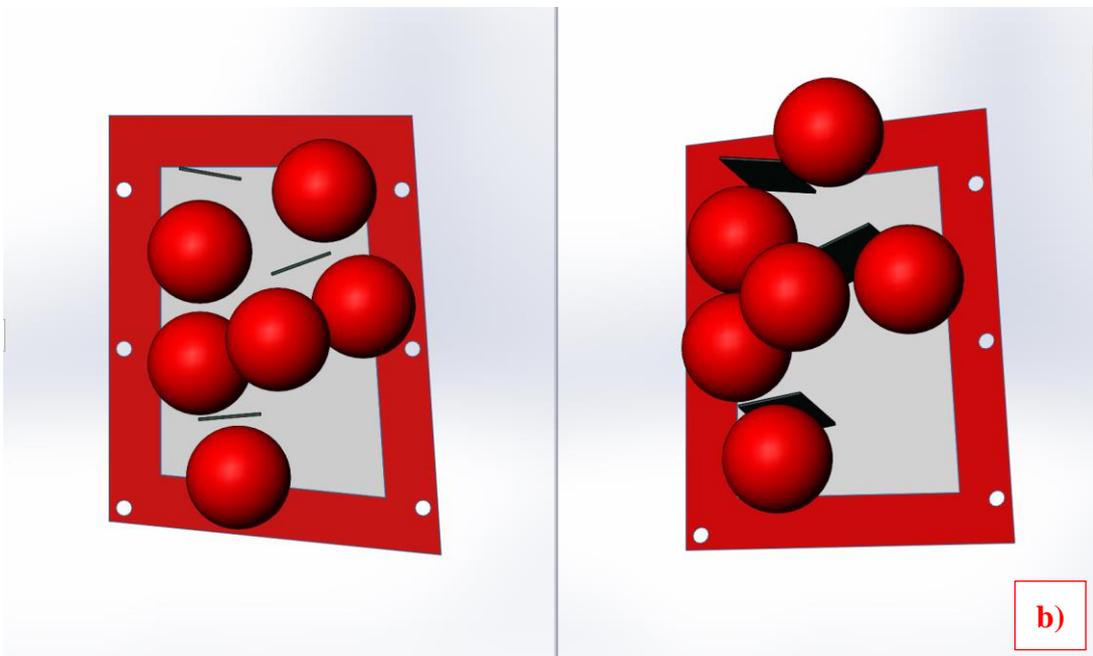


Figura 2 – Configurazione di prova: a) 3 assorbitori planari; b) CAD 3D con le distanze limite definite nella norma [1].

In figura 2 vengono riportate sia la fotografia del reale setup di misura, che il disegno 3D in cui si mostrano le distanze limiti da rispettare: la cornice rossa a pavimento, delimita la distanza da 1.0 m dalle pareti, entro la quale non devono essere posizionali gli elementi discreti; le sfere rosse, di raggio pari a 1.0 m, mostrano l'ingombro delle postazioni microfoniche e non devono intersecare gli elementi di misura.

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 3a e 3b vengono riportate le posizioni utilizzate.

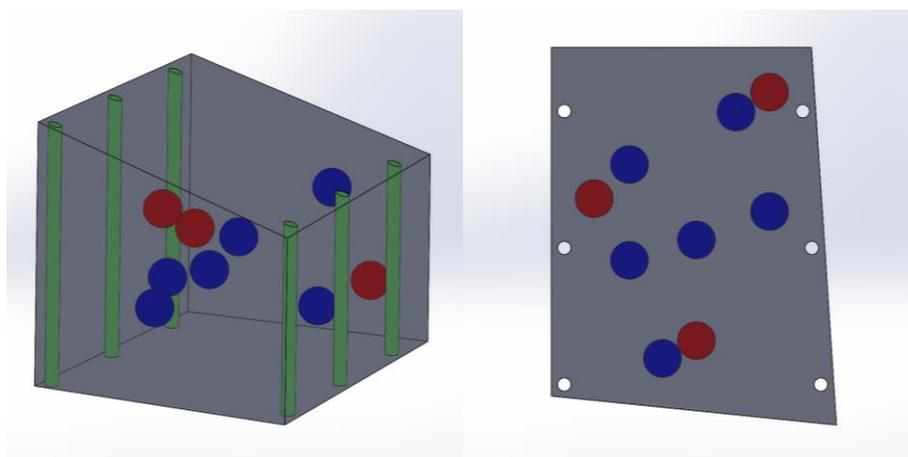


Figura 3a – Punti di misura: blu – posizioni microfoniche; rosso – posizioni sorgenti.

