

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
Data del test	10/05/2021
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 m² e 12 m² 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 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.

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	5.63	7.56
125	6.04	7.56
160	6.69	7.56
200	6.63	7.56
250	6.47	7.56
315	5.95	7.56
400	5.79	7.56
500	5.55	7.56
630	5.65	7.56
800	5.96	7.56
1000	6.17	8.14
1250	6.26	8.72
1600	6.84	9.30
2000	7.28	11.04
2500	7.48	12.21
3150	7.75	13.95
4000	7.19	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 60.2 cm x 5.2 cm, con una densità superficiale di circa 5.25 kg/m². La sezione del materiale con le specifiche relative alla stratigrafia sono mostrate in figura 1 – b).

Un totale di 15 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.



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.

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 15 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 3a e 3b vengono riportate le posizioni utilizzate.

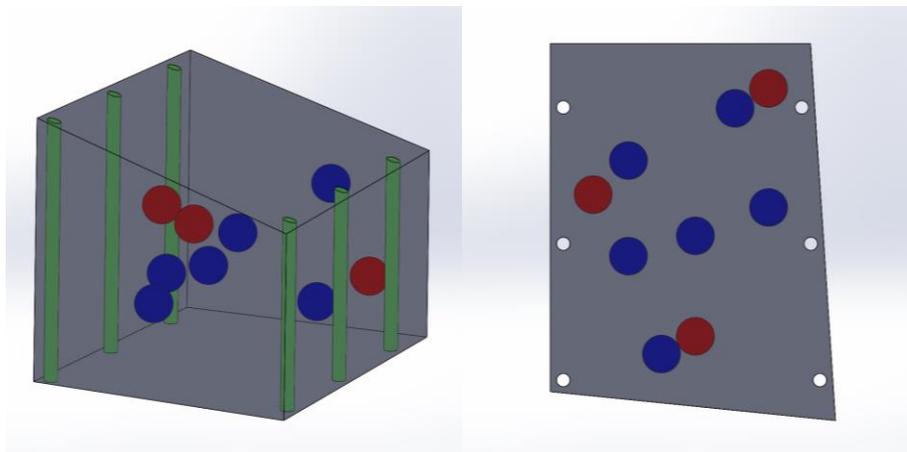


Figura 3a – Punti di misura: blu – posizioni microfoniche; rosso – posizioni sorgenti.

Le misurazioni sono state condotte a camera vuota e a camera con materiale in prova. Le variazioni subite dalle condizioni meteorologiche (temperatura ambiente, umidità relativa percentuale e pressione atmosferica) sono riportate in tabella 2, a seconda della prova effettuata.



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

Tabella 2 – Condizioni meteorologiche durante i test.

	T [°C]	u.r %	pa [Pa]
Camera vuota	22	47	100700
Camera con Materiale	22	48	100700

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 [m^2];
- 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}].

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^2]. Nel caso in esame $S=10.87 m^2$, pari alla superficie frontale del solo materiale. La superficie della cornice non viene inclusa nel calcolo dell'assorbimento come indicato da norma.

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 del coefficiente acustico apparente α_s 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 α_s viene mostrato in figura 4.

Tabella 3 – Tempi di riverberazione T_{20} [s] e coefficiente di assorbimento acustico apparente α_s per incidenza diffusa del materiale testato in bande di terzo di ottava.

Frequenza [Hz]	T_{20} [s]		α_s [-]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
100	7.12	5.75	100	0.12
125	6.60	4.54	125	0.26
160	5.92	3.62	160	0.40
200	5.91	3.10	200	0.57
250	5.98	2.53	250	0.85
315	6.37	2.36	315	1.00
400	6.39	2.19	400	1.12
500	6.52	2.16	500	1.16
630	6.27	2.27	630	1.04
800	5.85	2.20	800	1.06
1000	5.54	2.17	1000	1.04
1250	5.30	2.16	1250	1.02
1600	4.70	2.08	1600	1.00
2000	4.22	2.03	2000	0.95
2500	3.80	1.95	2500	0.93
3150	3.30	1.85	3150	0.89
4000	2.90	1.74	4000	0.87
5000	2.43	1.55	5000	0.88

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 α_s per incidenza diffusa del materiale testato in bande di ottava.

