



**COMUNE DI TERNI**  
**DIREZIONE LAVORI PUBBLICI - MANUTENZIONI**

**NUOVO TEATRO COMUNALE "GIUSEPPE VERDI"**

**CONCORSO DI PROGETTAZIONE**  
**a procedura aperta in due gradi in modalità informatica**  
**CUP - F42D11001320006 CIG 8240510BF7 NUTS - ITI22**



<b>ELABORATO</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA</b>
<b>CA</b>	



**CNA**  
**PPC**  
CONSIGLIO NAZIONALE  
DEGLI ARCHITETTI  
PIANIFICATORI  
PAESAGGISTI  
E CONSERVATORI



ORDINE DEGLI ARCHITETTI  
PIANIFICATORI, PAESAGGISTI E CONSERVATORI  
DELLA PROVINCIA DI TERNI

# CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA ARCHITETTONICA

## Teatro Verdi di Terni



4 gennaio 2011

Il tecnico in acustica ambientale  
Ing. Daniele Ponteggia



studio tecnico smartdB dell'Ing. Daniele Ponteggia e del Per. Ind. Matteo Rubini  
viale Tito Oro Nobili, 4 – 05100 Terni (TR) – Tel. +39 0744 409693 – www.smartdb.it – info@smartdb.it – P.IVA CF 01429730557

## Indice

1 Introduzione.....	2
2 Metodologia.....	2
3 Risultati misurazioni.....	6
4 Conclusioni.....	11
5 Documentazione fotografica.....	12
6 Bibliografia.....	14

## 1 Introduzione

Il teatro Verdi di Terni è l'unico vero teatro rimasto nella città. Tutte le altre sale idonee a rappresentazioni teatrali, spettacoli musicali e balletti sono state chiuse o riconvertite a cinema multi-sala. La recente apertura del nuovo teatro Secci nell'area recuperata Ex-Siri non risolve la questione della mancanza di spazi, in quanto la tipologia e la capienza del Secci (circa 300 posti) non sono comparabili con quelle del Teatro Verdi (capienza 1066 posti, attualmente ridotti per motivi di sicurezza).

La storia del Teatro ricalca quella della città industriale. Il teatro progettato dall'architetto Luigi Poletti, inizialmente denominato "Nuovo Teatro", venne inaugurato nel 1849. Subì diverse ristrutturazioni ed ampliamenti nel 1892-93, nel 1908 venne ristrutturato ed ampliato ed il nome venne cambiato in "Teatro Verdi". Nel 1930 venne restaurato. Nel 1943 fu distrutto dai bombardamenti che ridussero la città ad un cumulo di macerie. Della struttura originaria rimane solo la facciata, mentre l'interno venne ricostruito nel 1949 e dato in concessione dal Comune a Fernando Luciola per 50 anni.

E' attualmente in corso una parziale ristrutturazione degli ambienti più degradati del teatro, quali i servizi igienici ed i camerini, ma è auspicabile che si proceda ad una radicale ristrutturazione dell'intero teatro.

Lo scopo del presente lavoro è quello di caratterizzare l'acustica del teatro, per fornire una memoria dell'acustica del teatro nello stato attuale. Il fine non è tanto quello di voler preservare l'acustica attuale del teatro, considerata da molti operatori del settore non idonea, quanto quello di catturare l'attenzione del progettista di una eventuale ristrutturazione della sala sul problema dell'acustica.

## 2 Metodologia

Allo scopo di caratterizzare l'acustica della sala si è proceduto alla misurazione della risposta all'impulso ponendo un diffusore di tipo omnidirezionale sul palco e campionando la risposta in un adeguato numero di punti nelle zone occupate dal pubblico (figura 1).

Le misurazioni sono state effettuate con la tecnica dello sweep sinusoidale logaritmico, in accordo con la normativa UNI EN ISO 3382-1, utilizzando il sistema di misurazione Audiomatica CLIO fw-01 con software CLIO 10, microfono di misurazione Earthworks M30 e sorgente omnidirezionale Outline Globe Source Radiator con subwoofer.

Le misurazioni sono state effettuate a teatro vuoto e con il sipario chiuso.

A partire dalle risposte all'impulso sono stati calcolati alcuni parametri acustici che permettono di descrivere l'acustica della sala.

