

Analisi acustica del teatro Tordinona



S. Basili
E. Boria
M. Di Giovanni
E. Federici
S. Karakiozi
F. Loiacono



Sommario

1-	Premessa	3
2-	Cenni storici	3
3-	Normativa di riferimento	3
4-	Descrizione della sala	5
5-	Inquadramento teorico	6
5.1-	Tempo di riverbero	8
5.2-	Indici di qualità.....	9
5.2.1-	Early Decay Time(EDT).....	9
5.2.2-	Speech Trasmission Index (STI), RApid Speech Trasmission Index (RASTI) e Speech Transmission Index Public Address (STIPA)	9
5.2.3-	Clarity index (C80, C50)	10
5.2.4-	Articulation Losses of consonants (Alcons)	11
5.2.5-	Valori di riferimento per gli indici di qualità	11
6-	Modello statistico	12
	SCHEDA 1 - <i>Calcolo teorico T60 secondo la teoria di Sabine</i>	13
7-	Procedura di misurazione.....	14
	SCHEDA 2 - <i>Distribuzione del tempo di riverbero e dell' EDT</i>	18
9-	Flutter echo	26
10-	Conclusioni.....	28
	ALLEGATO 1 - <i>Certificato di Taratura</i>	29
	ALLEGATO 2 - <i>Profili di calibrazione</i>	30

1- Premessa

In questa relazione si è studiata l'acustica di un teatro storico, al fine di preservare l'impronta sonora dell'ambiente per ricrearla dopo eventuali ristrutturazioni. Il teatro in oggetto è il Teatro Tordinona situato in Via degli Acquasparta 16 in Roma.

2- Cenni storici

Il teatro sorse nel 1670 in un immobile appartenuto alla famiglia Orsini, sito ove ora sono gli argini del Tevere e precisamente nell'attuale lungotevere Tordinona. La costruzione fu successivamente adibita a carcere, a locanda e infine a teatro, a seguito dei lavori di adattamento affidati a Carlo Fontana dalla Confraternita di frati divenuta proprietaria dello stabile. Dopo vari passaggi di proprietà e ricostruzioni, il teatro venne definitivamente demolito nel 1886 per consentire la costruzione degli argini del Tevere. L'Istituto Autonomo Case Popolari si prese carico della ricostruzione dello stesso nelle immediate vicinanze, così nei primi anni trenta del XX secolo il Teatro Tordinona riaprì i battenti in via degli Acquasparta. Durante la seconda guerra mondiale fu trasformato in rifugio antiaereo e poi per circa vent'anni, dal dopoguerra fino al 1968, cambiò il suo nome in "Pirandello" per ricordare le frequentazioni del grande drammaturgo, per tornare infine al suo nome originario Teatro Tordinona.

3- Normativa di riferimento

La seguente relazione è stata effettuata in accordo con lo standard ISO 3382-1:2009 per la misurazione dei parametri acustici di sale per conferenze e concerti. Essa descrive la procedura di misurazione, l'attrezzatura necessaria, la copertura richiesta, il metodo di valutazione dei dati e di presentazione della relazione. La presente norma internazionale approvata dal CEN il 10 dicembre 1999, specifica i metodi per la misurazione del tempo di riverberazione negli ambienti. Non è limitata agli auditori o alle sale da concerto; trova applicazione anche negli ambienti in cui si tengono discorsi o musica o per i quali il fattore di protezione acustica è importante. Inoltre è intesa per l'applicazione di moderne tecniche di misurazione digitale e per la valutazione di parametri acustici ambientali derivati dalle risposte agli impulsi.

Ai fini della presente norma internazionale, si applicano i termini e le definizioni seguenti.

Curva di decadimento:

Decadimento del livello della pressione sonora in funzione del tempo in un punto dell'ambiente dopo la cessazione della sorgente sonora.

Metodo del rumore interrotto:

Metodo per ottenere curve di decadimento registrando direttamente il decadimento del livello della pressione sonora dopo aver eccitato un ambiente con un rumore a larga banda o a banda limitata.

Metodo di risposta integrata all'impulso:

Metodo per ottenere curve di decadimento mediante integrazione inversa delle risposte all'impulso quadro.

Risposta all'impulso:

Diagramma, in funzione del tempo, della pressione sonora ricevuta in un ambiente quale risultato di un eccitamento dell'ambiente da parte di una funzione delta di Dirac.

Tempo di riverberazione:

T e il tempo, espresso in secondi, necessario affinché il livello di pressione sonora diminuisca di 60 dB, ad un tasso di decadimento indicato dalla regressione lineare dei minimi quadrati della curva di decadimento misurata da un livello minore del livello iniziale da 5 dB fino a 35 dB.

Condizione di misurazione:

Le misurazioni del tempo di riverberazione possono essere eseguite con l'ambiente che si trova in uno o in tutti gli stati di occupazione. Se l'ambiente è provvisto di componenti regolabili per fornire condizioni



acustiche variabili, può risultare importante eseguire delle misurazioni separate con questi componenti in ognuna delle loro normali posizioni di regolazione. La temperatura e l'umidità relativa dell'aria nell'ambiente dovrebbe essere misurata con un'accuratezza rispettivamente di ± 1 °C e $\pm 5\%$.

Sorgente sonora:

La sorgente sonora dovrebbe essere il più possibile simile all'omnidirezionale. Deve produrre un livello di pressione sonora sufficiente a generare le curve di decadimento con il minimo campo dinamico richiesto senza alcuna contaminazione da parte del rumore di fondo. Gli altoparlanti commerciali di uso domestico non sono accettabili come sorgente omnidirezionale. Nel caso di misurazione di risposte agli impulsi utilizzando sequenze pseudocasuali, il livello di pressione sonora richiesto potrebbe essere abbastanza basso dato che è possibile un forte miglioramento del rapporto segnale/rumore grazie alla mediazione correlata. In caso di misurazioni eseguite non utilizzando la mediazione sincrona o altre tecniche per intensificare il campo di decadimento, è necessario che il livello della sorgente generi almeno 45 dB maggiori del livello del rumore di fondo nella corrispondente banda di frequenza. Se si deve misurare solo T20, è sufficiente creare un livello di almeno 35 dB maggiori del livello del rumore di fondo

Microfoni, attrezzature di registrazione ed analisi:

I microfoni omnidirezionali devono essere utilizzati per rilevare la pressione sonora e l'uscita può essere rilevata, o direttamente da un amplificatore, con una serie di filtri ed un sistema per visualizzare le curve di decadimento con un'attrezzatura di analisi per derivare le risposte agli impulsi, oppure da un registratore di segnale per la successiva analisi. L'apparecchiatura di misurazione deve soddisfare le esigenze di un misuratore di livello sonoro (fonometro) del tipo 1 in conformità alla IEC 651. I filtri di ottava o di terzo di ottava devono essere conformi alla IEC 1260.

Posizioni di misura:

Dato che una misurazione può essere richiesta per vari scopi, il numero delle posizioni di misura è scelto per conseguire un'adeguata copertura nell'ambiente. Le posizioni dei microfoni devono essere distanti almeno metà lunghezza d'onda, cioè una distanza minima di circa 2 m per il campo di frequenza comune. La distanza tra ogni postazione microfonica e la più vicina superficie di riflessione, compreso il pavimento, deve essere di almeno un quarto di lunghezza d'onda, cioè generalmente circa 1 m. Nessuna postazione microfonica deve essere troppo vicina ad una posizione di sorgente per evitare un'influenza troppo forte da parte del suono diretto.

Metodo del rumore interrotto:

Si deve utilizzare una sorgente ad altoparlante ed il segnale in ingresso nello stesso deve essere derivato dal rumore elettrico a larga banda casuale o pseudocasuale. Se si usa un rumore pseudo-causale, lo stesso deve cessare casualmente senza usare una sequenza di ripetizione. La sorgente sonora dovrebbe essere il più omnidirezionale possibile. Per le misurazioni in bande di ottava, la larghezza di banda del segnale deve essere maggiore di un ottava e per le misurazioni in banda di terzo di ottava la larghezza del segnale deve essere maggiore di terzo di ottava. Lo spettro deve essere ragionevolmente piatto nell'ambito della banda di ottava reale che deve essere misurata. La durata dell'eccitazione dell'ambiente deve essere sufficiente per permettere al campo sonoro di raggiungere uno stato stazionario prima di decadere, e pertanto è essenziale emettere il rumore per un periodo minimo di T/2 secondi. Per grandi volumi, la durata dell'eccitazione deve essere di almeno alcuni secondi.

Numero delle misurazioni:

Il numero delle postazioni microfoniche utilizzate è determinato dalla copertura richiesta. Tuttavia, in vista della casualità intrinseca della sorgente sonora, è necessario mediare su di un numero di misurazioni eseguite ad ogni postazione per ottenere una ripetibilità accettabile. Pertanto si devono compiere un minimo di tre misurazioni in ogni posizione e mediare i risultati. Quindi si possono trovare i tempi di riverberazione per tutte le curve di decadimento e prendere il valore medio, oppure effettuare una media quadratica dei decadimenti della pressione sonora e trovare il tempo di riverberazione della curva di decadimento risultante. Il metodo utilizzato deve essere annotato nel resoconto di prova. Se si usa la

mediazione d'insieme, è concesso eseguire solo una misurazione ad ognuna delle postazioni minime installate, invece di usare tre misurazioni ad ogni postazione.

Resoconto di prova:

Il resoconto di prova deve stabilire che le misurazioni sono state effettuate in conformità con la presente norma internazionale.

Deve comprendere:

- a- il nome ed il luogo dell'ambiente esaminato
- b- una bozza della planimetria dell'ambiente con l'indicazione della scala
- c- il volume dell'ambiente
- d- per sale di conferenza o di musica: il numero ed il tipo dei posti a sedere (per esempio se imbottiti o meno); se imbottiti e se le informazioni sono disponibili: lo spessore ed il tipo dell'imbottitura, il tipo del materiale di rivestimento (sedili porosi o non porosi, rialzati o abbassati) e quali parti del sedile sono rivestite
- e- una descrizione della forma e del materiale delle pareti e del soffitto
- f- lo stato o gli stati di occupazione durante le misurazioni ed il numero degli occupanti
- g- la condizione di ogni attrezzatura variabile quali i teloni, il sistema di monitoraggio del pubblico, i sistemi elettronici di intensificazione della riverberazione, ecc.
- h- per i teatri, se i teloni di sicurezza o i teloni decorativi sono alzati o abbassati
- i- una descrizione, se necessaria, dell'arredo del proscenio, comprese tutte le recinzioni per i concerti, ecc.
- j- la temperatura e l'umidità relativa nell'ambiente durante la misurazione
- k- il tipo e la posizione delle sorgenti sonore utilizzate
- l- una descrizione del segnale sonoro utilizzato
- m- la copertura scelta compresi i dettagli delle postazioni microfoniche, preferibilmente riportate su di uno schema unitamente alle altezze a cui sono posti i microfoni
- n- la descrizione degli apparecchi di misurazione, della sorgente e dei microfoni e se sono stati impiegati registratori a nastro
- o- la data della misurazione ed il nome di chi ha effettuato le misurazioni.

4- Descrizione della sala

Il Teatro Tor di Nona ha una capienza di 80 posti. La sua struttura classica si compone di platea e palco per un totale di circa $135 m^2$; presenti nel soffitto quattro volte e lungo una parete due entrate per il pubblico. Sono presenti dei pannelli fonoassorbenti sulla parete opposta al palco e come copertura delle quattro finestre site sotto le volte.

Le poltrone sono rivestite ed imbottite, il pavimento è interamente ricoperto di moquette e le uscite sono dotate di pesanti tende. Le pareti perimetrali ed il soffitto sono di tufo ricoperte da stucco e vernice.

In **figura 1** è illustrato il modello tridimensionale della sala.

