

Rev.	Data	Descrizione	Preparazione	Controllo	Approvazione
0	27/09/2023	Revisione 0	L.PAR	L.PAR	E.MOR



Italian Acoustics Institute S.r.l.  
Via Fratelli Cervi, 6  
42124 Reggio Emilia (RE)  
tel. +39 0522 937330 cell. +39 335 6481119  
e-mail: info@acousticsinstitute.it  
web site: www.acousticsinstitute.it

Ing. Giorgio Molinari



Valutazione di interventi di correzione acustica





Torre Scenica

**Teatro Borsoni**

Via Milano, 83 – 24126 Brescia (BS)





Progetto	Unità / Area	Disciplina	Tipo Doc.	Progressivo	Foglio	Revisione
					1 / 29	0

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)	DATA: 27/09/2023

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Confort acustico interno - generalità.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Analisi previsionale del tempo di riverberazione interno .....</b>	<b>10</b>
3.1	Descrizione degli interventi di correzione acustica .....	10
3.2	Analisi previsionale (tempo di riverberazione torre scenica, stato attuale) .....	14
3.3	Analisi previsionale (tempo di riverberazione torre scenica, miglioria).....	17
<b>4.</b>	<b>Schede di valutazione (software previsionale Echo 8.3.2.11) .....</b>	<b>22</b>
<b>5.</b>	<b>Schede tecniche e certificazioni .....</b>	<b>28</b>

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

## 1. Premessa





Il presente studio ha come oggetto l'analisi di specifiche proposte di intervento volte a migliorare le caratteristiche acustiche interne della Torre Scenica del Teatro Borsoni di Brescia (BS), ubicato in via Milano 83.

Le opere previste vanno incontro alla necessità di correggere il tempo di riverberazione riscontrabile allo stato di fatto, causa di fenomeni di riflessione multiple delle onde sonore potenzialmente dannosi, che potrebbero compromettere la qualità acustica nell'area del palcoscenico.

Per ovviare a tali riflessioni, indotte in particolar modo dalla superficie liscia della copertura della torre scenica, realizzata con solaio di tipo predalles, viene prevista l'installazione di un impalcato di graticcia avente funzione fonoassorbente.

In particolare, ciascuna dogia di graticcia verrà appositamente predisposta per ricevere una lastra a cellula chiusa tipo *Eurokustik Stratocell Whisper*, in modo tale da ottenere una superficie assorbente pari a 94 mq.

All'interno del paragrafo 3.1 sono illustrati i particolari costruttivi e la tipologia di materiale di tale intervento, oltre ai risultati migliorativi ottenuti in relazione al tempo di riverberazione.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

## 2. Confort acustico interno - generalità

L'effetto delle pareti che limitano una sala è quello di produrre onde riflesse che si sovrappongono a quella principale; l'arrivo alle orecchie delle onde riflesse avviene ad intervalli di tempo che dipendono dai diversi percorsi dell'onda nelle successive riflessioni: una differenza di cammino di un metro dà luogo (alla temperatura di 15°) ad un  $\Delta T$  pari a  $1/341 \text{ s} = 0,0029 \text{ s}$ .

L'orecchio percepisce come distinti suoni intervallati almeno di  $1/22 \text{ s}$ . Onde sonore prodotte da un'unica sorgente, ma in arrivo all'orecchio dopo una serie di riflessioni, saranno percepite come suoni distinti (*eco*) quando la differenza di cammino tra un'onda e la successiva sia di almeno 15 metri.





Con differenze di cammino inferiori, l'orecchio riceve invece l'impressione di sentire un suono unico: nel periodo iniziale, quando la sorgente inizia ad emettere, tale suono appare di intensità crescente per l'apporto di energia delle onde riflesse, fino a raggiungere una determinata intensità di regime.

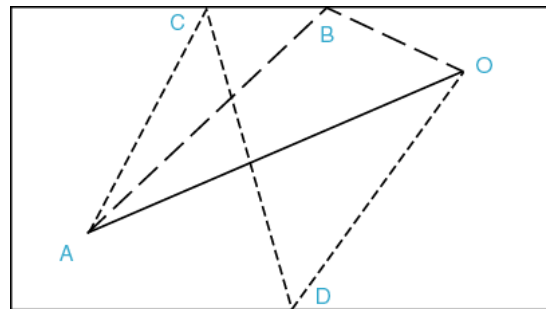
Quando la sorgente sonora termina l'emissione, si presenta il fenomeno inverso: l'orecchio sente il suono affievolirsi ed infine annullare solo dopo un certo intervallo.

Le riflessioni multiple cui le onde sonore sono soggette in un ambiente chiuso danno luogo a due effetti principali:

- aumento a regime dell'intensità energetica sonora (*risonanza*); tale effetto è favorevole alla percezione in quanto aumenta l'intensità della sensazione;
- variazione graduale, anziché istantanea, dell'intensità energetica sonora, quando la sorgente sonora inizia ad emettere e quando l'emissione termina (*riverberazione*).

Questo effetto e, in particolare, la persistenza del suono a fine emissione, va a scapito della chiarezza della percezione quando supera un certo limite, rendendo meno netta la distinzione tra i suoni successivi di un discorso o della musica.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023







Per meglio comprendere il fenomeno delle riflessioni multiple, considerando una sala a sezione rettangolare, si esamini la distribuzione nel tempo dell'energia sonora prodotta da una sorgente A, con O un osservatore generico, e si consideri il cammino percorso dall'onda sonora emessa dalla sorgente e da quelle riflesse alle pareti.

All'osservatore giunge l'onda diretta dopo un tempo  $\tau_1 = (AO / c)$ , quindi le onde in prima riflessione come, ad esempio, quella che ha percorso il cammino ABO, poi ancora le onde di seconda riflessione come per il tratto ACDO e così via. Naturalmente tutte le pareti, pavimento e soffitti compresi, concorrono a dare un certo apporto alla riflessione.

Le onde di prima riflessione offrono alla densità energetica in O un apporto inferiore rispetto all'onda diretta, in quanto il cammino è più lungo e le pareti non sono completamente riflettenti, ma assorbono in parte l'energia; le onde che partono da A sono evidentemente onde sferiche e, dal momento che la sorgente emette una certa energia sonora P, se la superficie dell'onda aumenta proporzionalmente al quadrato del raggio, è evidente che l'intensità sonora  $I = P / S$  diminuisce.

Considerando il fenomeno nel suo complesso si ottiene che la densità sonora in O cresce gradualmente a causa degli apporti delle onde riflesse fino a raggiungere un valore di regime: occorre considerare che la velocità del suono (circa 345 m/s) è molto grande rispetto alle dimensioni usuali di una sala, per cui gli intervalli di tempo tra i successivi apporti dovuti alle riflessioni sono molto piccoli.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

Si ottiene infine una curva del tipo  $D = K (1 - e^{-k\tau})$ : quando la sorgente cessa di emettere si presenta il fenomeno inverso e il suono si attenua gradualmente.