In particolare in questa caratterizzazione si terrà conto dei seguenti parametri:

- Tempo di riverberazione  $RT_{30}$  ;
- Tempo di primo decadimento  $EDT$  ;
- Tempo baricentrico  $t_s$  ;
- Indice di definizione  $D_{50}$  ;

- Indice di chiarezza  $C_{80}$  ;
- Indice di trasmissione del parlato  $STI$  .

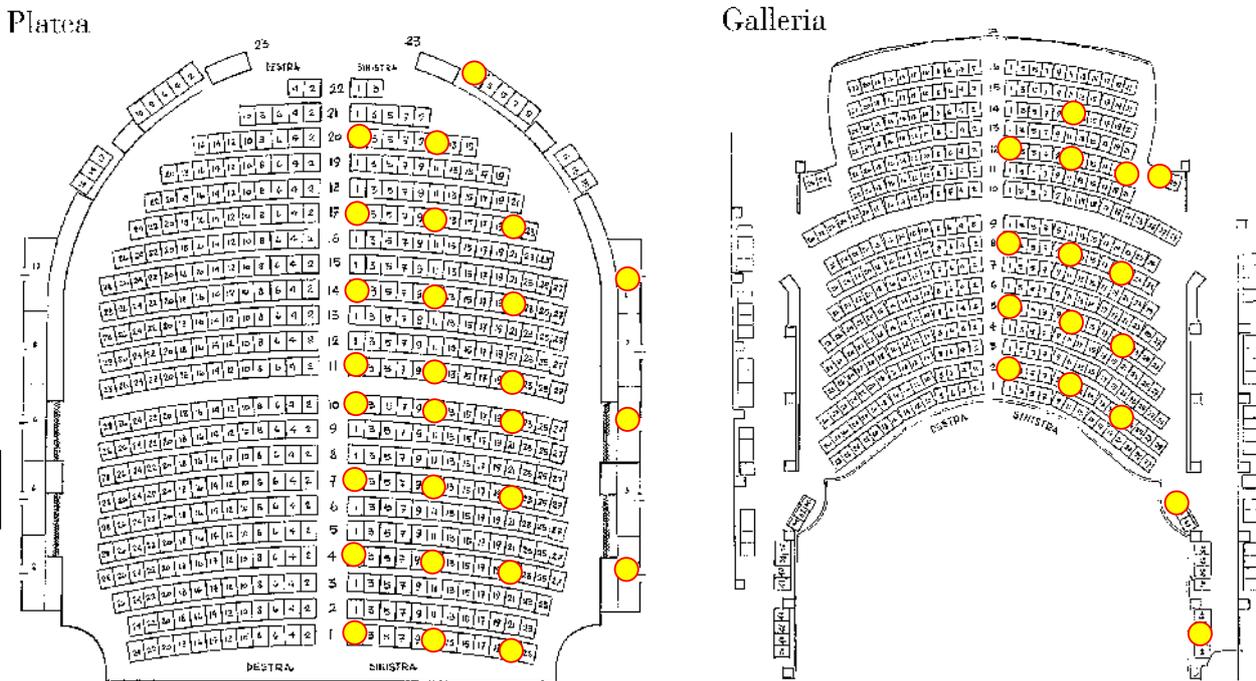


Figura 1: Punti di campionamento

Il **tempo di riverberazione**  $T_{60}$  è il tempo necessario affinché il suono, all'interno di un ambiente confinato, diminuisca di 60 dB rispetto al valore iniziale. Questo significa una perdita di potenza sonora o d'intensità sonora di un milione di volte rispetto al momento iniziale. Più semplicemente il riverbero descrive l'intervallo di tempo necessario per l'estinzione del suono nel suo passaggio da un livello massimo d'intensità al silenzio relativo (curva di decadimento). Questo parametro è considerato tra i più importanti descrittori acustici in quanto definisce il grado di "risonanza" ambientale, ovvero la capacità di una sala nel mantenere, entro un determinato tempo, l'energia iniziale che la sollecita. Un appropriato tempo di riverbero, ovvero una risonanza ambientale controllata, consente un'ideale fusione del suono nonché un'adeguata percezione della reale volumetria della sala. Una riverberazione eccessivamente breve, al contrario, produrrà un'acustica "asciutta" ed innaturale nonché la sensazione di trovarsi all'interno di un volume più piccolo di quello reale.