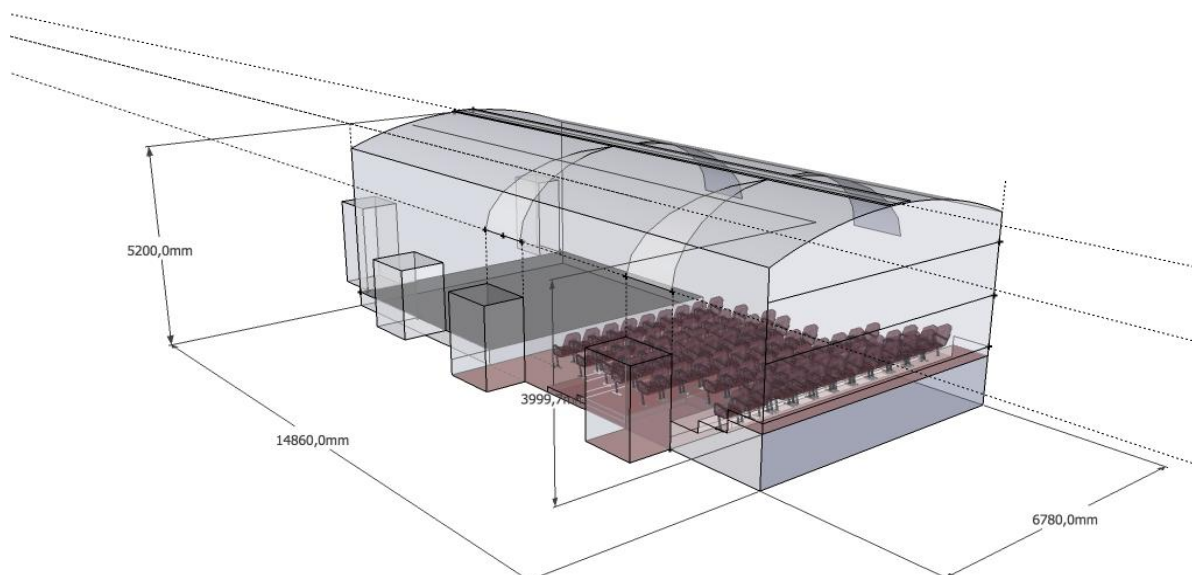


Figura 1 - Modello tridimensionale della sala teatro Tordinona.

5- Inquadramento teorico

Gli aspetti fisici che regolano la propagazione del suono all'interno degli ambienti chiusi è tanto complessa che non è possibile descrivere il fenomeno con mezzi matematici analitici. Tuttavia, sono disponibili modelli di calcolo che, per mezzo di ipotesi semplificative, permettono di ottenere previsioni sufficientemente attendibili. Generalmente vengono impiegati due tipologie di modelli di calcolo scelti in base alla complessità delle problematiche e al tipo di valutazione di cui si ha bisogno per decidere i diversi accorgimenti progettuali allo scopo di garantire una diffusione sonora ottimale. Nel caso si voglia effettuare una vera e propria simulazione della risposta acustica di un ambiente nella maggior parte dei casi vengono usati specifici software previsionali che utilizzano i principi dell'ottica geometrica per tracciare la propagazione dei raggi acustici nel modello di ambiente da analizzare permettendo quindi di valutare, con l'approssimazione richiesta, il comportamento dell'ambiente in ogni punto. Per simulare il comportamento acustico di un ambiente si possono però impiegare algoritmi di calcolo semplificati che pur restituendo medie sull'ambiente analizzato, sono comunque utili a garantire un adeguato risultato, evitando la pesantezza di calcolo derivante dallo studio delle traiettorie seguite dai raggi acustici che andrebbero a gravare su tempi e costi. Al tal fine, è comunque necessario conoscere i meccanismi di propagazione del suono in uno spazio confinato.

In un ambiente confinato, una sorgente sonora determina due campi sonori sovrapposti: un campo sonoro diretto, prodotto dal suono che si trasmette direttamente dalla sorgente al ricettore e un campo sonoro riverberante, prodotto dalle riflessioni delle onde sonore sulle superfici che delimitano l'ambiente. L'onda sonora riflessa raggiungerà il ricettore dopo l'onda diretta, il cui ritardo è dipendente dalla lunghezza del percorso che ha compiuto a causa delle riflessioni (**figura 2**).

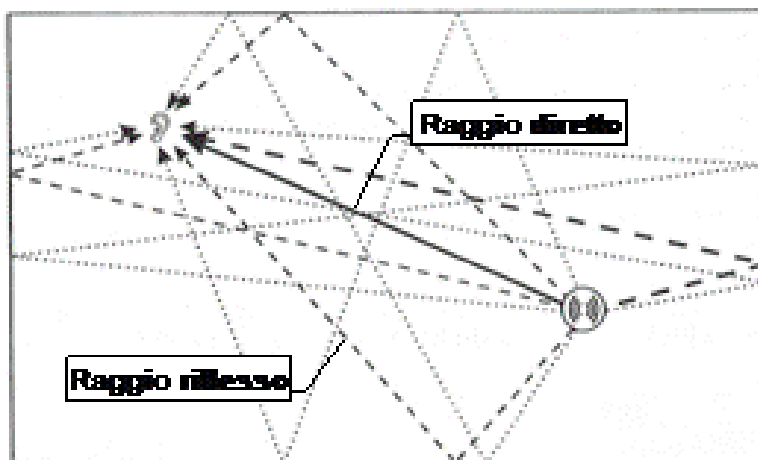


Figura 2 - Rappresentazione geometrica del campo sonoro in un ambiente chiuso.

Il campo sonoro diretto dipende principalmente dalla distanza che intercorre fra sorgente e ricevitore, il cui decadimento è legato alla relazione prevista per la propagazione del suono all'aperto (campo libero), mentre il campo sonoro riverberante dipende dalla geometria e dalle caratteristiche di assorbimento del rumore delle superfici che delimitano l'ambiente. Nella **figura 3** è riportato un esempio della riduzione sonora risultante dalla sovrapposizione dei due campi (diretto e riverberante) in funzione della distanza.

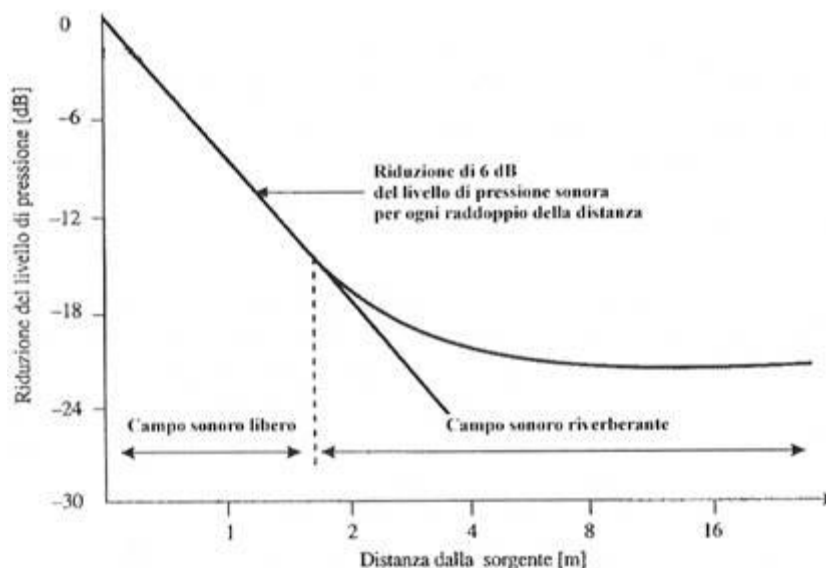


Figura 3 - Andamento della pressione sonora con la distanza.

Gli elementi presenti all'interno di un ambiente chiuso (pareti, arredamenti, persone, ecc.) condizionano la propagazione acustica, poiché assorbono in diversa misura l'energia sonora che incide su di loro. Tali fenomeni possono alterare e deteriorare la qualità del suono percepito dal ricevitore, causando ad esempio il degrado della comunicazione verbale o dell'ascolto della musica.

In questo lavoro viene utilizzato il modello di Sabine che studia in modo statistico la risposta di un ambiente prendendo in considerazione i materiali presenti, tarando successivamente il modello con una campagna di misure.

5.1- Tempo di riverbero

Per definire la qualità acustica di un locale è stato introdotto il tempo di riverberazione, il quale indica il tempo, in secondi, necessario affinché, in un punto di un ambiente chiuso, il livello sonoro si riduca di una certa entità rispetto a quello che si ha nell'istante in cui la sorgente sonora ha finito di emettere. Di norma, viene utilizzato il tempo di riverberazione T60, cioè l'intervallo di tempo in cui l'energia sonora decresce di 60 dB dopo lo spegnimento della sorgente. In un ambiente avente dimensioni abbastanza prossime fra loro il valore di T60 è calcolabile secondo la formula di Sabine.

$$T_{60} = 0,16 \frac{V}{\alpha \cdot S}$$

Dove: V è il volume dell'ambiente in m³, $\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot S_i}{\sum_i S_i}$ è il coefficiente di assorbimento medio, cioè

la media dei coefficienti di assorbimento di tutte le pareti, $S = \sum_i S_i$ è la superficie totale dell'ambiente, somma delle superfici degli elementi presenti nell'ambiente.

La determinazione del tempo di riverberazione di un ambiente è pertanto fondamentale per poter giudicare le sue caratteristiche acustiche e decidere se intervenire sulle strutture che la delimitano aumentandone le capacità di fonoassorbimento. Si dovrà intervenire, infatti, se il valore del tempo di riverberazione T60 non sia almeno pari al valore ottimale, ricavato sulla scorta di tabelle o diagrammi forniti in letteratura o da norme di settore. A titolo esemplificativo, di seguito (**figura 4**) è riportato il diagramma con i valori ottimali dei tempi di riverberazione in funzione del volume della sala e della destinazione d'uso.

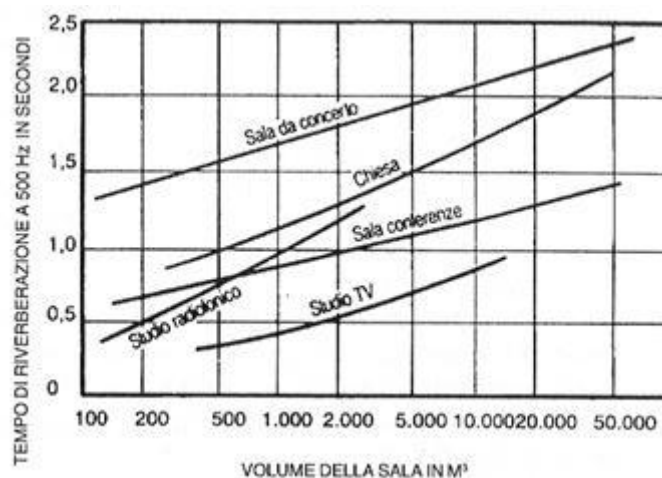


Figura 4 - Valori ottimali dei tempi di riverberazione.

La presenza di persone all'interno dell'ambiente influenza il valore del tempo di riverberazione, poiché determina un aumento dell'assorbimento acustico.

Il fenomeno della riverberazione presenta, tuttavia, aspetti positivi e negativi. Infatti, se un certo valore del tempo di riverberazione aiuta a rinforzare il suono diretto e quindi a migliorarne l'ascolto, per contro, un valore eccessivo della coda sonora ne compromette la qualità, rendendo il suono non definito. Ottenere valori ottimali del tempo di riverberazione rappresenta il giusto compromesso tra il raggiungimento di un livello sonoro sufficiente per un'audizione senza sforzo, in tutti i punti dell'ambiente, e la riduzione del disturbo provocato da un eccesso di riverberazione. In generale, per ambienti destinati all'ascolto della parola i valori ideali di T60 sono più brevi rispetto a quelli per le sale destinate all'ascolto della musica, in quanto la diffusione musicale richiede una maggiore enfaticizzazione 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.

5.2- Indici di qualità

5.2.1- Early Decay Time(EDT)

L'EDT è la misura della prima parte della riverberazione ed è definito come il tempo necessario per un decadimento di 10 dB di un suono interrotto ed è più sensibile alla posizione del punto di ascolto e alla geometria della sala rispetto al T60 al quale viene paragonato (i valori dell' EDT sono nella maggior parte dei casi inferiori al tempo di riverbero): dove il decadimento della pressione acustica è lineare i due parametri tendono ad essere identici mentre un' imperfetta diffusione locale è evidenziata da una loro differenza.

5.2.2- Speech Trasmission Index (STI), RApid Speech Trasmission Index (RASTI) e Speech Trasmission Index Public Address (STIPA)

L'indice STI viene utilizzato per quantificare l'intelligibilità del parlato in una data posizione in modo oggettivo. Lo STI si determina confrontando un segnale noto emesso da un altoparlante con il segnale ripreso da un microfono posto nel punto in cui occorre determinare l'intelligibilità del parlato.