Lo studio in fase progettuale della geometria del suono negli spazi chiusi è eseguito con lo scopo di determinare la presenza di zone di concentrazione o di focheggiamento dell'energia sonora (o di eco nel caso di ambienti particolarmente grandi): è possibile inoltre determinare la forma più opportuna per le pareti ed il soffitto, in modo da indirizzare le onde sonore nel modo migliore considerate le finalità dell'ambiente.





Tale studio può essere eseguito attraverso una serie di metodi che presuppongono che il suono sia emesso da una singola sorgente localizzata in un punto del locale e che *siano valide le leggi della riflessione regolare*:

- metodo grafico;
- metodo geometrico ed ottico;
- metodo della sonda sonora;
- metodo delle onde sulla superficie di un liquido.

In conclusione, per ottenere una sala con buone proprietà acustiche, occorre tener presente alcuni punti:

- la distanza media tra sorgente ed ascoltatore deve essere la più breve possibile (forma raccolta della pianta);
- si devono evitare soffitti particolarmente alti e a cupola, o strutture similari;
- in ambienti di grandi dimensioni si devono movimentare le superfici riflettenti, evitando il parallelismo delle stesse;
- le forme preferibili sono quelle trapezoidali con scena sulla base più corta o, in alternativa, quelle rettangolari aventi in corrispondenza della scena pareti inclinate a 45°.

Per le sezioni trasversali e longitudinali la forma più appropriata risulta essere quella rettangolare, con opportune correzioni introdotte nel soffitto, per indurre una distribuzione uniforme delle onde riflesse nei vari punti di ascolto.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

Nello studio della dinamica del regime del suono in uno spazio chiuso si ammettono alcune ipotesi semplificative, che devono naturalmente trovare corrispondenza nella realtà:





- la legge di variazione dell'energia sonora sia la stessa in tutti i punti, ovvero si considera, in ogni istante, un unico valore medio della densità energetica, uguale in tutto l'ambiente;
- si suppone che i diversi cammini percorsi dalle onde sonore, tra due urti successivi contro le pareti, siano tutti uguali ad un cammino medio calcolabile con metodi probabilistici;
- si suppone che le superfici che delimitano l'ambiente diffondano le onde sonore in tutte le direzioni, anziché rifletterle secondo le leggi dell'ottica geometrica.

Si assume convenzionalmente come durata dell'onda sonora e si definisce tempo di riverberazione  $\tau_{60}$ , il tempo necessario affinché la densità energetica esistente nella sala si sia ridotta di 60 dB (un milione di volte) rispetto al valore iniziale di regime.

Il tempo di riverberazione fornisce dunque un indice dell'apporto di energia delle onde riflesse: se tale tempo è lungo, l'apporto di energia delle onde riflesse è notevole e risulta elevata (a parità di energia emessa dalla sorgente) la densità energetica a regime, che contribuisce a rendere la sala *sonora*.

Se invece il tempo di riverberazione è breve, la densità energetica a regime è ridotta e la sala risulta *sorda*.

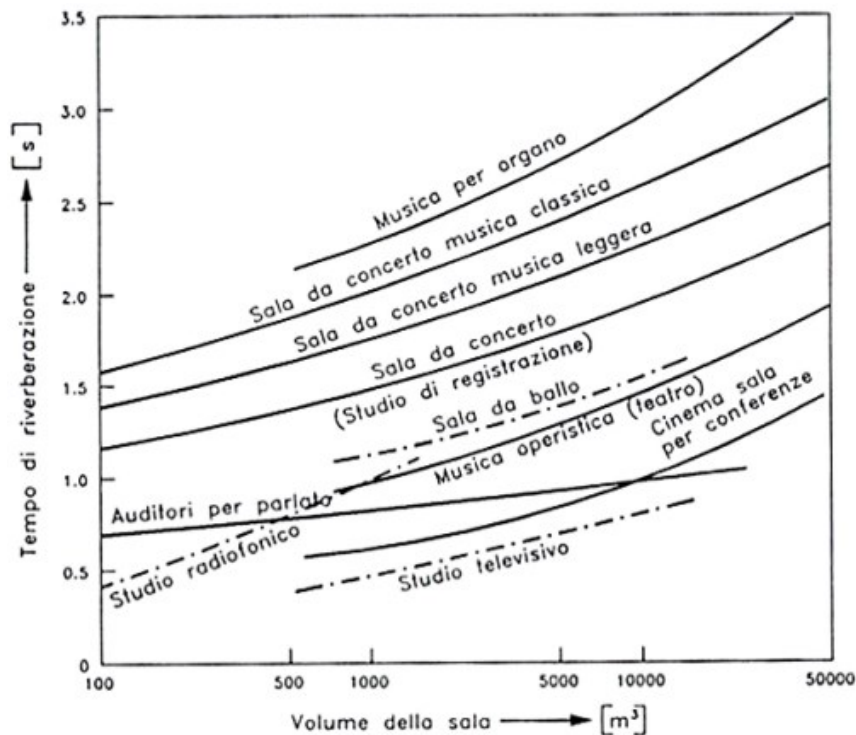
Ammesse una perfetta diffusione dell'onda sonora da parte delle pareti e l'uniformità della distribuzione della densità energetica nella sala, è possibile giungere per via teorica ad un calcolo del tempo di riverberazione  $\tau_{60}$  secondo due modelli basati su ipotesi differenti: la prima, ammessa da Sabine, suppone che l'assorbimento di energia sonora da parte delle pareti sia continuo nel tempo; la seconda, ammessa da Eyring, suppone invece che questo assorbimento avvenga in modo discontinuo.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)	DATA: 27/09/2023



$$\text{Formula di Sabine } \tau_{60,S} = \frac{0,16 V}{\sum S_i a_i} \quad \text{Formula di Eyring } \tau_{60,E} = \frac{0,07 V}{S \log \frac{1}{1 - a_m}}$$

Il valore ottimale del tempo di riverberazione  $\tau_{60}$  è dedotto dall'esperienza, dipende dal volume della sala ed è diverso a seconda che si tratti della parola o della musica ed è dell'ordine del secondo.

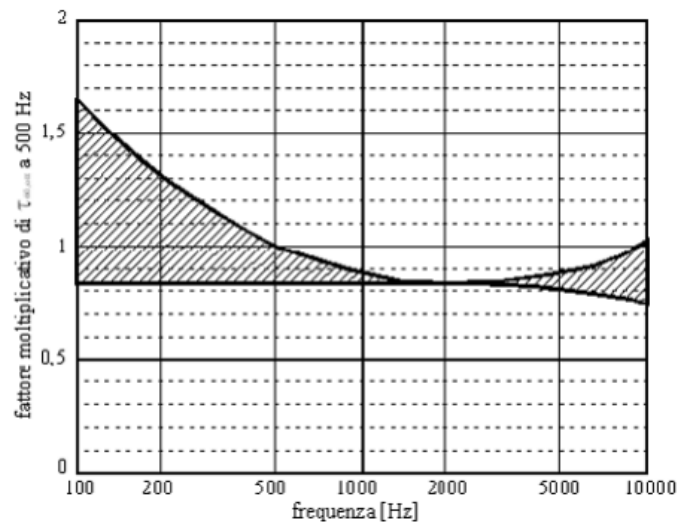
Nella figura successiva sono indicati, in funzione del volume e della destinazione della sala, i tempi di riverberazione ottimali (frequenza di 500 Hz): data la variabilità del coefficiente di assorbimento con la frequenza, anche la riverberazione varierà al variare della frequenza.