Il **tempo di riverberazione**  $RT_{30}$  è relativo al decadimento dell'energia nei primi 30 dB ed è calcolato attraverso una retta di regressione lineare. Viene utilizzato al posto del tempo di riverberazione  $T_{60}$  calcolato sui 60 dB di decadimento dato che a causa del rumore di fondo molto spesso non si dispone del sufficiente intervallo dinamico per permetterne la misurazione. Il valore ottimale del tempo di riverberazione è funzione del volume della sala e della destinazione d'uso, come riportato nella figura 2.

La musica acustica in genere (non amplificata) richiede quindi tempi piuttosto elevati che possono anche superare i due secondi. Per contro, nel caso del teatro di prosa, cinema, conferenze od eventi che necessitano di amplificazione sonora, il tempo di riverbero deve risultare più contenuto allo scopo di mantenere elevata l'intelligibilità della parola e la chiarezza del messaggio musicale. Per questa ragione tali valori sono estremamente variabili ancorché ricompresi nell'ambito di tolleranze ragionevoli. In tabella 1 sono riportati i valori medi ritenuti ottimali per una sala del volume di circa 5000 metri cubi (volumetria stimata per il Teatro Verdi di Terni).

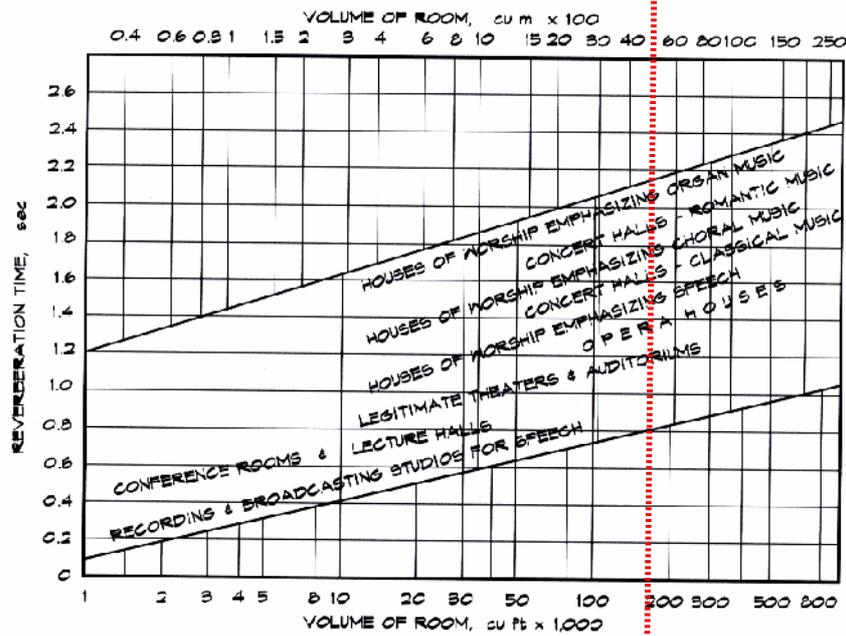


Figura 2: Valori consigliati tempo di riverberazione in funzione del volume sala (volume teatro Verdi circa 5000  $\text{m}^3$ ) e della destinazione d'uso

DESTINAZIONE D'USO	$T_{60}$ Minimo (s)	$T_{60}$ Massimo (s)
Musica Sinfonica	1,6	1,8
Musica Da Camera/Operistica/Lirica	1,4	1,6
Teatro Di Prosa/Conferenza	1,2	1,4
Musica Amplificata/Proiezioni	1,0	1,2