Le misurazioni sono state condotte a camera vuota e a camera con materiale in prova. Le variazioni subite dalle condizioni metereologiche (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	24.0	41.7	100800
Camera con Assorbitori Discreti	23.9	43.0	100800

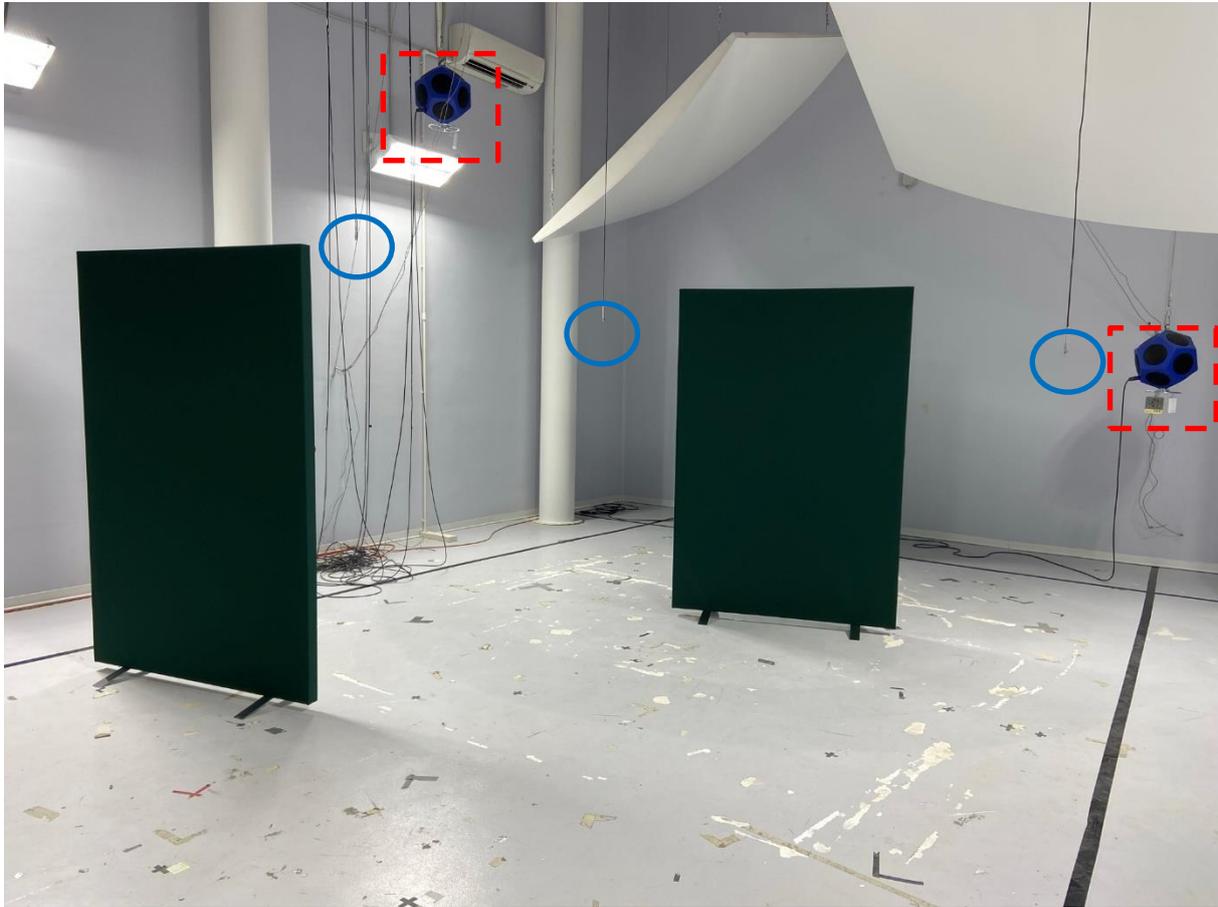


Figura 3b – Punti di misura: blu – posizioni microfoniche; rosso – posizioni sorgenti.