 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

I valori di  $\tau_{60}$  sopra indicati si riferiscono alla frequenza di 500 Hz: poiché il coefficiente di assorbimento varia con la frequenza, è praticamente impossibile ottenere lo stesso valore di  $\tau_{60}$  a tutte le frequenze: la dipendenza dalla frequenza di  $\tau_{60}$  è espresso dal grafico successivo, il quale si riferisce alle frequenze principali e che fornisce una “maschera” che indica l’intervallo di valori che si possono ritenere accettabili.



In generale, per ambienti destinati all’ascolto della parola i valori ideali di  $\tau_{60}$  sono più brevi rispetto a quelli per le sale destinate all’ascolto della musica, in quanto la diffusione musicale richiede una maggiore enfattizzazione dell’effetto spaziale.

Inoltre, è necessario considerare che ad un incremento del volume dell’ambiente corrisponde un aumento del tempo di riverberazione ottimale. In questo caso, è necessario compromettere lievemente l’ascolto a favore di un più elevato valore del livello sonoro.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

### 3. Analisi previsionale del tempo di riverberazione interno

#### 3.1 Descrizione degli interventi di correzione acustica

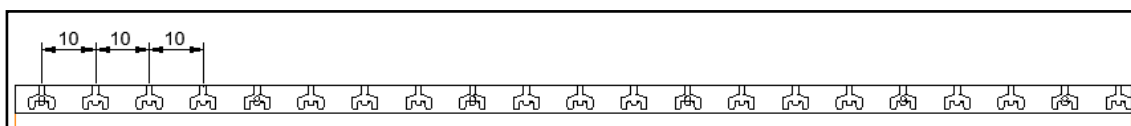
Le opere proposte vanno incontro alla necessità di correggere il tempo di riverberazione elevato riscontrabile allo stato di fatto, causa di fenomeni di riflessione multiple delle onde sonore, potenzialmente dannosi in quanto andrebbero a compromettere la qualità acustica nell'area del palcoscenico.

Per ovviare alle riflessioni indotte dalla superficie liscia della copertura della torre scenica, realizzata con solaio di tipo predalles, viene prevista l'installazione di un impalcato di graticcia avente funzione fonoassorbente.





In particolare, ciascuna doga di graticcia verrà appositamente predisposta per ricevere una lastra a cellula chiusa tipo *Eurokustik Stratocell Whisper*, in modo tale da ottenere una superficie assorbente pari a 94 mq.

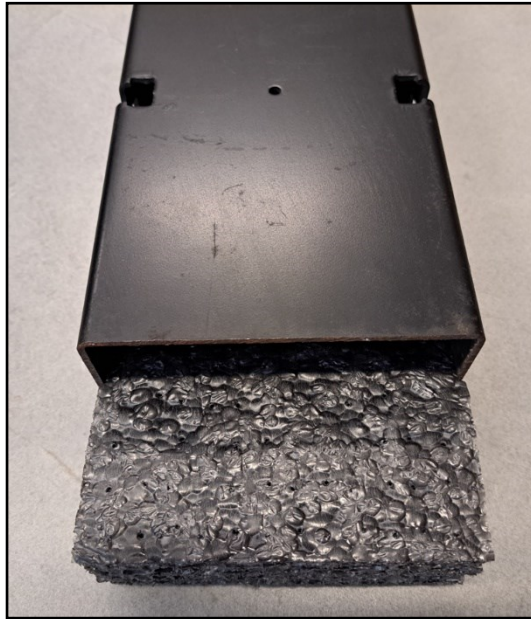
Schede tecniche relative alle tipologie di pannelli fonoassorbenti di cui sopra sono riportati in allegato.

Si illustrano di seguito illustrazioni ed elaborati progettuali relativi al previsto intervento di riqualificazione degli spazi interni, con indicazione della posizione prevista per la posa della graticcia fonoassorbente.