Tabella 1: Valori ottimali tempo di riverberazione

Il tempo di primo decadimento  $EDT$  (Early Decay Time) è la misura della rapidità della caduta energetica calcolata nei primi 10 dB dell'impulso e viene espresso in secondi come il tempo di riverberazione. Dato che la musica è costituita da una serie di segnali legati tra loro dalla riverberazione, della quale l'ascoltatore percepisce principalmente la porzione iniziale del decadimento, il sostegno energetico di  $EDT$  è ritenuto un parametro particolarmente significativo dal punto di vista musicale. Questo descrittore risulta strettamente correlato alla posizione misurata in quanto prende in considerazione solo le prime riflessioni ignorando quelle più tardive che sono legate alla geometria della sala e che determinano la riverberazione complessiva. Per un teatro od una sala da concerto ben progettata e correttamente diffondente, ovvero dove il decadimento del livello sonoro è lineare,  $EDT$  ed  $RT_{30}$  sono di solito correlati a dimostrazione della corretta "tenuta" energetica della sala. Qualora l'ambiente presenti irregolarità diffusive (come volumi accoppiati, accumuli energetici, riflessioni ritardate, etc.) i valori di  $EDT$  ed  $RT_{30}$  possono assumere valori molto diversi tra loro. Sono ritenuti accettabili valori di  $EDT$  superiori od eguali ad  $RT_{30}$  mentre valori inferiori (soprattutto oltre il 15-20%) ad  $RT_{30}$  sono considerati insoddisfacenti.

Il **tempo baricentrico**  $t_s$  è definito come il rapporto tra l'energia dell'intero decadimento pesata rispetto al tempo, e l'energia complessiva<sup>1</sup>:

$$t_s = \frac{\int_0^{\infty} t p^2(t)}{\int_0^{\infty} p^2(t)} \quad [s]$$

questo parametro è ben correlato alla chiarezza musicale nelle sale da concerto e all'intelligibilità percentuale delle sillabe nel parlato. I valori ottimali per la musica sono compresi tra  $50 \leq t_s \leq 250 [ms]$  mentre per il parlato  $0 \leq t_s \leq 50 [ms]$ .

L'**indice di definizione**  $D_{50}$  è definito come il rapporto tra l'energia che giunge nei primi 50 ms e l'energia di tutto il segnale.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t)}{\int_0^{\infty} p^2(t)}$$

i valori ottimali proposti in letteratura per l'indice sono  $D_{50} < 0,5$  per la musica e  $D_{50} > 0,5$  per il parlato.

L'**indice di chiarezza**  $C_{80}$  è definito come:

$$C_{80} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{80ms} p^2(t)}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t)} \right) \quad [dB]$$

ed esprime il rapporto tra l'energia che giunge all'orecchio nei primi 80 ms (suono diretto e prime riflessioni nell'intervallo pari al tempo di integrazione dell'apparato uditivo per i segnali musicali) e quella che giunge in seguito (riflessioni successive). I valori ottimali riportati in letteratura sono  $C_{80} \geq 3 [dB]$  per il parlato e  $-4 \leq C_{80} \leq 2 [dB]$  per la musica.

L'**indice di trasmissione del parlato**  $STI$  quantifica l'effetto combinato dell'interferenza del rumore di fondo e della riverberazione sull'intelligibilità del parlato. L'indice viene calcolato sulla base della capacità della sala di trasmettere la modulazione di ampiezza tipicamente dovuta al parlato. Valori per lo  $STI$  compresi tra 0,6 e 0,75 sono considerati ottimi per il parlato, per la musica l'indice può scendere anche al valore di 0,5.

Oltre ai parametri acustici sono state effettuate misurazioni fonometriche del livello di rumorosità residuo, allo scopo di caratterizzare ulteriormente il comfort acustico del teatro. Il livello di rumorosità residua è essenzialmente dovuto al rumore degli impianti tecnologici ed al rumore trasmesso dall'esterno verso l'interno del teatro. A tale scopo è stato acquisito il livello di pressione equivalente  $LA_{eq}$  e lo spettro a terzi di ottava del rumore residuo.

Sulla base dello spettro e del livello di  $LA_{eq}$  è possibile indicare l'indice **NC Noise Criteria** secondo la relazione semplificata:

$$NC \approx 1,25(L_A - 13)$$

<sup>1</sup> Il tempo di riferimento  $t=0$  nel calcolo dell'integrale, sia per questo indice che per quelli descritti di seguito, è l'istante di arrivo del suono diretto.