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 [m²];
- A_2 : area di assorbimento equivalente della camera in presenza del provino di test [m²];

- V : volume della camera riverberante vuota [m^3] pari a $252.5 m^3$;
- 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 $[15 - 30] ^\circ C$, 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 [$^\circ C$].

- 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^{-1}]. Il valore di m può essere calcolato dal coefficiente di attenuazione α 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^{-1}].

Per la configurazione "Assorbitori Discreti" la norma specifica che non è possibile calcolare il coefficiente di assorbimento acustico apparente per campo diffuso α_s , ma deve essere calcolato l'area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto come:

$$A_{obj} = \frac{A_T}{n}$$

Dove:

- A_T : unità assorbenti equivalenti [m^2];
- n : numero di oggetti discreti.

Il numero di assorbitori discreti che possono essere testati dipende, oltre che dal rispetto delle distanze entro la camera di misura (Paragrafo 3), dall'incremento

esercitato sull'area di assorbimento equivalente della camera vuota, quindi dal valore di A_T che deve essere compreso tra 1 m^2 e $(V[\text{m}^3]/200)^{2/3}$, pari a 13.17 m^2 per la camera di prova. In figura 4 vengono riportati i valori di A_T per la configurazione con 3 assorbitori discreti, mostrando come in tutto il range in frequenza di misura, tale valore ricada entro i valori limite.

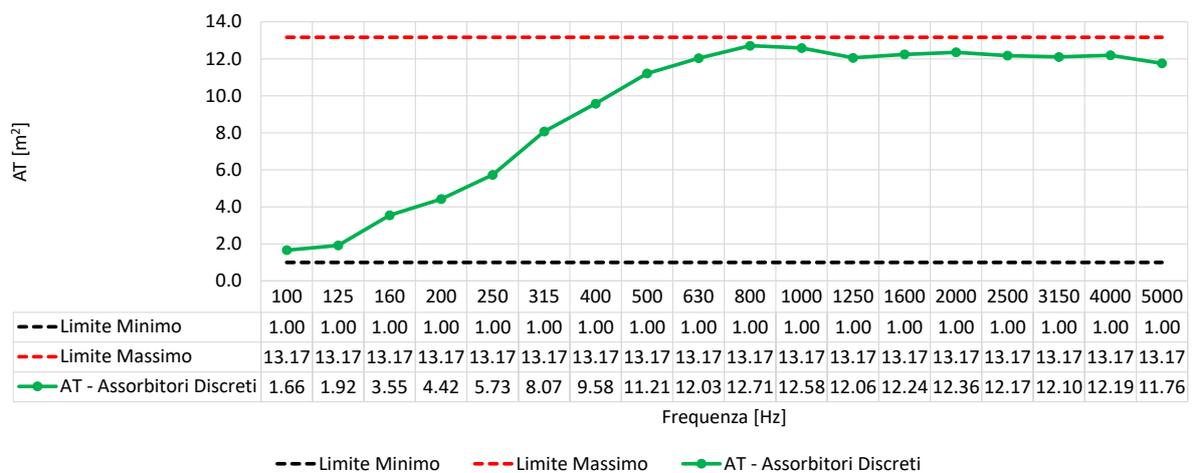


Figura 4 – Andamento di A_T [m^2] per 3 assorbitori discreti rispetto ai valori limite di norma [1].

5. Risultati

In tabella 3 vengono riportati sia i tempi di riverberazione rilevati a camera vuota e con il materiale di prova, sia i valori dell'area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} [m^2]. 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 dell'area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} viene mostrato in figura 5.