**Figura 1: correzione acustica (nuova graticcia, sezione)**

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023



**Figura 2: correzione acustica (esempio doga con materiale fonoassorbente interposto)**



**Figura 3: correzione acustica (esempio doga con materiale fonoassorbente interposto)**

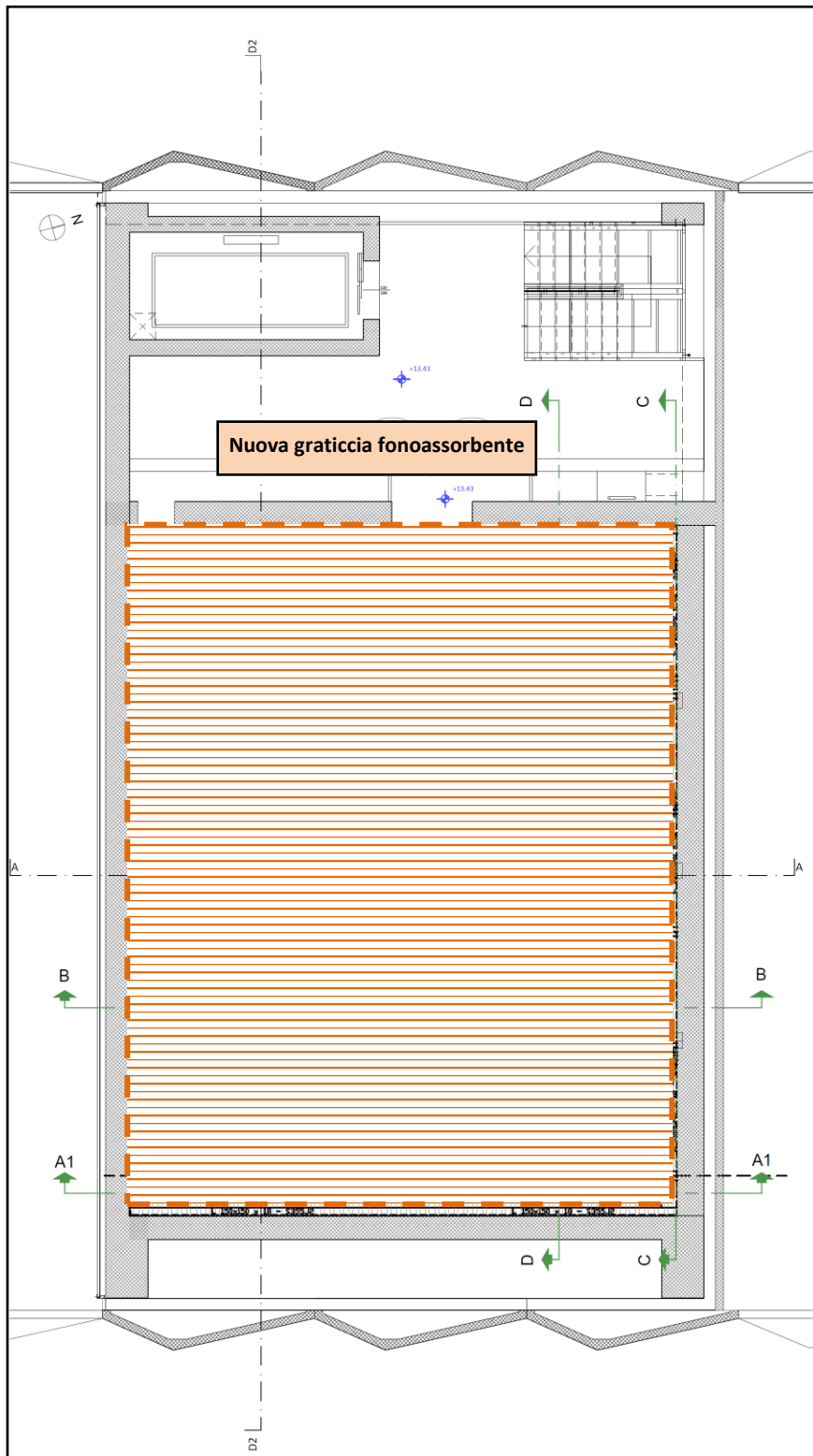


Figura 4: correzione acustica (pianta quota 13,43 m, individuazione graticcia fonoassorbente)

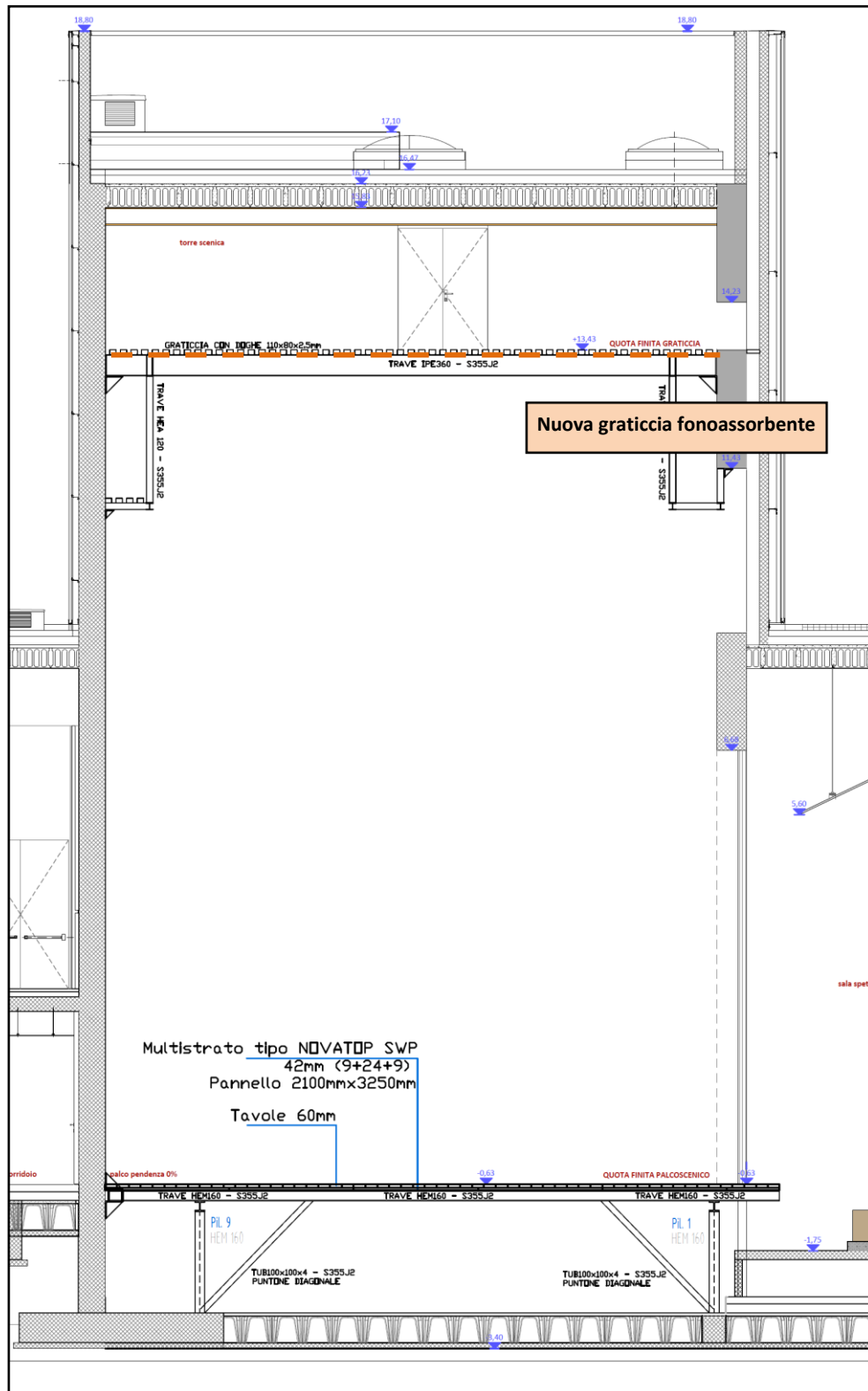






Figura 5: correzione acustica (sezione Torre Scenica, individuazione graticcia fonoassorbente)

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)	DATA: 27/09/2023

### 3.2 Analisi previsionale (tempo di riverberazione torre scenica, stato attuale)

Ai fini dei calcoli, si è provveduto alla creazione di un modello tridimensionale per la Torre Scenica allo stato di fatto, utilizzato come interfaccia per operare una previsione numerica della riverberazione, tramite l'ausilio del software previsionale ANIT Echo versione 8.3.2.11.




**Tabella 1: analisi previsionale (superfici di assorbimento stato di fatto, ambiente Torre Scenica)**

Superficie	Materiali	Superficie
Pavimento	<i>Pavimentazione rigida (parquet, legno)</i>	135 mq
Copertura	<i>Calcestruzzo</i>	135 mq
Pareti laterali	<i>Calcestruzzo</i>	662,88 mq
Sipario	<i>Tendaggio pesante</i>	92,30 mq
Volume		2160 mc

**Tabella 2: analisi previsionale (coefficienti di assorbimento)**

Materiale	Coefficienti di assorbimento $\alpha_p$					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Pavimentazione rigida	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Calcestruzzo (copertura)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Calcestruzzo (pareti)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Tendaggio pesante	0,40	0,43	0,57	0,70	0,80	0,80





Nota: i coefficienti di assorbimento acustico considerati ai fini delle analisi sono ricavati da schede tecniche e/o certificazioni fornite dalla case produttrici, dai valori riportati nelle norme UNI 11523-2 e UNI EN 12354-6, dall'archivio del software Echo e/o in analogia con materiali simili nel caso di indisponibilità.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		 
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023



**Figura 6: rilievi fotografici (vista Torre Scenica, stato attuale)**

Si presentano di seguito i risultati della valutazione in termini di tempo di riverberazione, ottenuti attraverso la creazione del modello tridimensionale tramite l'impiego di software previsionale ANIT Echo versione 8.3.2.11.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	<b>DATA: 27/09/2023</b>

**Visualizzazione tabellare**

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
T calcolato [s]	7,08	6,30	4,81	3,57	3,09	2,44
Intervalli di conformità (UNI 11532) [s]	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
T medio (250Hz - 2kHz) [s]	4,44					





**Visualizzazione grafica**



**Figura 7: analisi previsionale (tempo di riverberazione Torre Scenica, stato attuale)**

Il tempo di riverberazione medio (frequenze comprese tra 250 Hz e 2000 Hz) ad ambiente non occupato, risulta pari, in previsione, a 4,44 secondi.