I valori consigliati dell'indice  $NC$  per le varie destinazioni d'uso della sala sono:

DESTINAZIONE D'USO	NC
Sala Concerti	Da 5 a 15
Teatro	Da 20 a 30
Musica Amplificata/Cinema	Da 30 a 35

### 3 Risultati misurazioni

Per ciascun punto di misurazione è stata acquisita la risposta all'impulso della sala, da questa è possibile analizzare il decadimento dell'energia acustica e calcolare i parametri acustici descritti in precedenza.

Nella figura 3 è riportata una delle risposte all'impulso misurate ed il relativo decadimento dell'energia acustica.

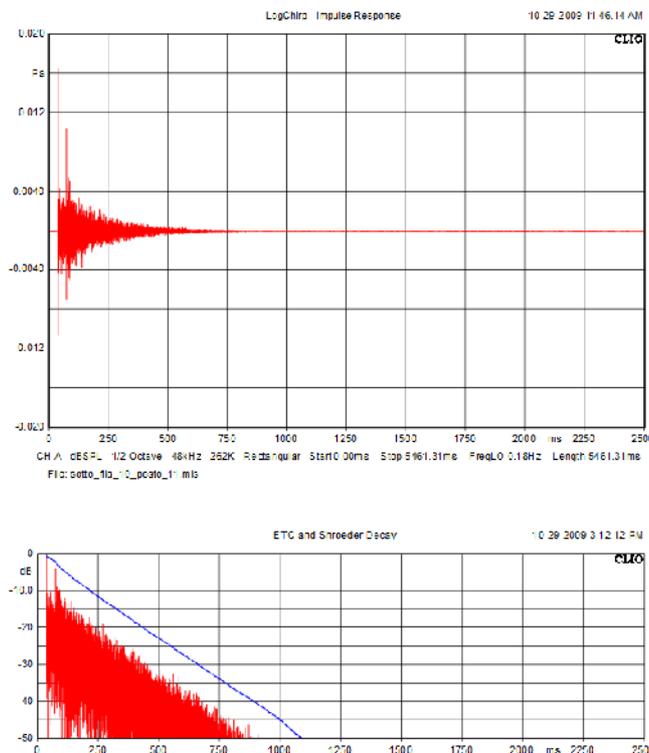


Figura 3: Risposta all'impulso e decadimento

Per ciascun punto di misurazione sono a disposizione i parametri acustici in funzione della frequenza, per brevità si riporteranno qui i risultati delle misurazioni come parametri acustici in funzione della frequenza come media e deviazione standard. Per alcuni parametri verrà anche riportata la distribuzione spaziale per una singola frequenza (banda a 1/3 di ottava).

Il tempo di riverberazione  $RT_{30}$  in funzione della frequenza è riportato nel grafico in figura 4. La curva rossa continua è il valore medio calcolato su tutti i punti misurati, mentre le curve tratteggiate indicano la deviazione standard. Se si analizza il tempo di riverberazione alle medie frequenze si ottiene il valore indicativo di 1,36 s. La riverberazione quindi cade nell'intervallo considerato in letteratura ottimale per l'uso come teatro di prosa.