Il segnale ripreso dal microfono avrà le caratteristiche del segnale noto modificate dall'ambiente e dalla catena di diffusione sonora. Il segnale è formato da una portante suddivisa in bande di ottava nella gamma 125 Hz – 8 kHz, ciascuna delle bande viene modulata in ampiezza con una frequenza variabile da 0,63 Hz a 12,5 Hz, il risultato è costituito da un insieme di 98 combinazioni. Per ridurre il tempo di misura si utilizza un segnale di eccitazione contenente simultaneamente tutte le frequenze di modulazione, separate nella fase di ripresa microfonica ed analisi utilizzando filtri o l'analisi di Fourier. Si può anche ricavare l'indice STI dalla risposta all'impulso dell'ambiente.

Un'ulteriore semplificazione venne ideata alla fine degli anni settanta utilizzando solo due bande di frequenza nella misura dei parametri di modulazione (500 Hz e 2kHz). Questo metodo, chiamato RASTI, nel caso di sistemi fortemente non lineari o in ambienti troppo riverberanti perde la sua efficacia.

In ambienti di questo genere, come aeroporti, stazioni, ambienti industriali, si utilizza una variante denominata STIPA, la quale utilizza tutte e sette le bande dello STI ma vengono misurati solamente 12 indici di modulazione invece di 98.

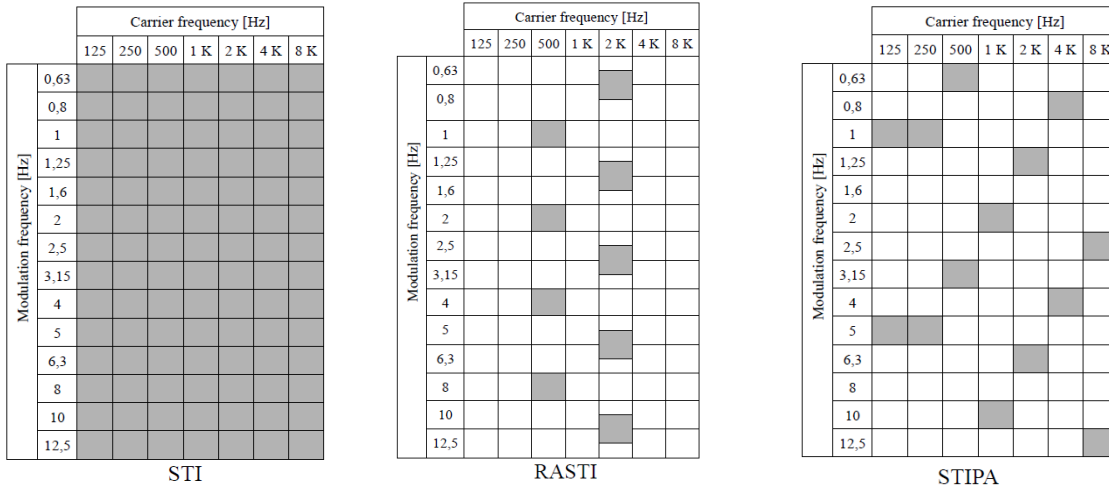


Figura 5 - Confronto tra i metodi di misura degli indici STI, RASTI e STIPA.

Lo STI, può essere definito attraverso attraverso la seguente relazione, che esprime la funzione di trasferimento della modulazione:

$$m(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f \frac{T}{13.8})^2}} * \frac{1}{1 + 10^{0.1(-\frac{S}{N})}}$$

dove:

F = frequenza di modulazione (per $1/3$ d'ottava)

T = tempo di riverberazione (s)

S/N = rapporto segnale/rumore (dB)

Dalla relazione si comprende come al crescere del tempo di riverberazione si riduca $m(f)$ e quindi lo STI , come con un basso rapporto segnale/rumore (S/N).

5.2.3- Clarity index (C80, C50)

Il C80 è il rapporto, espresso in dB, tra energia sonora che arriva nei primi 80 ms e che contribuisce a rafforzare il segnale diretto e l'energia delle successive riflessioni, le quali possono causare la perdita di definizione. Viene espresso nella seguente formula:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ (dB)}$$

Il contributo delle prime riflessioni è da attribuire alle pareti più prossime al punto di ascolto mentre le successive alle pareti più lontane.

Se l'indice è troppo basso le parti veloci della musica non sono riconoscibili.

Se non c'è riverbero nella stanza la musica sarà molto chiara è il C80 avrà un elevato valore positivo.

Se la stanza è riverberante invece, la musica non sarà chiara e il C80 presenterà un elevato valore negativo. Un valore di C80 prossimo a 0 indica che il segnale diretto e quello riflesso hanno lo stesso peso. I valori consigliati dell'indice C80 dipendono quindi dall'utilizzo della sala, alti valori sono idonei per sale conferenze dove la chiarezza del segnale diretto è fondamentale (**C80 ≥ 3 dB**), mentre valori inferiori sono da preferire per le sale da concerto e teatri dove la musica ha un ruolo predominante (**-4 dB ≤ C80 ≤ 2dB**).

Per il parlato, vale lo stesso discorso della musica, ma l'indice di chiarezza viene calcolato nei primi 50 ms (**C₅₀**) piuttosto che nei primi 80 ms. Si restringe quindi la finestra temporale per dare più significato ai segnali diretti.

5.2.4- Articulation Losses of consonants (Alcons)

Un altro parametro utile per definire l'intelligibilità del parlato legato all'indice STI è la perdita di articolazione delle consonanti che viene ricavato mediante la seguente formula:

$$\text{Alcons} = 10^{\frac{1-STI}{0.46}}$$

5.2.5- Valori di riferimento per gli indici di qualità

I valori di STI e RASTI variano da 0 a 1, dove il valore 0 indica nessuna intelligibilità ed il valore 1 da un'intelligibilità totale.

STI	Alcons	RASTI	Giudizio
da 0,75 a 1	da 0 a 5	da 0,76 a 1	intelligibilità eccellente
da 0,60 a 0,75	da 5 a 10	da 0,58 a 0,76	intelligibilità buona
da 0,45 a 0,60	da 10 a 15	da 0,42 a 0,58	intelligibilità discreta
da 0,32 a 0,45	da 15 a 20	da 0,28 a 0,42	intelligibilità scarsa
da 0 a 0,32	> 20	da 0,20 a 0,28	intelligibilità cattiva

*Tabella 1 - Tabella di Steeneken e Houtgast **

* *Houtgast T., Steeneken H.J.M., 1973, "The modulation transfer function in room acoustics as a Predictor of speech Intelligibility", Journal of the Acoustical Society of America, vol. 54, p. 557.*

6- Modello statistico

Per il calcolo teorico del tempo di riverbero secondo la teoria di Sabine (par. 5.1) si è usato un foglio di calcolo nel quale sono stati introdotti i coefficienti di assorbimento dei vari materiali presenti nella sala. I risultati sono riportati nella seguente **figura 6** e nella relativa **tabella 2**.

Le dimensioni della sala e gli altri parametri usati per il modello teorico sono riportati nella **SCHEDA 1**.

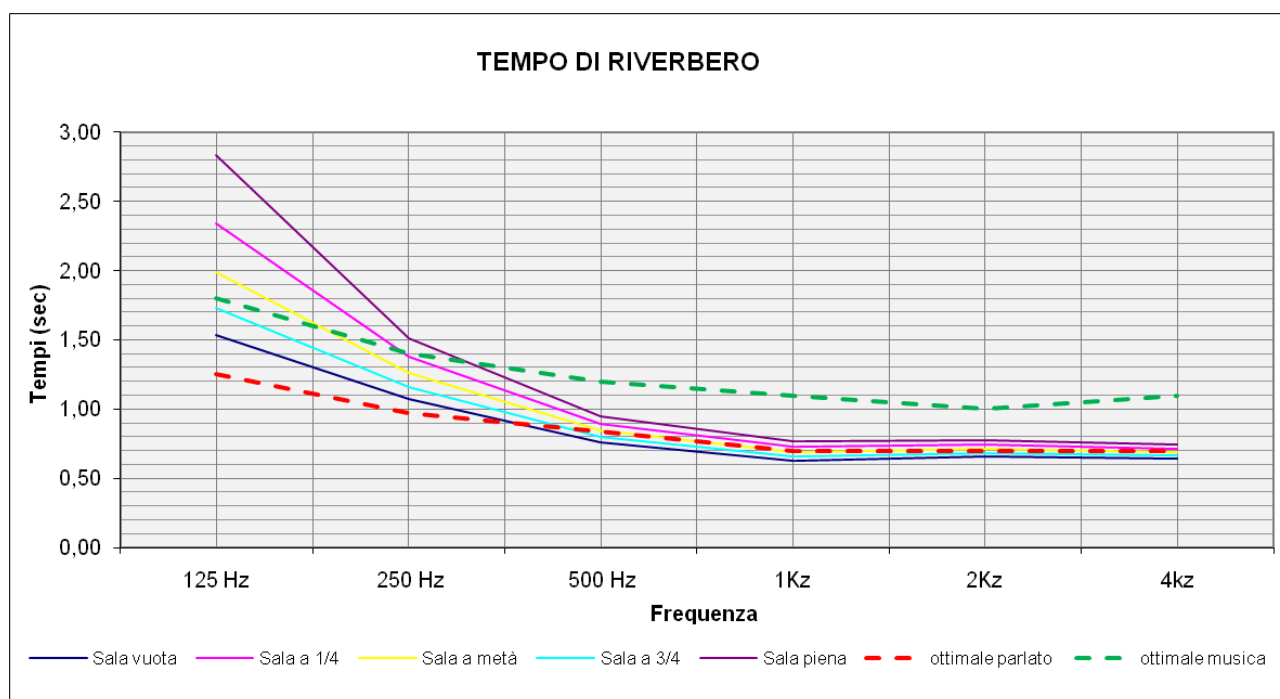


Figura 6 - Tempi di riverbero teorici secondo la teoria statistica.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ambiente pieno	2,84	1,51	0,95	0,77	0,77	0,74
Ambiente pieno a 3/4	2,34	1,37	0,89	0,73	0,74	0,71
Ambiente pieno a 2/4	1,99	1,26	0,84	0,69	0,71	0,69
Ambiente pieno a 1/4	1,73	1,16	0,80	0,66	0,68	0,67
Ambiente vuoto	1,53	1,08	0,76	0,63	0,66	0,64
ottimale musica	1,80	1,40	1,20	1,10	1,00	1,10
ottimale parlato	1,25	0,97	0,83	0,70	0,70	0,70

Tabella 2

SCHEDA 1 - Calcolo teorico T60 secondo la teoria di Sabine

Volume ambiente: 484.84 m³
 Superficie ambiente: 135.256 m²
 Numero posti: 80
 Fattore k: 0.35

UNITA' ASSORBENTI FISSE

		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1Kz	2Kz	4kz	
	superficie(m ²)	coefficienti di assorbimento						
materiali:								
pavimento	59,392	0,05	0,05	0,10	0,20	0,30	0,59	moquette
pavimento palco	44,07	0,03	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17	legno
par.fondo	27,34	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	intonaco
par.palco	32,548	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	intonaco
par.lat SX	66,55	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	intonaco
par.lat DX	64,88	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	intonaco
soffitto	100,75	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	intonaco
Porta 1 parete lat SX	2,4	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35	tende pesanti
Porta 2 parete lat SX	3	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35	tende pesanti
Porta 3 parete lat SX	2,9	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35	tende pesanti
pann_legno_fondo	10,5	0,05	0,31	0,75	0,84	0,54	0,49	pannello in legno forato
pann_forato_fondo	7,92	0,15	0,30	0,75	0,85	0,75	0,40	pannelli fonoassorbenti
pann_forato_latDX	6,48	0,15	0,30	0,75	0,85	0,75	0,40	pannelli fonoassorbenti
pann_forato_latSX	5,4	0,15	0,30	0,75	0,85	0,75	0,40	pannelli fonoassorbenti
totale mq	434,13							

UNITA' ASSORBENTI MOBILI

		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1Kz	2Kz	4kz	
		coefficienti di assorbimento						
<i>n. poltrone</i>								
Ambiente pieno	0	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70	poltrona imbottita u.a
Ambiente pieno a 3/4	20	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70	poltrona imbottita u.a
Ambiente pieno a 2/4	40	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70	poltrona imbottita u.a
Ambiente pieno a 1/4	60	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70	poltrona imbottita u.a
Ambiente vuoto	80	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70	poltrona imbottita u.a
<i>n. persone</i>								
Ambiente pieno	80	0,20	0,40	0,55	0,60	0,60	0,50	persona seduta u.a
Ambiente pieno a 3/4	60	0,20	0,40	0,55	0,60	0,60	0,50	persona seduta u.a
Ambiente pieno a 2/4	40	0,20	0,40	0,55	0,60	0,60	0,50	persona seduta u.a
Ambiente pieno a 1/4	20	0,20	0,40	0,55	0,60	0,60	0,50	persona seduta u.a
Ambiente vuoto	0	0,20	0,40	0,55	0,60	0,60	0,50	persona seduta u.a