 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)	DATA: 27/09/2023

### 3.3 Analisi previsionale (tempo di riverberazione torre scenica, miglioria)

Ai fini dei calcoli, si è provveduto alla creazione di un modello tridimensionale per la Torre Scenica comprensivo dell'intervento di miglioria acustica proposto, utilizzato come interfaccia per operare una previsione numerica della riverberazione, tramite l'ausilio del software previsionale ANIT Echo versione 8.3.2.11.

Per ovviare alle riflessioni indotte dalla superficie liscia della copertura della torre scenica, realizzata con solaio di tipo predalles, viene prevista l'installazione di un impalcato di graticcia avente funzione fonoassorbente; in particolare, ciascuna doga di graticcia verrà predisposta per ricevere una lastra a cellula chiusa tipo *Eurokustik Stratocell Whisper*, in modo tale da ottenere una superficie assorbente pari a 94 mq.

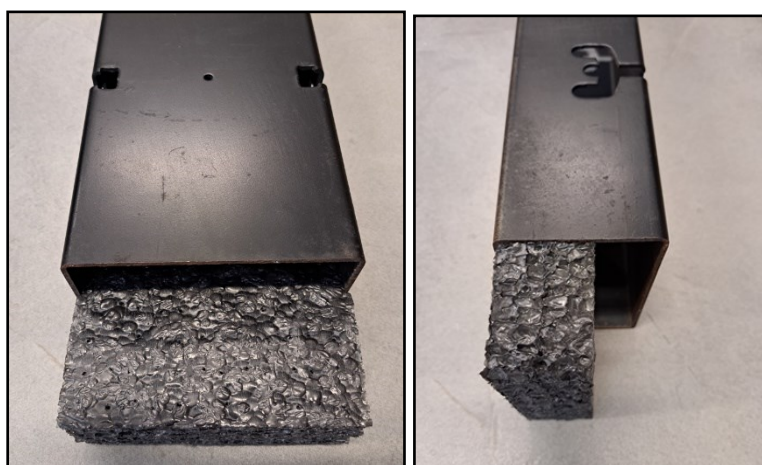






Figura 8: correzione acustica (esempio doga con materiale fonoassorbente interposto)

Tabella 3: analisi previsionale (superfici di assorbimento miglioria acustica, ambiente *Torre Scenica*)

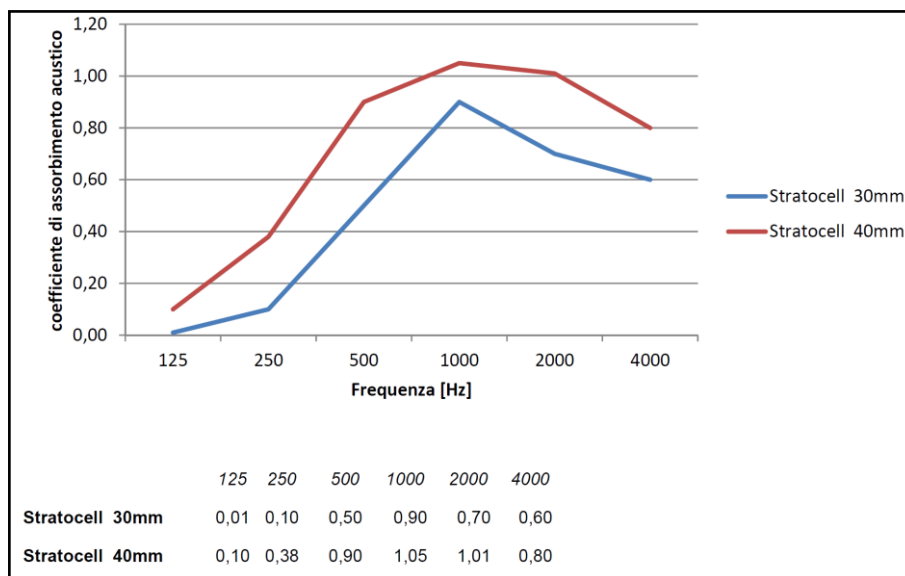
Superficie	Materiali	Superficie
Pavimento	<i>Pavimentazione rigida (parquet, legno)</i>	135 mq
Copertura	<i>Calcestruzzo</i>	135 mq
Pareti laterali	<i>Calcestruzzo</i>	662,88 mq
Sipario	<i>Tendaggio pesante</i>	92,30 mq
Graticcia fonoassorbente	<i>Eurokustik Stratocell Whisper</i>	94 mq
Volume		2160 mc

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)	DATA: 27/09/2023

**Tabella 4: analisi previsionale (coefficienti di assorbimento)**

Materiale	Coefficienti di assorbimento $\alpha_p$					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Pavimentazione rigida	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Calcestruzzo (copertura)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Calcestruzzo (pareti)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Tendaggio pesante	0,40	0,43	0,57	0,70	0,80	0,80
<i>Stratocell Whisper</i>	0,01					

Nota: i coefficienti di assorbimento acustico considerati ai fini delle analisi sono ricavati da schede tecniche e/o certificazioni fornite dalla case produttrici, dai valori riportati nelle norme UNI 11523-2 e UNI EN 12354-6, dall'archivio del software Echo e/o in analogia con materiali simili nel caso di indisponibilità.