α_s [-]	
Frequenza [Hz]	Materiale Testato
125	0.26
250	0.81
500	1.11
1000	1.04
2000	0.96
4000	0.88

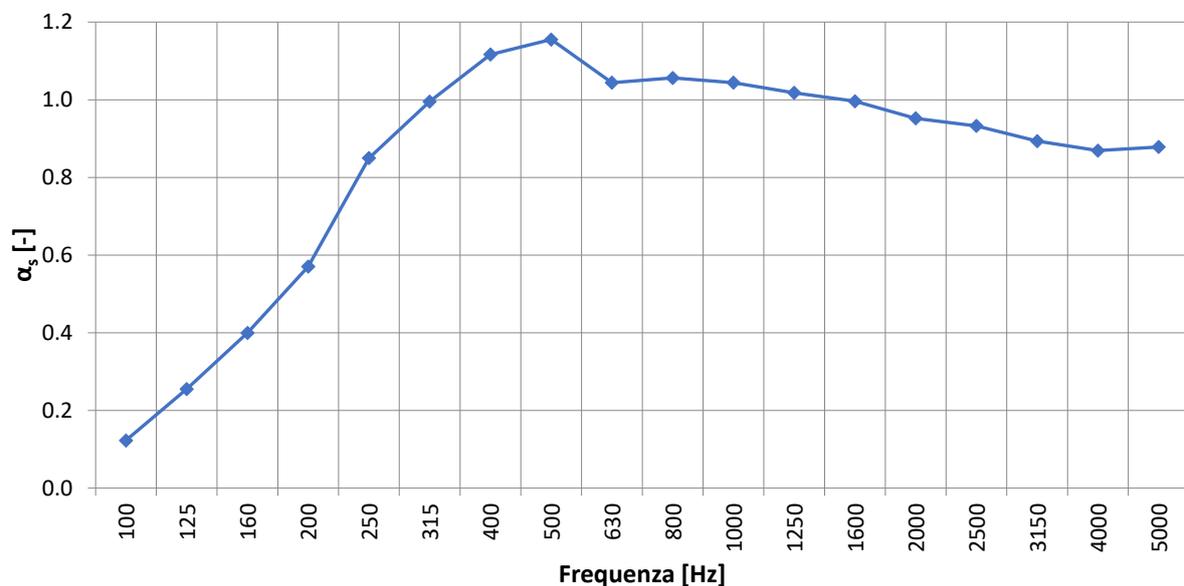


Figura 4 – Andamento dell'assorbimento acustico apparente α_s per incidenza diffusa in terzi d'ottava.

È stato inoltre calcolato il coefficiente di assorbimento acustico ponderato α_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 α_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 5, dove viene graficato l'andamento del coefficiente di assorbimento acustico pratico α_p rispetto alla curva di riferimento [3], con i relativi valori in banda di ottava, necessari per il calcolo del valore di α_w .