7- Procedura di misurazione

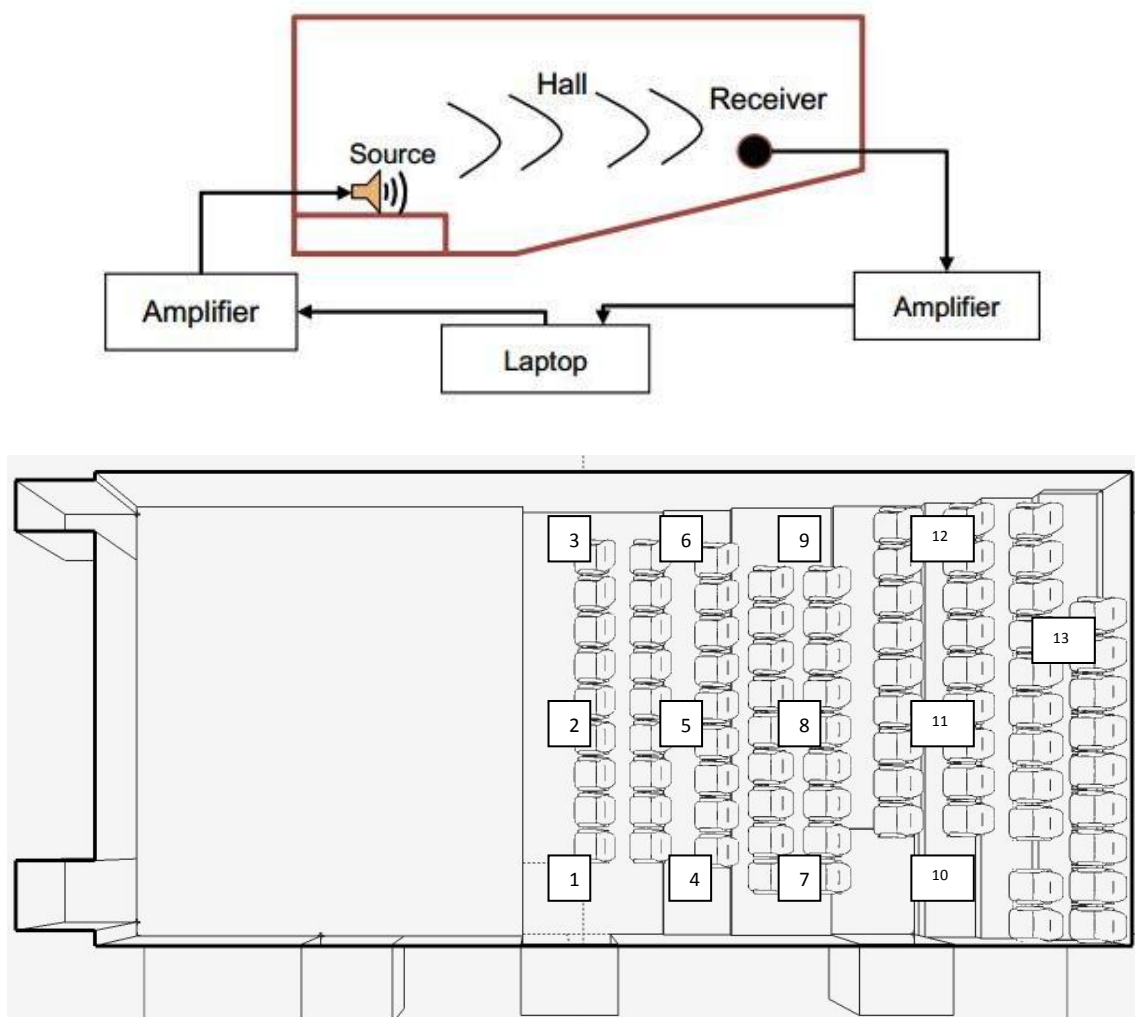


Figura 7 - Schema della catena di misura e della griglia di postazioni utilizzate.

La sorgente sonora utilizzata è stato un segnale di tipo “sweep” da 20Hz a 16 kHz, riprodotto da un altoparlante posizionato tra parete e pavimento del palco, in modo da aumentare la sua direttività verso la platea, producendo un livello di pressione sufficiente per fornire curve di decadimento con il minimo range dinamico richiesto, senza contaminazione del rumore di fondo (35 dB sopra il livello di rumore).

Il calcolo del tempo di riverbero è basato sull’integrale di Schroeder che rappresenta l’energia rimanente dalla risposta all’impulso ad un certo tempo ed è calcolato come segue:

$$s(t) = 10 \log_{10} \frac{\int_t^{\infty} h^2(t) dt}{\max \left\{ \int_t^{\infty} h^2(t) dt \right\}}, \text{ dB}$$

dove $h(t)$ rappresenta la risposta all’impulso ottenuta durante la sessione di test opportunamente filtrata.

Per la misura della risposta all'impulso è stato usato un microfono omnidirezionale disposto secondo una griglia di 13 postazioni rappresentative della posizione che il pubblico occupa in platea, come mostrato in **figura 7**.

Come suggerito dalla normativa vigente sono state eseguite 3 misurazioni per ogni postazione, per un tempo sufficiente a determinare il rumore di fondo successivo al decadimento del segnale sorgente (10 s), e si è calcolata la media ottenendo una misura indicativa per ogni punto della griglia. Durante le misure avvenute il giorno 29-05-2013, il teatro era occupato da quattro operatori; i teli delle uscite erano completamente chiusi e non era presente nessun arredamento scenografico sul palco. Prima di effettuare le misure si è rilevata una temperatura di 23°C.

Si è utilizzato un microfono di classe 1 – SINUS modello APOLLO, n. serie 7535 che è stato posto ad un'altezza dal pavimento di 1,2 m, corrispondente all'altezza media dell'orecchio di un ascoltatore seduto su una sedia. Il software per le misure ed elaborazione dei dati è SAMURAI.

La catena fonometrica è stata tarata con calibratore di pressione sonora da 93.8 dB a 1.000 Hz prima e dopo la serie di rilevamenti riscontrando sempre $93.8 \pm 0,2$ dB(A). I profili di calibrazione sono riportati in **ALLEGATO 2**.

I risultati ottenuti sono riassunti nella **figura 8** e relative **tabella 3** e **tabella 4**.

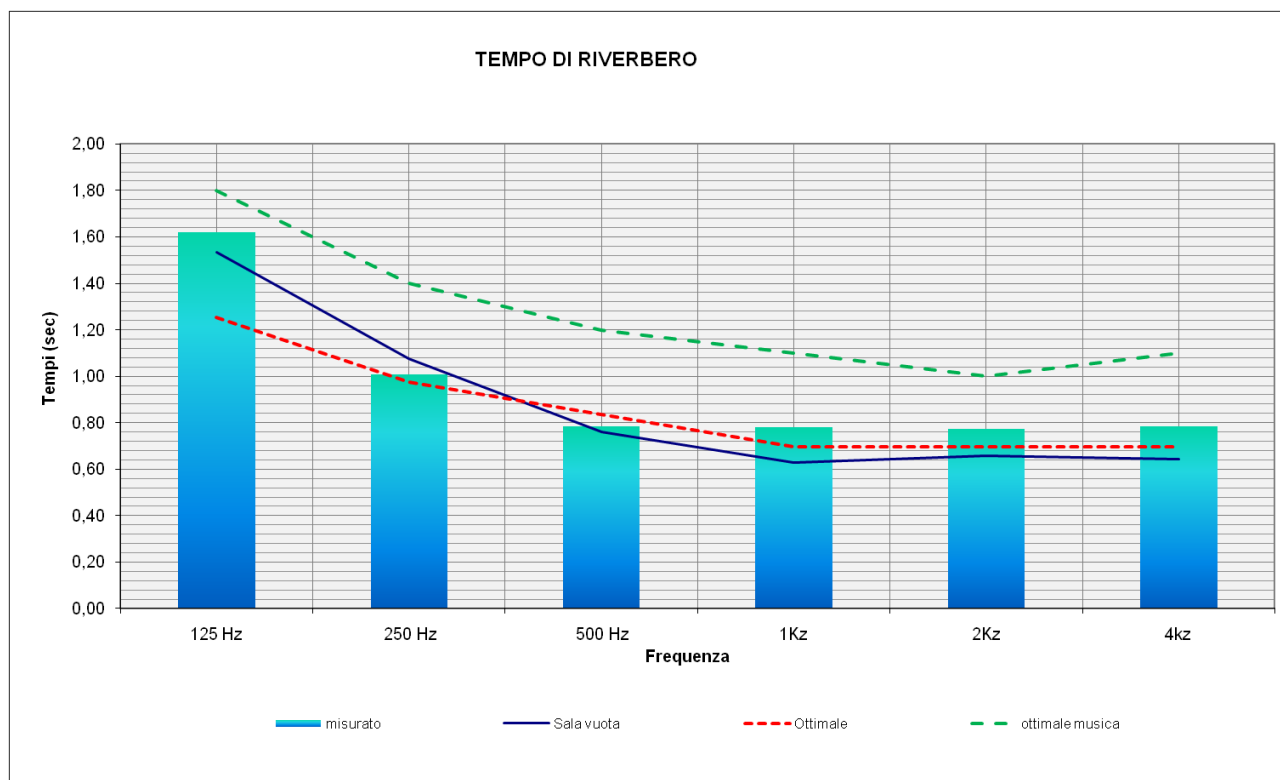


Figura 8 - Tempi di riverbero misurati (mediati su una griglia di 13 postazioni per ogni frequenza).

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
P1	1,48	0,94	0,82	0,89	0,72	0,76
P2	1,52	0,93	0,72	0,89	0,74	0,77
P3	1,24	0,70	0,56	0,61	0,66	0,57
P4	1,56	0,92	0,72	0,88	0,79	0,79
P5	1,56	0,90	0,69	0,69	0,89	0,85
P6	1,49	1,06	0,72	0,68	0,82	1,01
P7	1,44	1,08	0,71	0,82	0,75	0,92
P8	1,84	1,11	0,73	0,72	0,98	0,66
P9	1,93	1,01	1,00	0,69	0,70	0,73
P10	1,63	1,05	0,77	0,77	0,71	0,70
P11	1,62	1,25	0,98	0,73	0,74	0,77
P12	1,76	1,18	0,91	0,83	0,78	0,83
P13	2,00	0,96	0,86	0,95	0,77	0,85
misurato	1,62	1,01	0,78	0,78	0,77	0,78

Tabella 3 - Misure T60.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz
P1	1,305	0,795	0,668	0,736	0,692	0,706
P2	1,205	0,783	0,558	0,624	0,589	0,518
P3	1,241	0,697	0,563	0,609	0,656	0,57
P4	1,383	0,961	0,733	0,695	0,714	0,684
P5	1,323	0,773	0,692	0,575	0,554	0,568
P6	1,048	0,845	0,686	0,528	0,656	0,582
P7	1,186	0,903	0,624	0,736	0,76	0,663
P8	1,376	0,738	0,534	0,641	0,599	0,44
P9	1,381	0,986	0,891	0,646	0,661	0,667
P10	1,147	1,002	0,77	0,719	0,719	0,676
P11	1,335	0,891	0,727	0,693	0,682	0,552
P12	1,127	0,91	0,678	0,585	0,57	0,65
P13	2,139	0,865	0,684	0,616	0,655	0,569

Tabella 4 - Misure EDT.