**Figura 9: correzione acustica (coefficienti di assorbimento *Stratocell Whisper*, fonte *eurokustik.com*)**

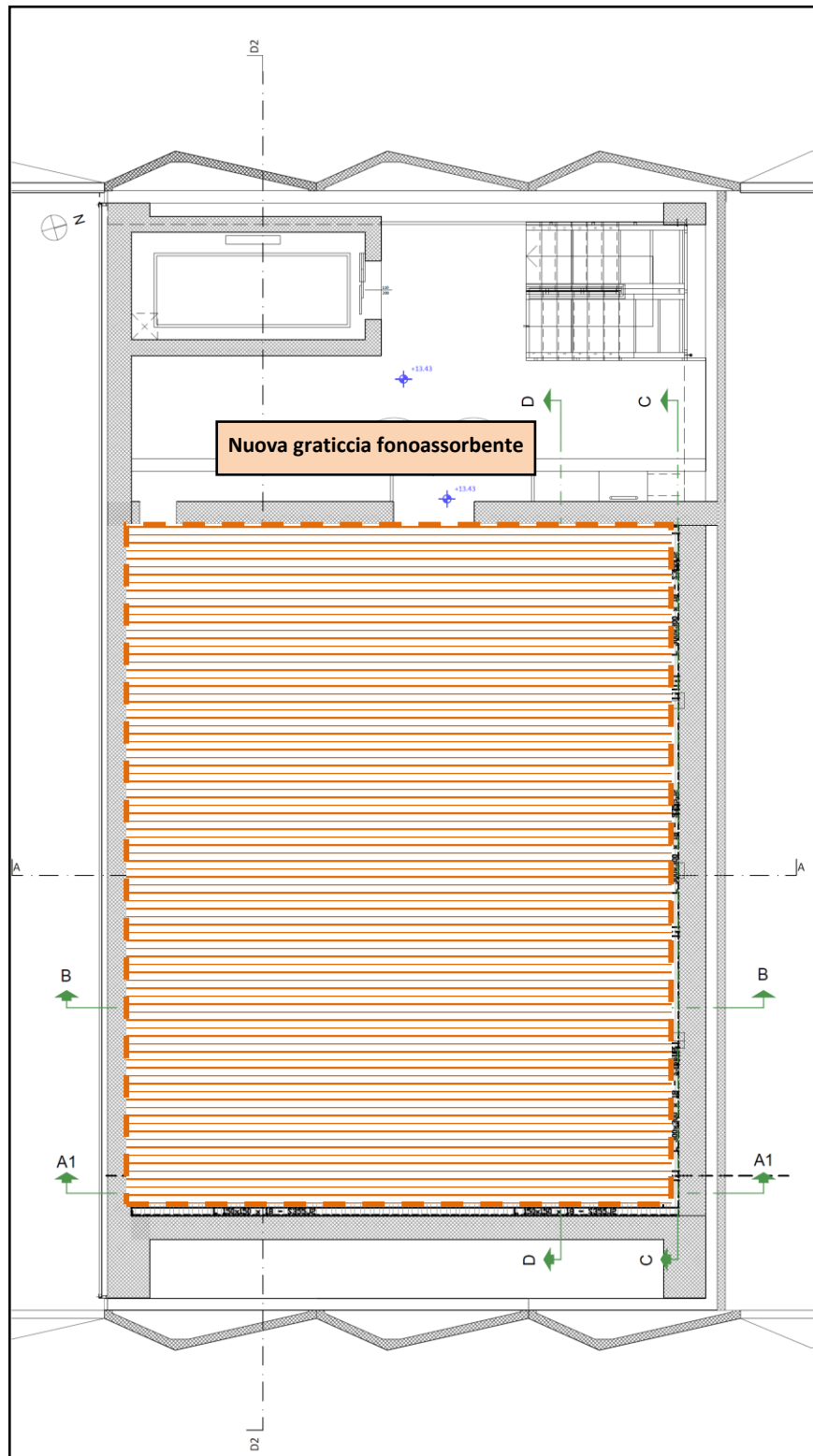




Figura 10: correzione acustica (pianta quota 13,43 m, individuazione graticcia fonoassorbente)

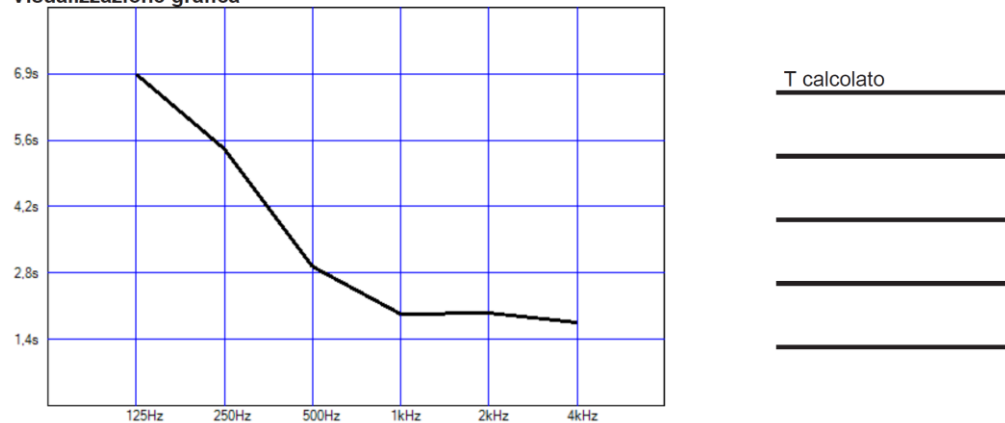
 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	<b>DATA: 27/09/2023</b>

Si presentano di seguito i risultati della valutazione in termini di tempo di riverberazione, ottenuti attraverso la creazione del modello tridimensionale tramite l'impiego di software previsionale ANIT Echo versione 8.3.2.11.

**Visualizzazione tabellare**





	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
T calcolato [s]	6,94	5,37	2,91	1,91	1,95	1,75
Intervalli di conformità (UNI 11532) [s]	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
T medio (250Hz - 2kHz) [s]	3,03					

**Visualizzazione grafica**



**Figura 11: analisi previsionale (tempo di riverberazione Torre Scenica, miglioria acustica)**

Il tempo di riverberazione medio (frequenze comprese tra 250 Hz e 2000 Hz) ad ambiente non occupato, risulta pari, in previsione, a 3,03 secondi, valore migliorativo rispetto allo stato di fatto e da ritenersi adeguato in relazione alla volumetria dell'ambiente.

 <b>Italian Acoustics Institute S.r.l.</b>	<b>Valutazione di interventi di correzione acustica</b>	REV. 0 – 2023
		  
	<b>Torre Scenica del Teatro Borsoni – Brescia (BS)</b>	DATA: 27/09/2023

Reggio Emilia (RE), 27/09/2023

dott. ing. Emanuele Morlini (\*)



(\*)

- iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Reggio Emilia, sotto il n. 1321
- iscritto all'albo dei tecnici competenti in acustica ambientale, di cui alla Legge 26 Ottobre 1995, n. 447, secondo quanto comunicato dalla Provincia di Reggio Emilia con prot. n. 16895-02/15183 del 05 Marzo 2002
- iscritto nell'elenco nominativo Nazionale dei tecnici competenti in acustica ENTECA (D. Lgs. n. 42/2017) sotto il n. 5286 dal 10/12/2018
- iscritto all'albo dei Consulenti Tecnici del Tribunale di Reggio Emilia sotto il n. 494/124 dal 10/10/2003
- certificato n. REB-2259-IT2 rilasciato a dott. ing. Emanuele Morlini il 30/04/2020



#### 4. Schede di valutazione (software previsionale Echo 8.3.2.11)

##### VpCAI Teatro Borsoni - analisi Torre Scenica (stato di fatto)

###### Caratteristiche dell'ambiente

###### Dati geometrici

Volume dell'ambiente vuoto [m <sup>3</sup> ]	2160,0
Volume netto dell'aria [m <sup>3</sup> ]	2160,0

###### Condizioni interne

Temperatura [°C]	20
Umidità relativa [%]	50 - 70

Area totale di assorbimento equivalente dell'aria						
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
A [m <sup>2</sup> ]	0,86	2,59	5,18	8,64	14,69	35,42