Tabella 3 – Tempi di riverberazione T_{20} [s] e area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} del materiale testato in bande di terzo di ottava.

Frequenza [Hz]	T_{20} [s]		A_{obj} [m ²]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
100	6.09	4.86	100	0.55
125	5.67	4.46	125	0.64
160	5.81	3.84	160	1.18
200	5.28	3.34	200	1.47
250	5.18	2.98	250	1.91
315	5.43	2.60	315	2.69
400	5.54	2.39	400	3.19
500	5.48	2.17	500	3.74
630	5.29	2.05	630	4.01
800	5.07	1.95	800	4.24
1000	4.80	1.92	1000	4.19
1250	4.57	1.93	1250	4.02
1600	4.07	1.82	1600	4.08
2000	3.59	1.71	2000	4.12
2500	3.24	1.64	2500	4.06
3150	2.85	1.54	3150	4.03
4000	2.56	1.45	4000	4.06
5000	2.12	1.32	5000	3.92

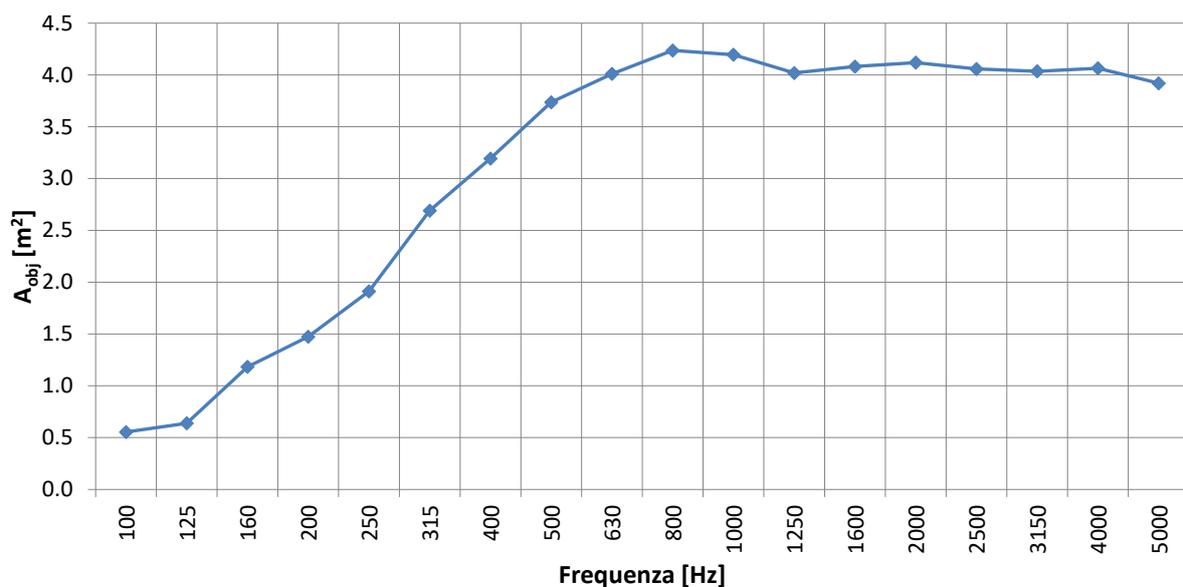


Figura 5 – Andamento dell'area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} .

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.

Tabella 6 – Deviazione standard ε_{20} del tempo di riverberazione T_{20} in terzi d'ottava.

Frequenza [Hz]	$\varepsilon_{20}(T)/T$	
	Camera vuota	Materiale Testato
100	0.066	0.073
125	0.061	0.069
160	0.053	0.065
200	0.050	0.063
250	0.045	0.059
315	0.039	0.057
400	0.034	0.052
500	0.031	0.049
630	0.028	0.045
800	0.025	0.041
1000	0.023	0.037
1250	0.021	0.033
1600	0.020	0.030
2000	0.019	0.028
2500	0.018	0.025
3150	0.017	0.023
4000	0.016	0.021
5000	0.016	0.020

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.