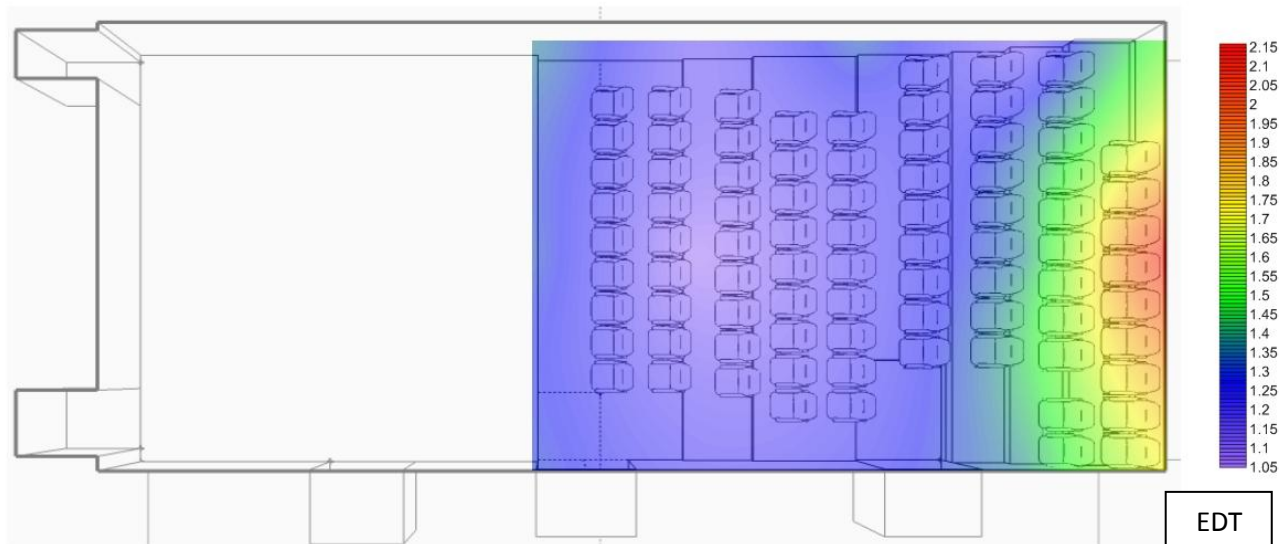
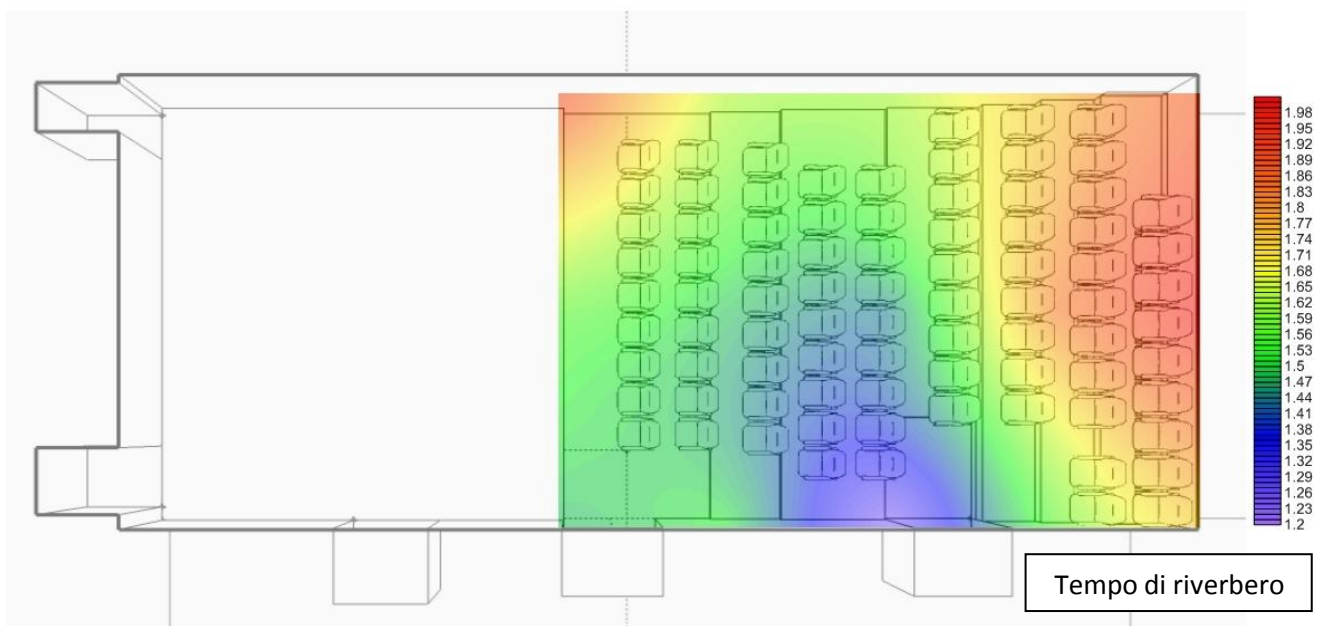


I risultati dell'analisi del tempo di riverbero, hanno mostrato che esso non necessita di alcuna correzione poiché, per quanto riguarda il parlato, l'ambiente rispetta i tempi ottimali suggeriti in letteratura (**figura 4**). Anche per quanto riguarda la musica il tempo di riverbero misurato è al di sotto dei parametri ottimali, non presentando quindi condizioni critiche che richiederebbero un intervento di correzione. Inoltre, il fatto che i valori misurati possano sembrare eccessivamente al di sotto dei valori ottimali, non compromette l'utilizzo acustico della sala a fini musicali, poiché la musica eseguita al suo interno sarà esclusivamente amplificata elettroacusticamente e quindi con l'aggiunta di riverberi digitali.

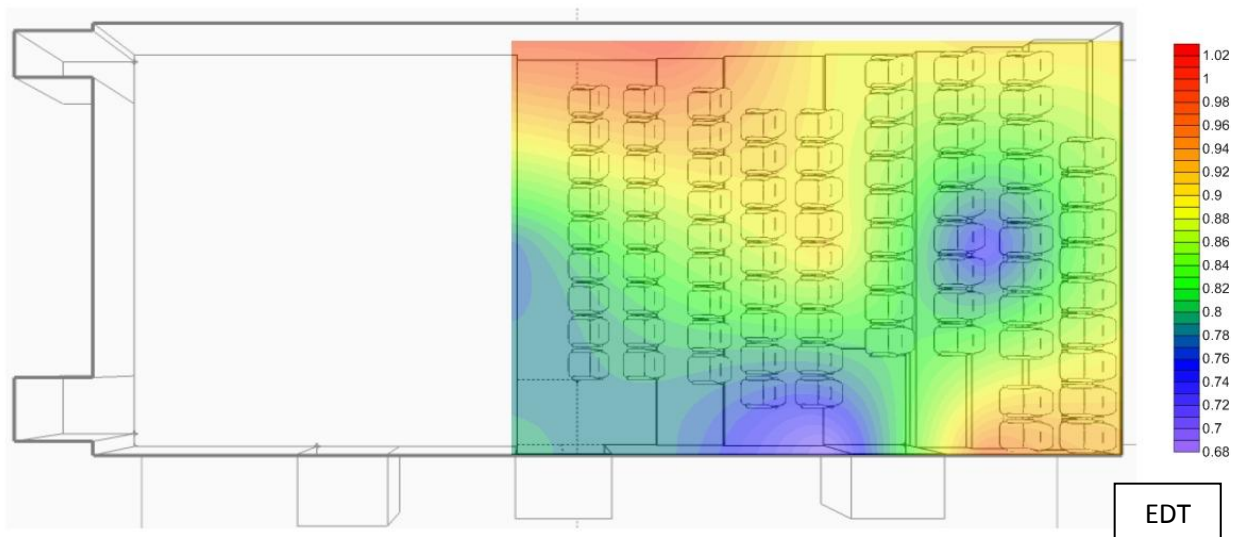
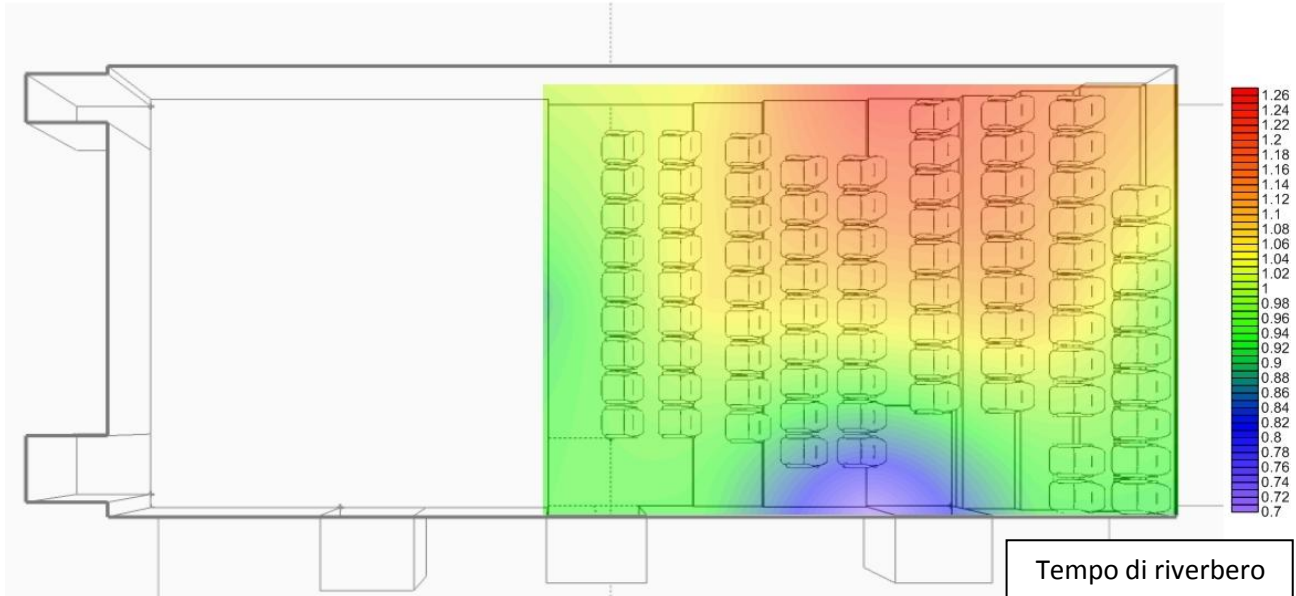
Per eseguire un'analisi più dettagliata nella **SCHEDA 2** si sono riportate le distribuzioni del tempo di riverbero e del EDT nella sala per ogni frequenza in modo da poterle confrontare. Le immagini sono state ottenute tramite una interpolazione dei dati nelle 13 postazioni di misura mediante il metodo di kriging puntuale.