###### Valori di riferimento

DPCM 5/12/1997	Altra destinazione d'uso	-
	Verifica limite non prevista	

UNI 11367:2010	Ambiente adibito a	Altre attività

UNI 11532-2:2020		Senza impianto di amplificazione o con impianto spento
	T ottimale [s]	0,00
	STI minimo	0,5
	C50 minimo [dB]	0

## Tempo di riverberazione

### Coefficienti di assorbimento materiali/elementi

Materiale	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Coperture rigide per pavimenti (per esempio, PVC, parquet) su pavimenti pesanti	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Calcestruzzo, mattoni intonacati	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Calcestruzzo, mattoni intonacati	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Porta (metallo)	0,05	0,08	0,10	0,10	0,07	0,02
Apertura per palcoscenico con decorazione	0,40	0,43	0,57	0,70	0,80	0,80

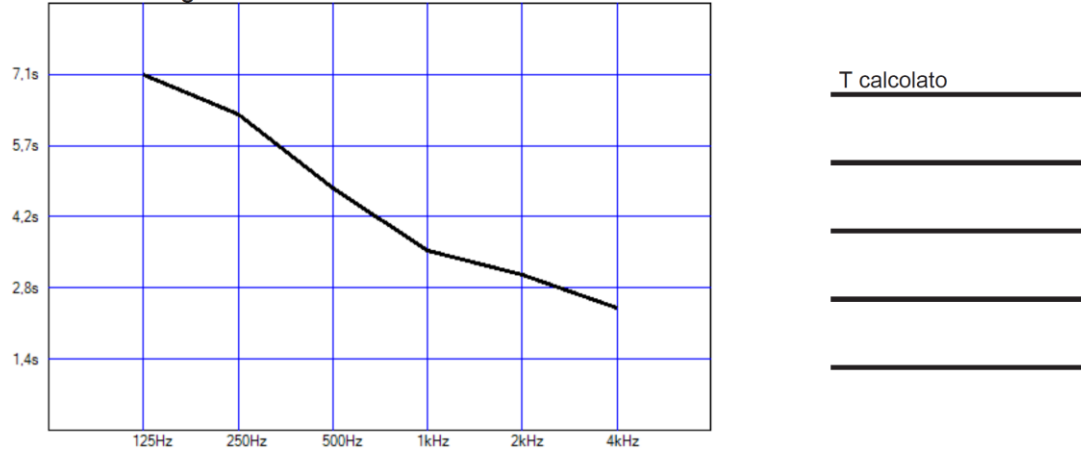
### Aree assorbimento equivalenti

Materiale	Area / Nr	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Coperture rigide per pavimenti (per esempio, PVC, parquet) su pavimenti pesanti	135,00	2,70	4,05	5,40	6,75	6,75	8,10
Calcestruzzo, mattoni intonacati	135,00	1,35	1,35	1,35	2,70	2,70	4,05
Calcestruzzo, mattoni intonacati	662,88	6,63	6,63	6,63	13,26	13,26	19,89
Porta (metallo)	7,38	0,37	0,59	0,74	0,74	0,52	0,15
Apertura per palcoscenico con decorazione	92,30	36,92	39,69	52,61	64,61	73,84	73,84

**Visualizzazione tabellare**

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
T calcolato [s]	7,08	6,30	4,81	3,57	3,09	2,44
Intervalli di conformità (UNI 11532) [s]	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
T medio (250Hz - 2kHz) [s]	4,44					

**Visualizzazione grafica**



Calcoli eseguiti con il software ECHO 8.3.2

7



## VpCAI Teatro Borsoni - analisi Torre Scenica (stato di progetto)

### Caratteristiche dell'ambiente

#### Dati geometrici

Volume dell'ambiente vuoto [m <sup>3</sup> ]	2160,0
Volume netto dell'aria [m <sup>3</sup> ]	2160,0

#### Condizioni interne

Temperatura [°C]	20
Umidità relativa [%]	50 - 70

Area totale di assorbimento equivalente dell'aria						
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
A [m <sup>2</sup> ]	0,86	2,59	5,18	8,64	14,69	35,42

#### Valori di riferimento

DPCM 5/12/1997	Altra destinazione d'uso	-
	Verifica limite non prevista	

UNI 11367:2010	Ambiente adibito a	Altre attività

UNI 11532-2:2020		Senza impianto di amplificazione o con impianto spento
	T ottimale [s]	0,00
	STI minimo	0,5
	C50 minimo [dB]	0

## Tempo di riverberazione

### Coefficienti di assorbimento materiali/elementi

Materiale	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Coperture rigide per pavimenti (per esempio, PVC, parquet) su pavimenti pesanti	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Calcestruzzo, mattoni intonacati	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Calcestruzzo, mattoni intonacati	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Porta (metallo)	0,05	0,08	0,10	0,10	0,07	0,02
Apertura per palcoscenico con decorazione	0,40	0,43	0,57	0,70	0,80	0,80
Stratocell Whisper	0,01	0,10	0,50	0,90	0,70	0,60

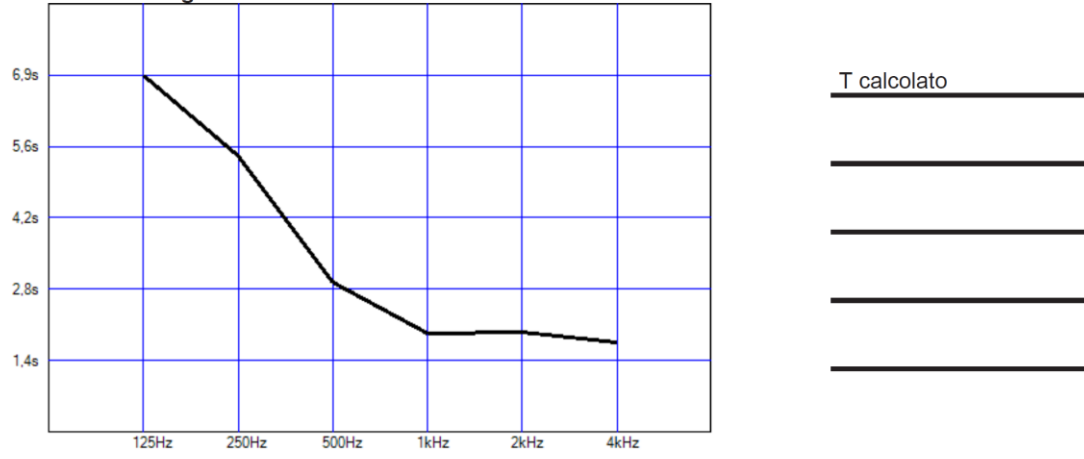
### Aree assorbimento equivalenti

Materiale	Area / Nr	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Coperture rigide per pavimenti (per esempio, PVC, parquet) su pavimenti pesanti	135,00	2,70	4,05	5,40	6,75	6,75	8,10
Calcestruzzo, mattoni intonacati	135,00	1,35	1,35	1,35	2,70	2,70	4,05
Calcestruzzo, mattoni intonacati	662,88	6,63	6,63	6,63	13,26	13,26	19,89
Porta (metallo)	7,38	0,37	0,59	0,74	0,74	0,52	0,15
Apertura per palcoscenico con decorazione	92,30	36,92	39,69	52,61	64,61	73,84	73,84
Stratocell Whisper	94,00	0,94	9,40	47,00	84,60	65,80	56,40