I valori della deviazione standard relativa $\varepsilon_{20}(T)/T$ 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.

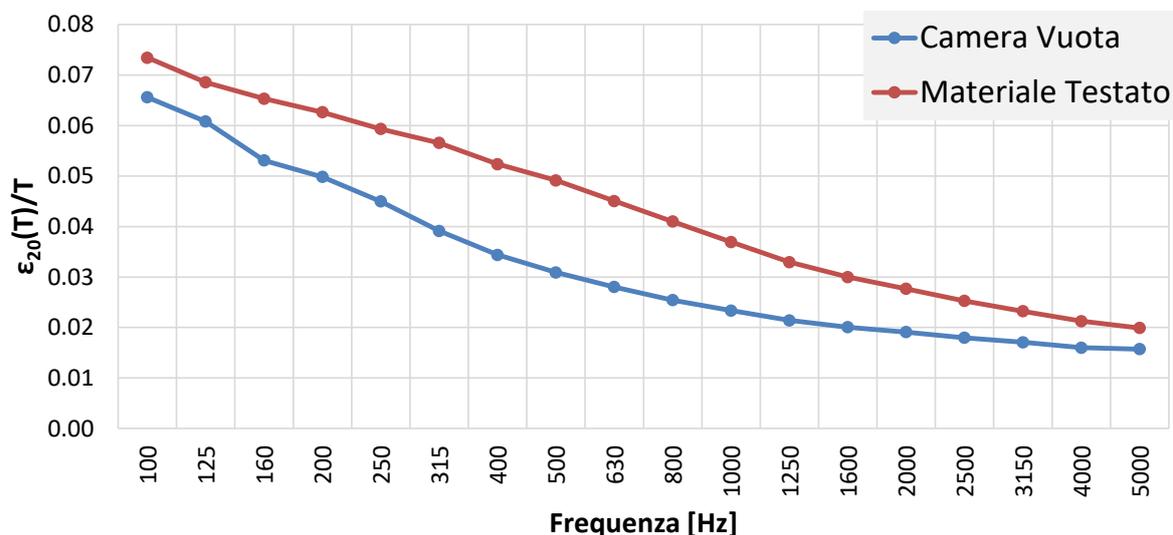


Figura 6 – Andamento della deviazione standard relativa in terzi d'ottava.

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 area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} [m²]: terzi d’ottava nel range di frequenza esteso [63 – 10000] Hz.

Tabella A.1 – Tempi di riverberazione T_{20} [s] e area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} [m²] del materiale testato in bande di terzo di ottava.

Frequenza [Hz]	T_{20} [s]		A_{obj} [m ²]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
63	6.50	5.49	63	0.38
80	6.14	4.91	80	0.54
100	6.09	4.86	100	0.55
125	5.67	4.46	125	0.64
160	5.81	3.84	160	1.18
200	5.28	3.34	200	1.47
250	5.18	2.98	250	1.91
315	5.43	2.60	315	2.69
400	5.54	2.39	400	3.19
500	5.48	2.17	500	3.74
630	5.29	2.05	630	4.01
800	5.07	1.95	800	4.24
1000	4.80	1.92	1000	4.19
1250	4.57	1.93	1250	4.02
1600	4.07	1.82	1600	4.08
2000	3.59	1.71	2000	4.12
2500	3.24	1.64	2500	4.06
3150	2.85	1.54	3150	4.03
4000	2.56	1.45	4000	4.06
5000	2.12	1.32	5000	3.92
6300	1.71	1.14	6300	4.06
8000	1.26	0.92	8000	4.14
10000	1.00	0.79	10000	3.88