SCHEDA 2 - Distribuzione del tempo di riverbero e dell' EDT

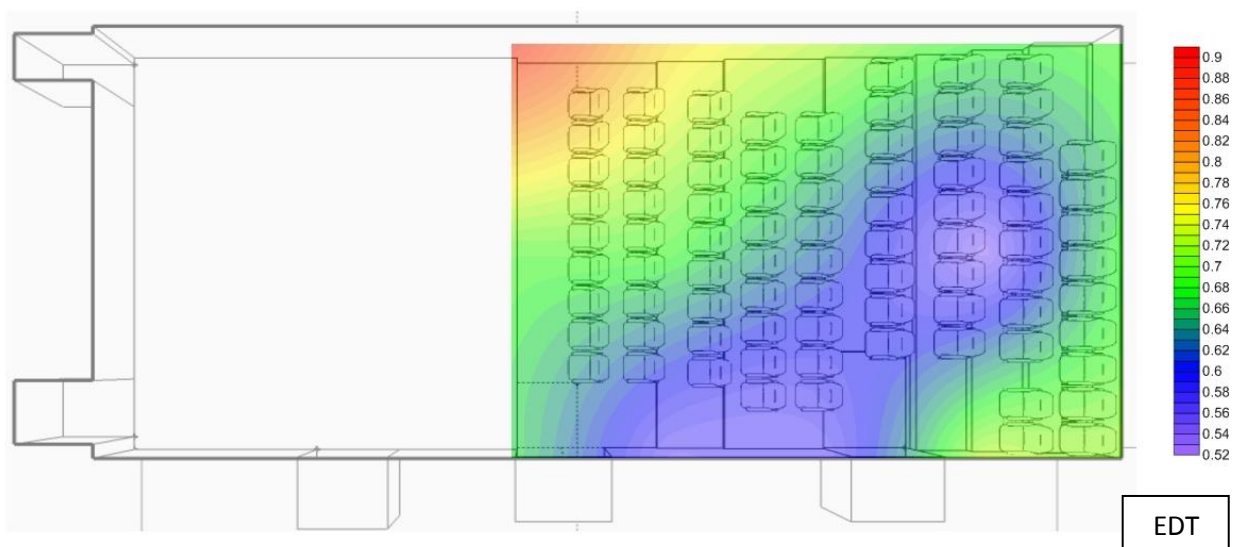
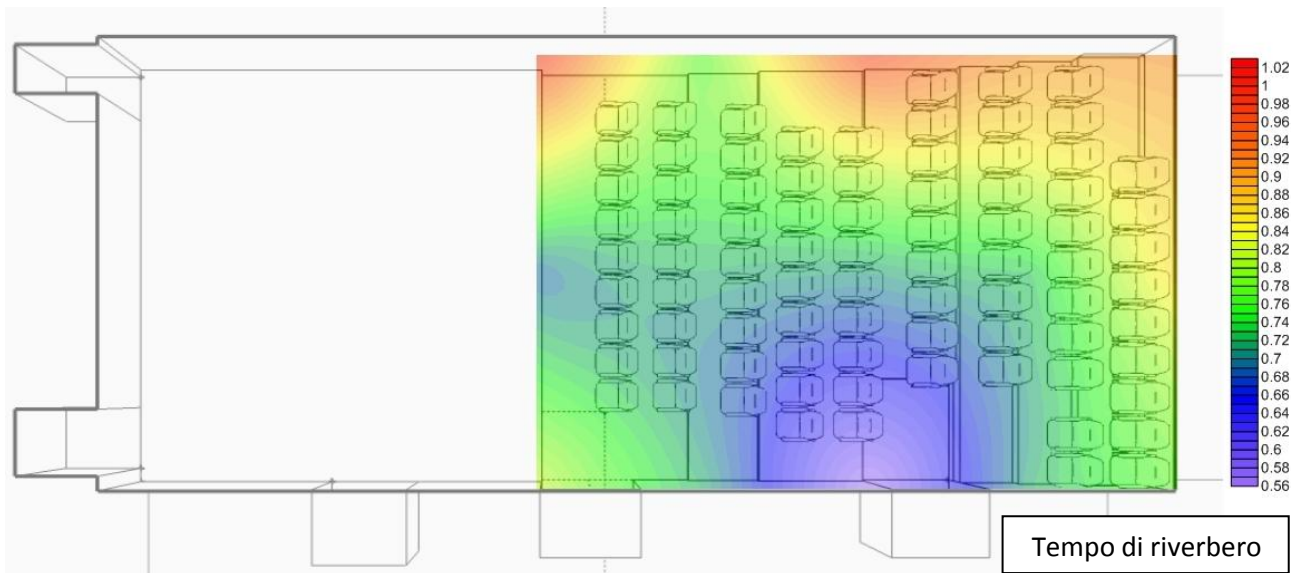
125 Hz



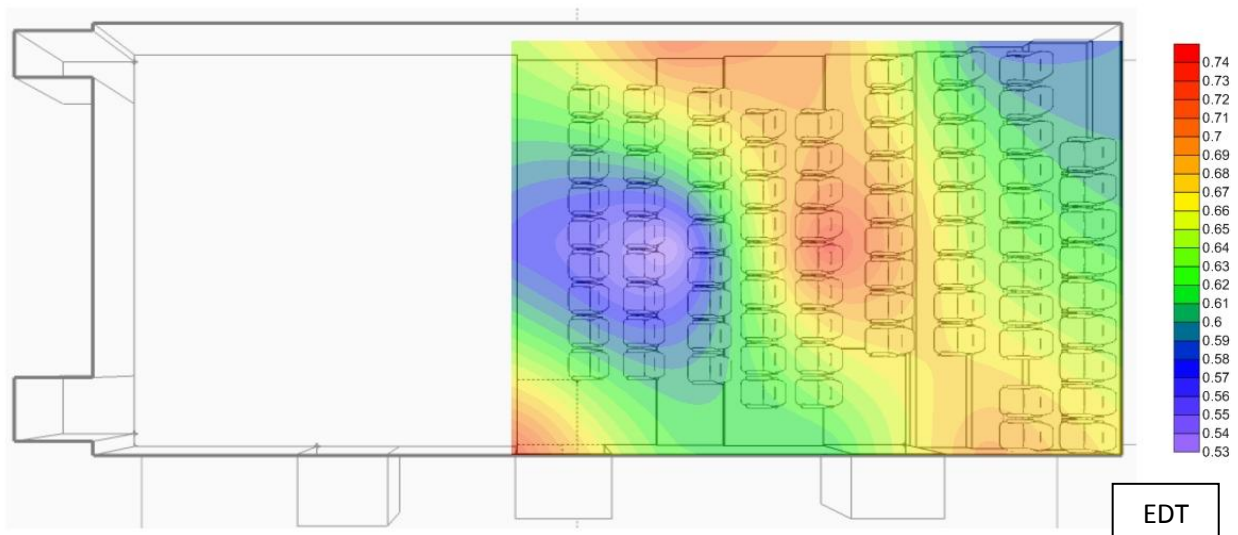
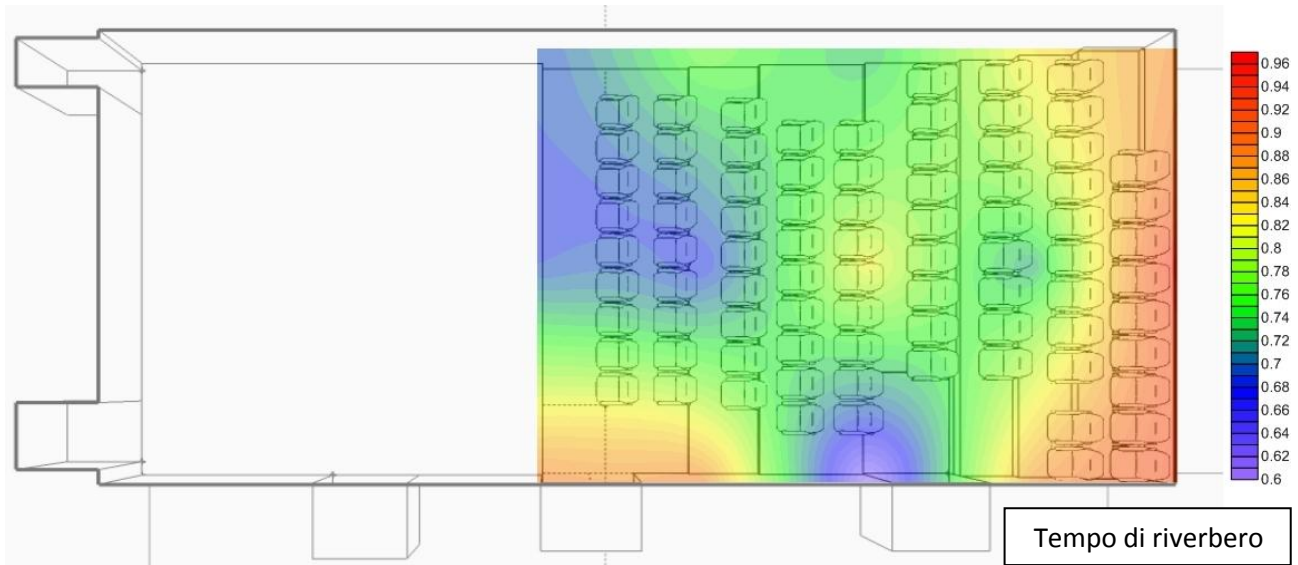
250 Hz



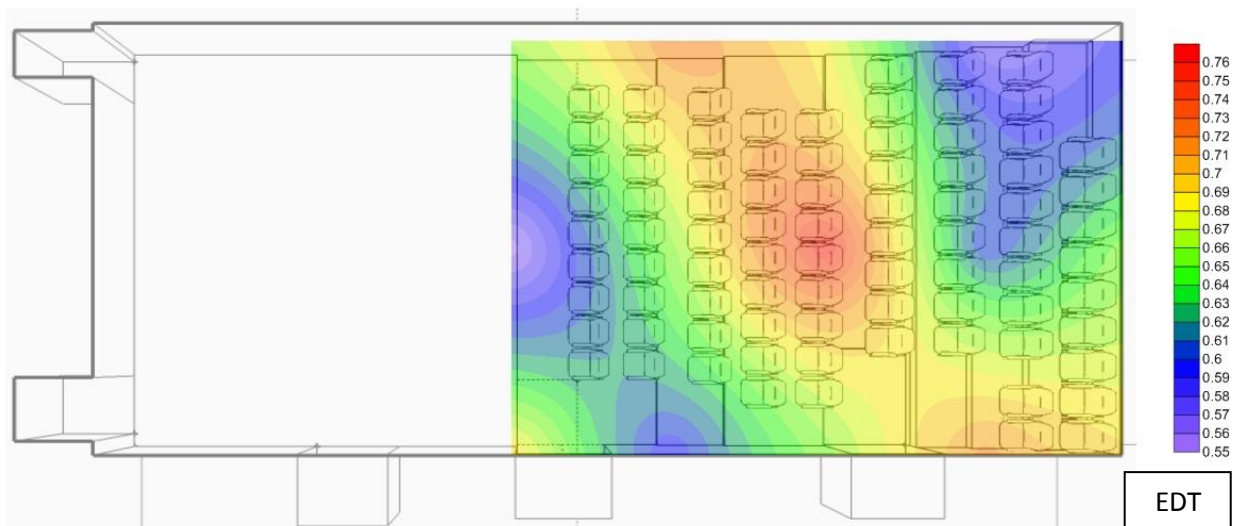
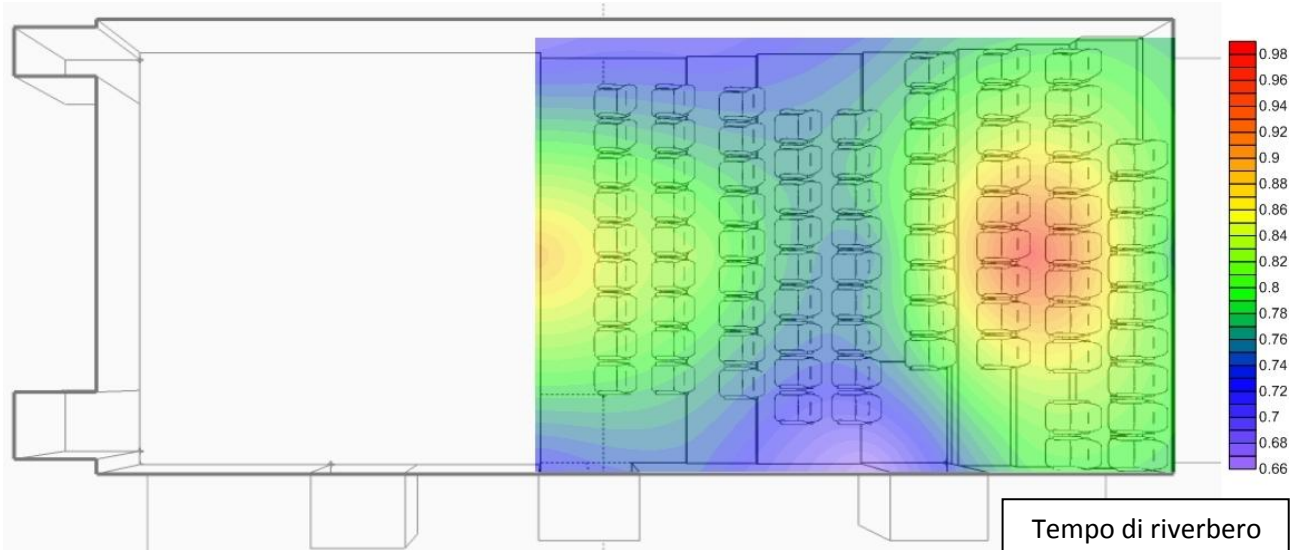
500 Hz