**Visualizzazione tabellare**

	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
T calcolato [s]	6,94	5,37	2,91	1,91	1,95	1,75
Intervalli di conformità (UNI 11532) [s]	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00	0,00-0,00
T medio (250Hz - 2kHz) [s]	3,03					

**Visualizzazione grafica**



## 5. Schede tecniche e certificazioni

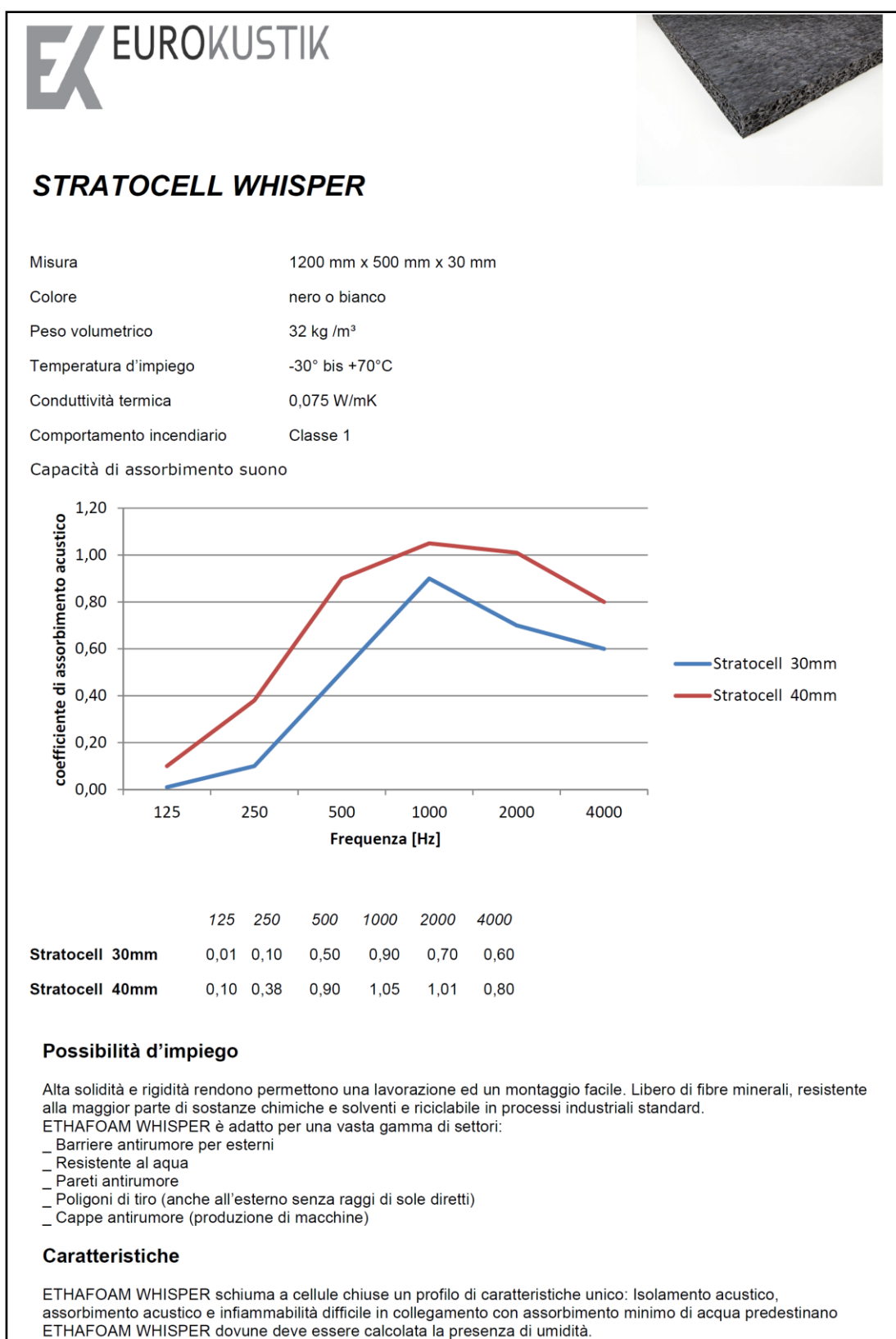


Figura 12: scheda tecnica (controsoffitto fonoassorbente *Stratocell Whisper*, fonte *eurokustik.com*)

**Sogimi**  
Gruppo

HOME IL GRUPPO I PRODOTTI ▾ SERVIZI NEWS | CONTATTI



## Whisper®

### POLIETILENE ESPANSO

#### DESCRIZIONE

**Whisper®** è la gamma di **pannelli in polietilene espanso semirigido a cellule chiuse microforate** dalle elevate **proprietà fonoassorbenti: fino alla classe A (EN ISO 11654)** negli spessori 40 e 50 mm.

Le caratteristiche di **durabilità, leggerezza**, oltre alla **facilità di lavorazione e montaggio** ne fanno uno dei materiali più innovativi per il **controllo dell'acustica** a livello industriale ed edilizio.

**Grazie alla speciale composizione**, rispetto ai tradizionali materiali a celle aperte **Whisper® non assorbe odori, umidità, polvere ed è lavabile** anche mediante l'uso di detersivi, a garanzia di igienicità.

Dotato di una **struttura robusta e autoportante**, **Whisper® non si degrada, sbriciola o sfibra** ed è certificato contro la **proliferazione batterica** e per i **bassi valori VOC** secondo la normativa **EN ISO 16000-9**.

Classificato al fuoco **Euroclass EN 13501 B-s1,d0 (monostrato) e B-s2,d0 (multistrato)**, è idoneo per l'applicazione in contesti pubblici come **sale mensa, uffici, ospedali, scuole e aule**, oltre ad essere indicato per ambienti umidi grazie alla sua **resistenza all'acqua**.

Installato con frequenza su **barriere stradali, sistemi di filtraggio, vani motore** e molto altro, **Whisper®** è impiegato con successo anche negli impianti sportivi, quali **palestre, piscine, campi da padel, poligoni di tiro**.

#### IN SINTESI

- Massima classe di fonoassorbimento (processo a doppia perforazione brevettata)
- Resistente ad acqua e umidità
- Leggero
- Autoportante
- Flessibile
- Lavabile e igienizzabile
- Assenza di spolveramento e sfibramento
- Mantenimento delle proprietà acustiche e meccaniche nel tempo
- Facile da lavorare ed installare
- Applicabile a vista
- Certificato contro la proliferazione batterica e per i bassi valori VOC
- Euroclass EN 13501 B-s1,d0 (monostrato) e B-s2,d0 (multistrato)

Figura 13: scheda tecnica (polietilene espanso tipo *Whisper*, fonte *sogimi.com*)