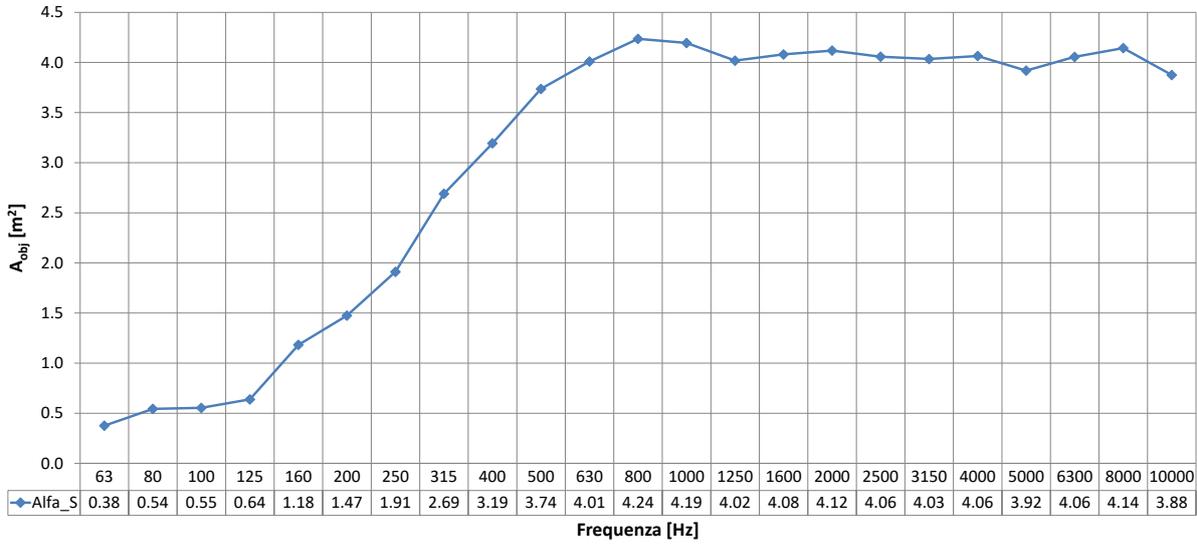


Figura A.1 – Andamento area di assorbimento sonoro equivalente del singolo oggetto A_{obj} [m²] in terzi d’ottava.

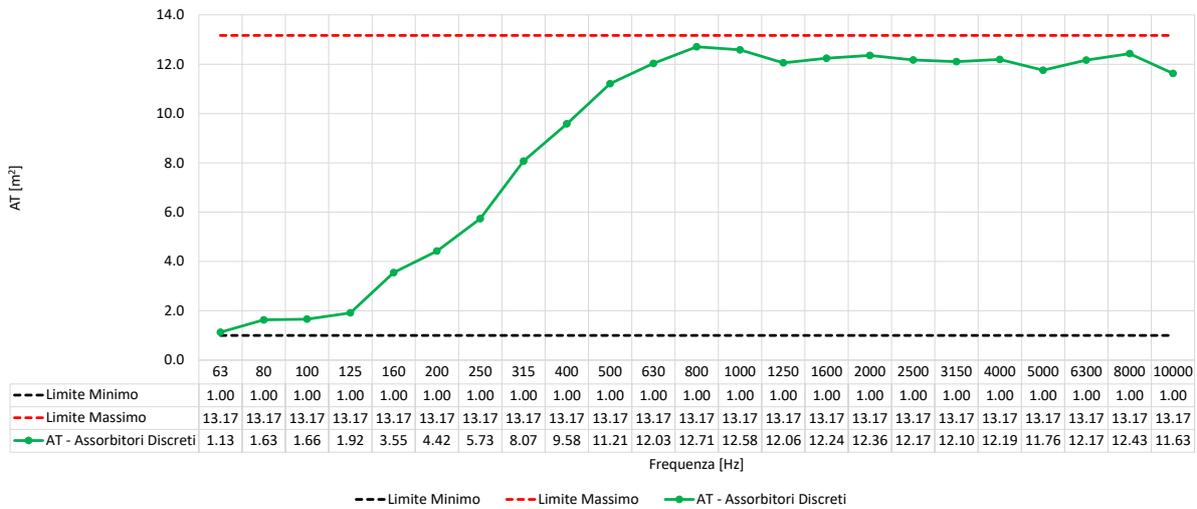


Figura A.2 – Andamento di A_T [m²] per 3 assorbitori discreti rispetto ai valori limite di norma [1].