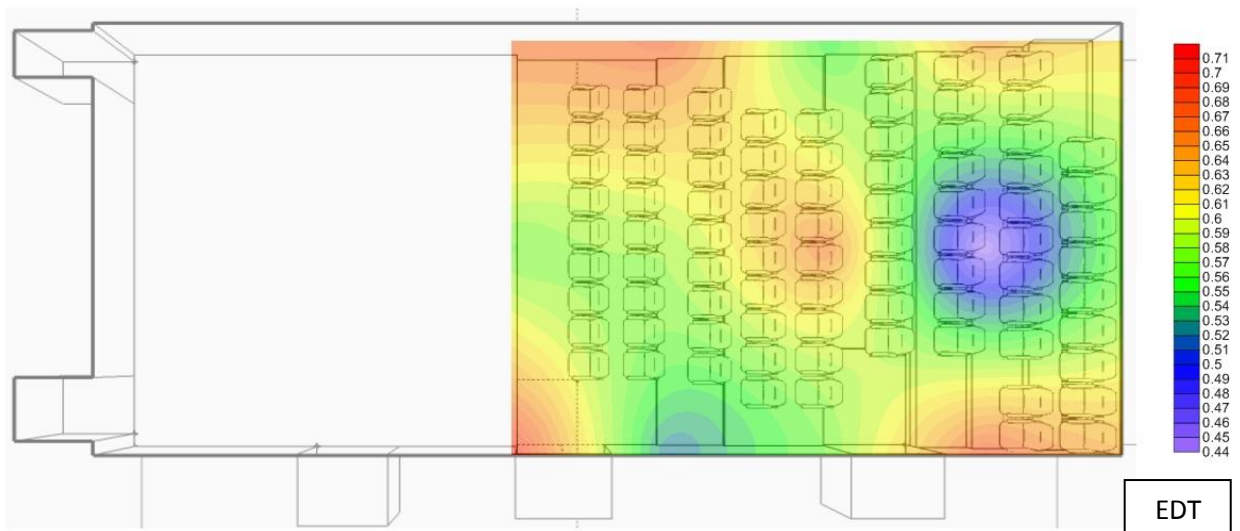
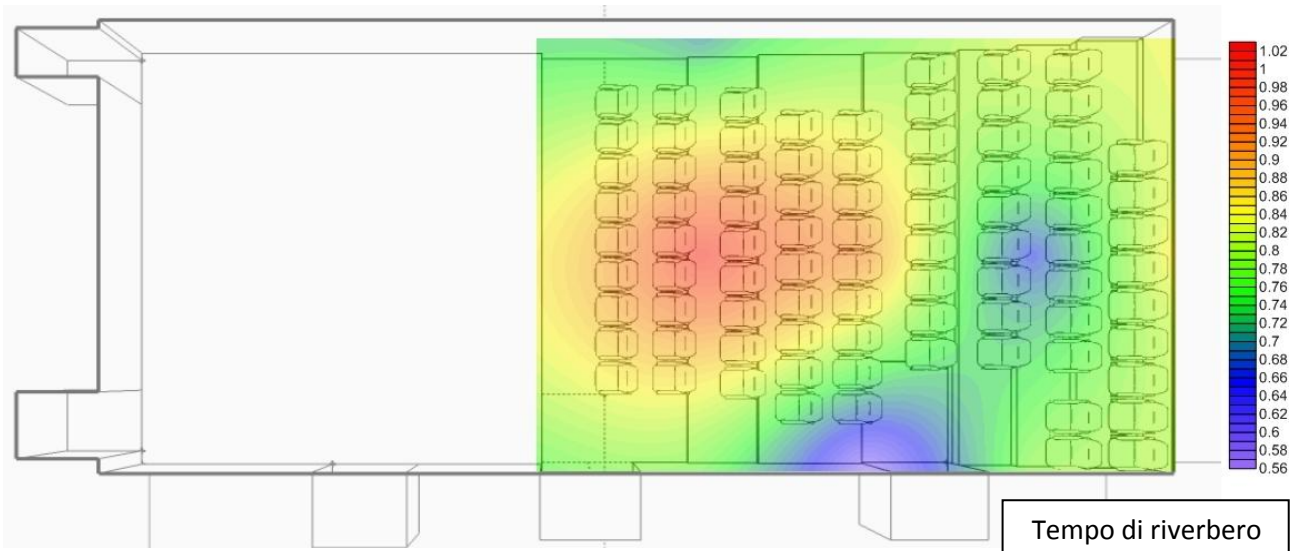
1000 Hz



2000 Hz



4000 Hz



Nella **tabella 5** sono riportati i valori calcolati per gli indici di qualità (par. 5.2.3 e 5.2.4). Nella prima colonna di ogni tabella si trova il valore mediato su tutte le frequenze, mentre nella tabella finale sono riportati i valori mediati su tutte le postazioni di misura. Inoltre sono evidenziati i colori relativi ai valori di riferimento secondo quanto riportato nel par. 5.2.5.

POS. 1	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,609	0,532	0,655	0,645	0,595	0,597	0,594	0,636
STIPA	0,612	0,490	0,685	0,761	0,521	0,580	0,676	0,560
C80	5,953	3,006	6,473	6,740	5,170	4,506	5,395	7,603
C50	2,376	-0,267	3,213	4,041	1,213	1,150	1,549	3,739
%Alcons (L)	5,997							

POS. 2	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,633	0,559	0,593	0,668	0,620	0,612	0,640	0,682
STIPA	0,636	0,509	0,622	0,797	0,541	0,599	0,755	0,546
C80	8,353	3,762	4,936	8,583	7,047	6,976	8,554	11,035
C50	5,236	-0,386	1,875	5,177	4,039	2,101	4,799	7,884
%Alcons (L)	6,083							

POS. 3	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,643	0,472	0,689	0,663	0,669	0,622	0,643	0,661
STIPA	0,652	0,432	0,705	0,795	0,610	0,616	0,747	0,537
C80	7,339	0,408	7,505	7,701	7,924	5,708	7,820	8,847
C50	4,630	-2,303	3,657	5,407	5,861	3,141	4,167	4,801
%Alcons (L)	6,124							

POS. 4	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,590	0,490	0,551	0,583	0,601	0,599	0,589	0,611
STIPA	0,605	0,452	0,573	0,731	0,530	0,604	0,681	0,522
C80	4,846	-0,180	2,444	4,594	5,358	5,923	5,179	7,006
C50	1,318	-2,484	-1,614	0,917	2,419	2,121	1,364	2,927
%Alcons (L)	6,291							

POS. 5	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,638	0,523	0,588	0,642	0,646	0,640	0,646	0,662
STIPA	0,645	0,458	0,627	0,760	0,571	0,647	0,742	0,549
C80	7,334	2,332	4,913	6,366	7,569	8,462	7,544	8,794
C50	4,126	-2,557	0,515	4,860	5,145	4,757	4,621	5,231
%Alcons (L)	5,656							

POS. 6	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,632	0,568	0,612	0,604	0,654	0,629	0,636	0,665
STIPA	0,644	0,543	0,659	0,751	0,577	0,632	0,735	0,549
C80	7,169	3,112	5,536	5,897	8,377	6,490	7,358	8,758
C50	3,749	0,771	3,339	2,162	5,065	3,705	3,731	5,054
%Alcons (L)	6,260							

POS. 7	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,588	0,489	0,545	0,602	0,584	0,578	0,602	0,633
STIPA	0,600	0,440	0,558	0,766	0,503	0,571	0,699	0,530
C80	5,214	0,653	3,123	5,843	5,175	5,114	6,214	7,798
C50	1,354	-3,467	-2,312	1,439	1,607	0,526	2,308	3,355
%Alcons (L)	6,042							

POS. 8	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,657	0,523	0,615	0,686	0,639	0,627	0,709	0,711
STIPA	0,670	0,448	0,652	0,833	0,573	0,625	0,805	0,605
C80	6,546	0,540	5,502	8,721	6,664	6,817	10,167	12,316
C50	3,871	-0,381	2,093	6,479	4,132	3,103	6,809	8,445
%Alcons (L)	6,650							

POS. 9	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,616	0,517	0,567	0,617	0,608	0,623	0,621	0,653
STIPA	0,620	0,478	0,618	0,724	0,531	0,625	0,711	0,543
C80	6,234	0,689	3,610	5,242	6,241	6,485	6,181	8,363
C50	2,782	-0,664	0,712	2,595	2,678	2,433	2,937	4,423
%Alcons (L)	6,135							

POS. 10	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,603	0,546	0,564	0,594	0,603	0,602	0,602	0,649
STIPA	0,615	0,476	0,618	0,760	0,521	0,599	0,694	0,552
C80	5,603	5,259	4,335	5,830	5,635	5,377	6,047	8,988
C50	1,562	1,834	-0,091	0,434	1,394	1,617	1,506	4,381
%Alcons (L)	6,041							

POS. 11	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,635	0,518	0,598	0,639	0,622	0,634	0,669	0,664
STIPA	0,646	0,507	0,633	0,777	0,545	0,632	0,764	0,556
C80	5,955	0,086	4,008	6,874	6,481	6,147	8,145	9,408
C50	3,219	-2,771	1,875	2,899	2,904	3,523	5,249	4,824
%Alcons (L)	6,066							

POS. 12	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,667	0,555	0,603	0,637	0,683	0,681	0,660	0,714
STIPA	0,684	0,505	0,645	0,798	0,628	0,681	0,741	0,630
C80	6,874	3,312	4,717	7,281	7,899	8,003	6,643	9,403
C50	3,736	0,590	2,231	3,277	4,305	4,673	2,793	5,455
%Alcons (L)	5,343							

POS. 13	Media	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,683	0,478	0,596	0,606	0,751	0,690	0,713	0,720
STIPA	0,696	0,413	0,598	0,769	0,705	0,682	0,775	0,646
C80	7,695	-0,968	2,940	5,907	7,299	6,597	7,987	9,296
C50	4,657	-3,939	0,478	1,448	4,581	2,514	5,283	6,040
%Alcons (L)	5,733							

GLOBALE	Totale	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
STI	0,630	0,521	0,598	0,630	0,637	0,626	0,640	0,666
STIPA	0,640	0,473	0,630	0,771	0,566	0,623	0,733	0,563
C80	6,547	1,693	4,619	6,583	6,680	6,354	7,172	9,047
C50	3,278	-1,233	1,229	3,164	3,488	2,720	3,624	5,120
%Alcons (L)	6,032							

Tabella 5 - Valori degli indici di qualità.

9- Flutter echo

Il flutter echo è un fenomeno caratterizzato da una rapida successione di 'echi' generati tra due pareti parallele. Quello che il nostro orecchio percepisce è una sequenza di impulsi la cui frequenza dipende dalla durata del flutter. Principalmente è innescato da sorgenti impulsive: quando si battono le mani all'aperto, semplicemente si ascolta il singolo, secco impulso che da tale azione deriva. Se invece si battono mentre ci si trova ad alcuni metri di distanza da un muro o da una costruzione, si ascolterà una singola ripetizione di questo battito, vale a dire il suo eco. Si parla propriamente di eco quando le singole riflessioni dell'onda sonora sono percepite distintamente dall'ascoltatore e il ritardo con cui si percepisce la ripetizione non dev'essere inferiore ad 1/10 di secondo. Se ci si sposta di nuovo e ci si posiziona tra pareti più vicine e parallele, quel singolo impulso viene riflesso avanti e indietro rapidamente tra le pareti e pertanto si ascolterà quello che si chiama flutter echo.

Configurations that Generate Flutter Echo Reverberation

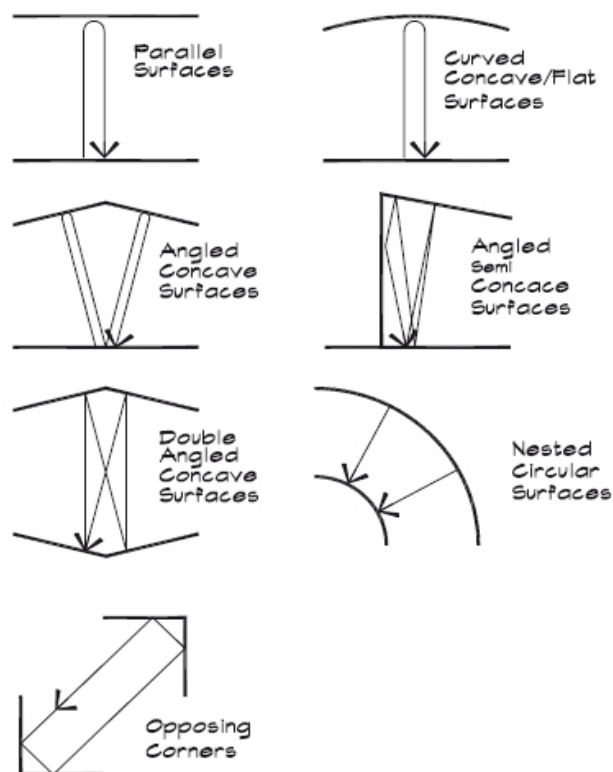


Figura 9 - Rappresentazione del flutter echo.