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

	α_w	Indicatore di forma
Materiale Testato	1.00	-

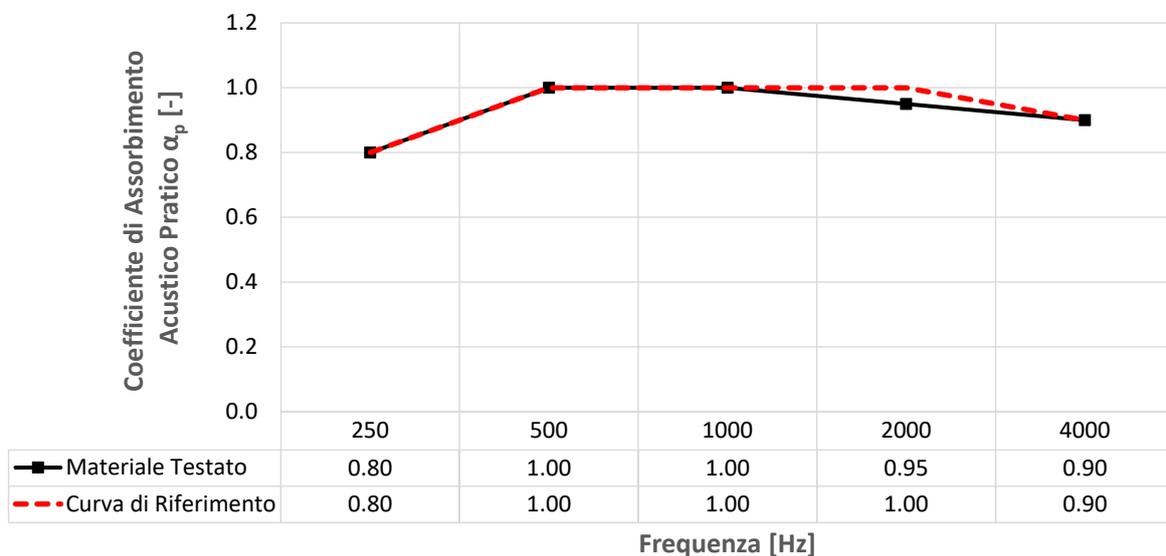


Figura 5 – Andamento del coefficiente di assorbimento acustico pratico α_p rispetto alla curva di riferimento in banda di ottava.

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.

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.

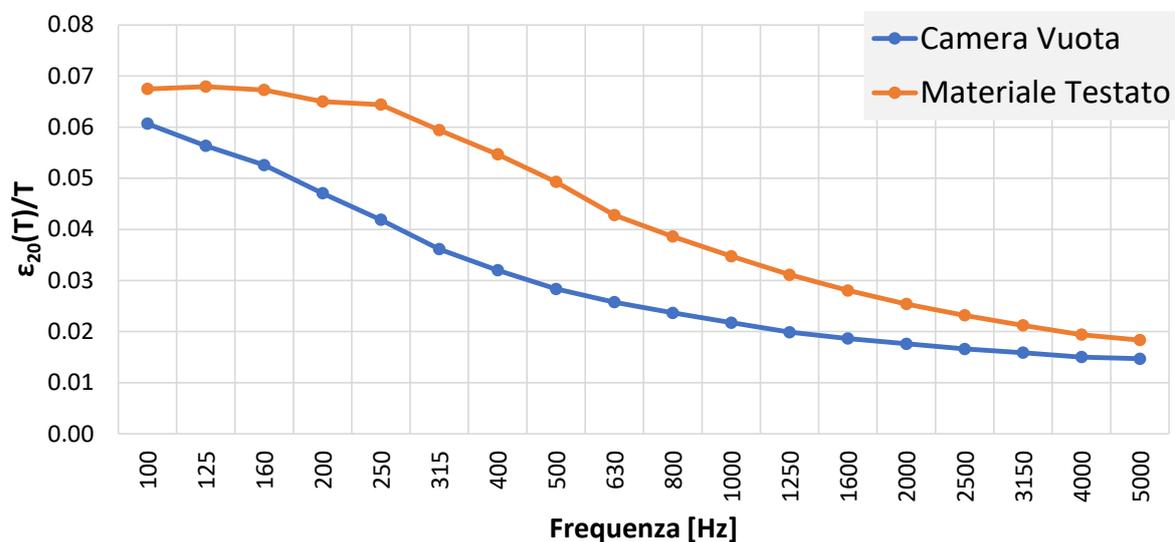


Figura 6 – Andamento della deviazione standard relativa in terzi d'ottava.