Durante la sessione di misurazione abbiamo notato come questo fenomeno si presenti in corrispondenza delle volte a crociera, nelle zone caratterizzate da un maggior tempo di riverbero. Posizionati in quel punto e sollecitando l'ambiente con un battito di mani, si potrà apprezzare l'effetto. Per arginare il fenomeno anche se non è troppo invasivo, visto che non è innescato da suoni provenienti dal palco, si consiglia di non usare materiali assorbenti che potrebbero alterare il buon tempo di riverbero, ma di utilizzare dei diffusori posizionati all'interno delle volte.

10- Conclusioni

I valori misurati del T60 confermano un ottimo controllo del tempo di riverbero in tutta la sala e rientrano nei parametri ottimali per un uso della stessa come sala teatro.

Per gli altri usi quali concerti possiamo ritenere tali valori comunque idonei in quanto è possibile, attraverso l'uso di DSP, aggiungere del riverbero digitale, mantenendo così il controllo del tempo di riverbero.

Dalle immagini nella **SCHEDA 2** è possibile notare, tramite un confronto dell'andamento del tempo di riverbero con l'EDT, un significativo scostamento dei valori nei punti in cui si ha una diffusione non omogenea del campo sonoro; quindi è consigliabile porre in prossimità di questi punti dei diffusori quadratici o shroeder.

Dalla **tabella 5**, relativa alle misure dello STI, si evidenzia che nei vari punti di ripresa i valori rientrano nella definizione di "intelligibilità buona" e "intelligibilità discreta" secondo Steeneken e Houtgast, confermando quindi la percezione soggettiva dei professionisti che lavorano all'interno del teatro.

Sempre dalla **tabella 5** si notano dei valori del C80 molto alti, al disopra o prossimi ai 3 dB consigliati per il parlato e le sale conferenza; si consiglia quindi, per l'uso della sala per concerti, l'uso dei riverberi digitali anche in questo caso.

Con la creazione dello strumento statistico, tarato dalle misure fatte in loco, è ora possibile prevedere il comportamento del T60 modificando nel foglio elettronico i valori relativi alle dimensioni e ai materiali aggiunti o sottratti all'ambiente.

L'analisi acustica effettuata ci ha permesso di valutare come il cambiamento del tempo di riverbero influisca in modo coerente su tutti gli altri indici di qualità. Ogni sua modifica, agendo di conseguenza su tutti questi indici, porterebbe inevitabilmente ad un cambiamento della qualità acustica della sala. Proprio per scongiurare un possibile peggioramento dovuto a qualunque tipo di modifica architettonica si fornisce quindi al tecnico progettista acustico un utilissimo strumento di previsione della qualità acustica della sala, tramite la semplice modifica di parametri relativi alle dimensioni e ai materiali aggiunti o sottratti all'ambiente in un foglio elettronico.



ALLEGATO 1 - Certificato di Taratura



DELTA OHM S.r.l.
Via Marconi, 5
35030 Caselle di Selvazzano (PD)
Tel. 0039-0498977150
Fax 0039-049635596
e-mail: deltaohm@tin.it
Web Site: www.deltaohm.com

Laboratorio Misure di Elettroacustica

Centro di Taratura LAT N° 124
Calibration Centre

Laboratorio Accreditato
di Taratura



LAT N° 124

Pagina 1 di 5
Page 1 of 5

CERTIFICATO DI TARATURA LAT 124 12001478
Certificate of Calibration

- data di emissione 2012-06-19
date of issue
- cliente Tecnostrumenti Italia S.r.l. -
customer Via Udine, 9/11 - 00161 Roma (RM)
- destinatario Arch. Fabio Di Lauro -
receiver Via I. Guidi, 71 - 00147 Roma (RM)
- richiesta 562/2012
application
- in data 2012-06-01
date
Si riferisce a
Referring to
- oggetto Fonometro
item
- costruttore Delta Ohm S.r.l.
manufacturer
- modello HD2110
model
- matricola 04021730064
serial number
- data delle misure 2012/6/19
date of measurements
- registro di laboratorio 25056
laboratory reference

Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento LAT N° 124 rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura, (SNT). ACCREDIA attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI). Questo certificato non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Centro.

This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation LAT N° 124 granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System. ACCREDIA attests the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Centre.

I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.

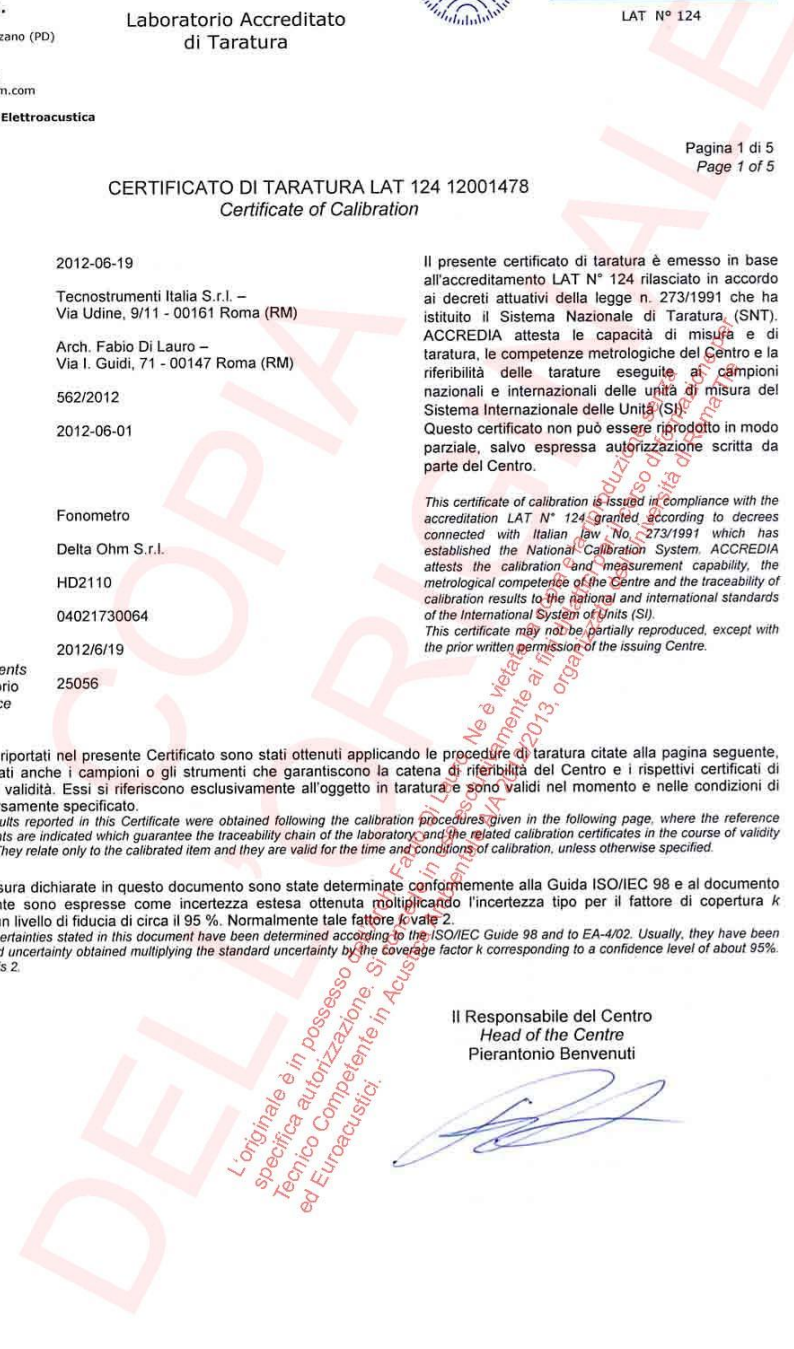
The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla Guida ISO/IEC 98 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura k corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore k vale 2.

The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor k is 2.

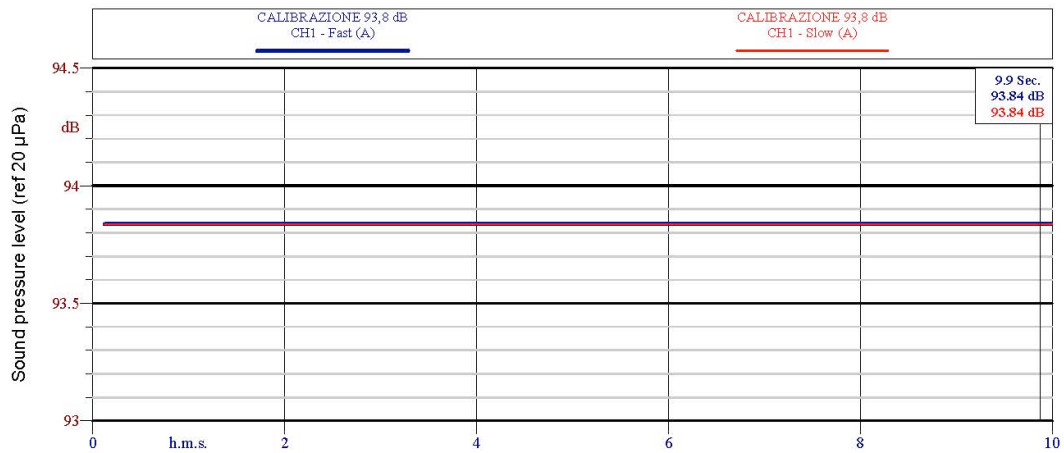
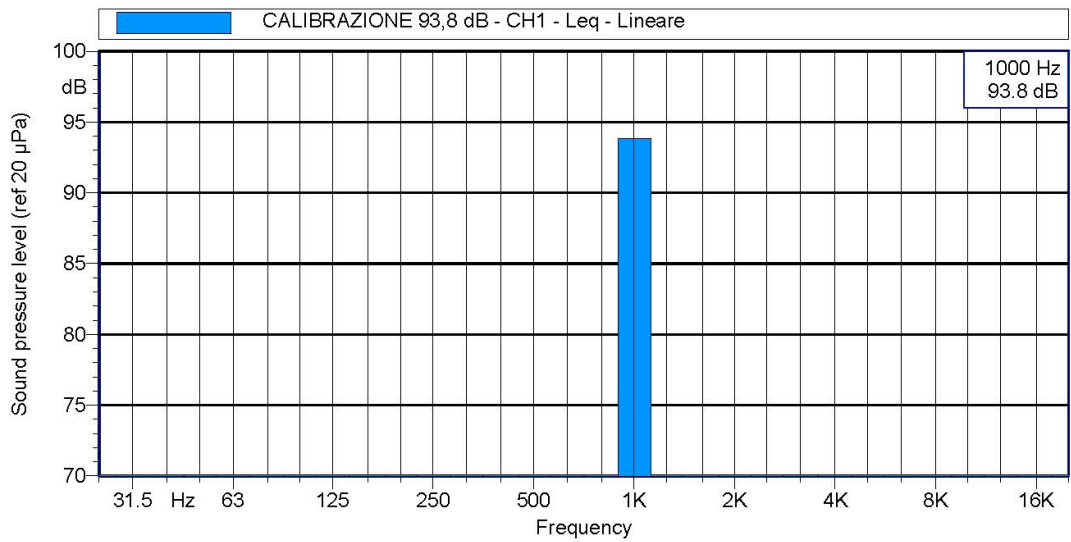
Il Responsabile del Centro
Head of the Centre
Pierantonio Benvenuti

[Handwritten signature]



L'originale è in possesso di
specifico autorizzazione. Si
Technico Competente in Acustica
ed Euroacustici.

ALLEGATO 2 - Profili di calibrazione



Indice delle Figure

Figura 1 - Modello tridimensionale della sala teatro Tordinona.

Figura 2 - Rappresentazione geometrica del campo sonoro in un ambiente chiuso.

Figura 3 - Andamento della pressione sonora con la distanza.

Figura 4 - Valori ottimali dei tempi di riverberazione.

Figura 5 - Confronto tra i metodi di misura degli indici STI, RASTI e STIPA.

Figura 6 - Tempi di riverbero teorici secondo la teoria statistica.

Figura 7 - Schema della catena di misura e della griglia di postazioni utilizzate.

Figura 8 - Tempi di riverbero misurati (mediati su una griglia di 13 postazioni per ogni frequenza).

Figura 9 - Rappresentazione del flutter echo.

Indice delle Tabelle

*Tabella 1 - Tabella di Steeneken e Houtgast **

Tabella 2

Tabella 3 - Misure T60.

Tabella 4 - Misure EDT.

Tabella 5 - Valori degli indici di qualità.



FINE DEL DOCUMENTO