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

Frequenza [Hz]	$\epsilon_{20}(T)/T$	
	Camera vuota	Materiale Testato
100	0.061	0.067
125	0.056	0.068
160	0.053	0.067
200	0.047	0.065
250	0.042	0.064
315	0.036	0.059
400	0.032	0.055
500	0.028	0.049
630	0.026	0.043
800	0.024	0.039
1000	0.022	0.035
1250	0.020	0.031
1600	0.019	0.028
2000	0.018	0.025
2500	0.017	0.023
3150	0.016	0.021
4000	0.015	0.019
5000	0.015	0.018

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, 14 Maggio 2021

Il Responsabile
Ing. Francesco Pompoli



A.1. Appendice – Tempi di riverberazione e coefficiente di assorbimento acustico apparente α_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 α_s per incidenza diffusa del materiale testato in bande di terzo di ottava.

Frequenza [Hz]	T_{20} [s]		α_s [-]	
	Camera vuota	Camera con materiale	Frequenza [Hz]	Materiale Testato
63	6.41	6.05	63	0.03
80	6.45	5.51	80	0.10
100	7.12	5.75	100	0.12
125	6.60	4.54	125	0.26
160	5.92	3.62	160	0.40
200	5.91	3.10	200	0.57
250	5.98	2.53	250	0.85
315	6.37	2.36	315	1.00
400	6.39	2.19	400	1.12
500	6.52	2.16	500	1.16
630	6.27	2.27	630	1.04
800	5.85	2.20	800	1.06
1000	5.54	2.17	1000	1.04
1250	5.30	2.16	1250	1.02
1600	4.70	2.08	1600	1.00
2000	4.22	2.03	2000	0.95
2500	3.80	1.95	2500	0.93
3150	3.30	1.85	3150	0.89
4000	2.90	1.74	4000	0.87
5000	2.43	1.55	5000	0.88
6300	1.90	1.34	6300	0.86
8000	1.38	1.06	8000	0.85
10000	1.09	0.91	10000	0.76

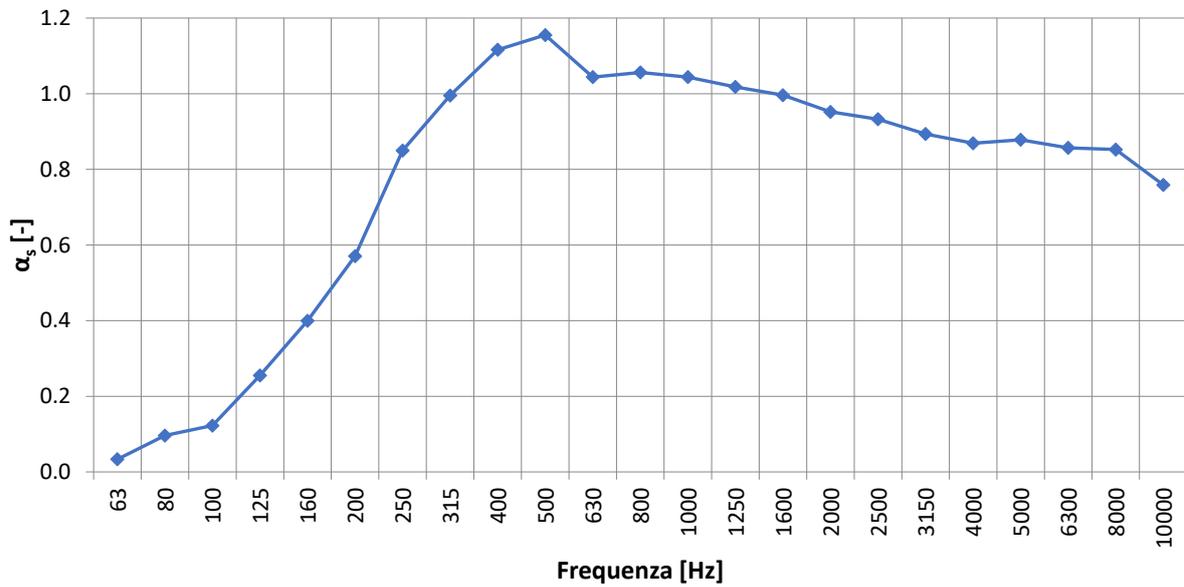


Figura A.1 – Andamento dell'assorbimento acustico apparente α_s per incidenza diffusa in terzi d'ottava.