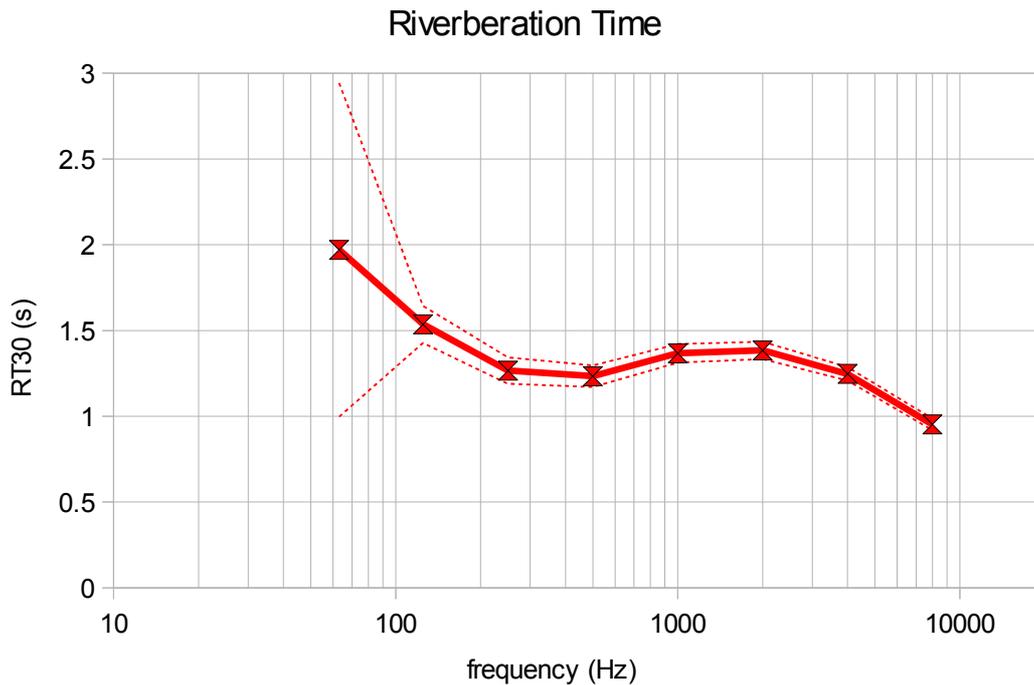


Figura 4: Tempo di riverberazione medio  $RT_{30}$  in funzione della frequenza

Il tempo di primo decadimento  $EDT$  (figura 5), seppur con una maggiore deviazione, risulta in accordo con il tempo di riverberazione ad indicare che in media la diffusione dell'energia sonora è buona.

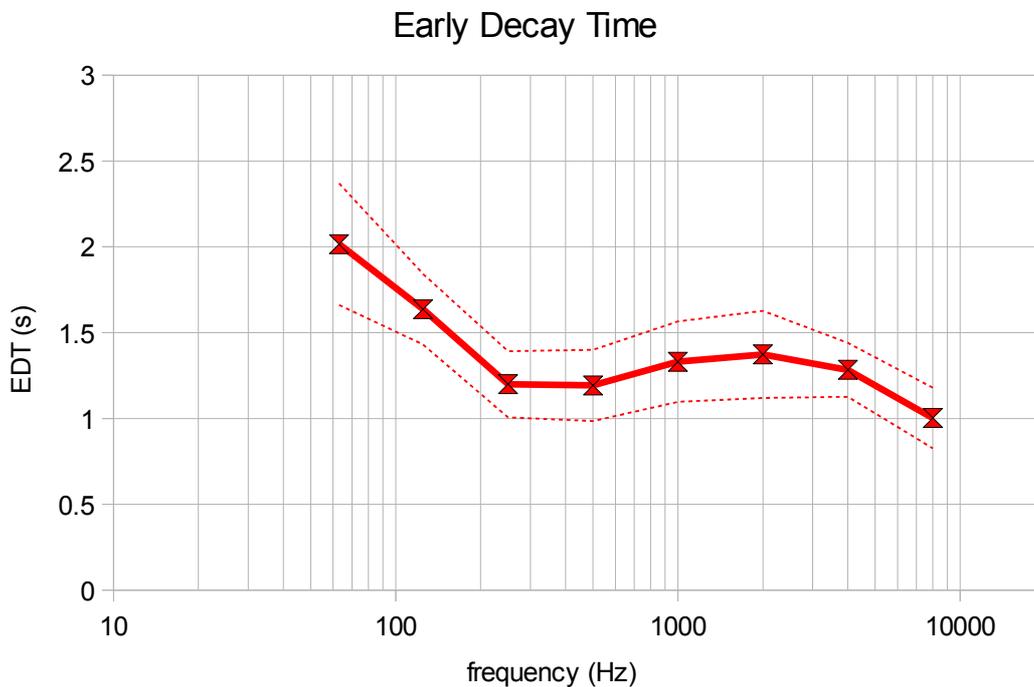


Figura 5: Tempo di primo decadimento medio  $EDT$  in funzione della frequenza

La distribuzione spaziale della riverberazione è piuttosto costante, come si evince dalla bassa varianza dei grafici precedenti e non viene riportata.

Il tempo baricentrico  $t_s$  medio (figura 6) si attesta su valori nell'intorno degli 80 ms, quindi leggermente elevato per il parlato e nell'intervallo più basso per la musica. La distribuzione spaziale del parametro (figura 7) è secondo le attese, con il  $t_s$  direttamente proporzionale alla distanza dalla sorgente.

### Central Time

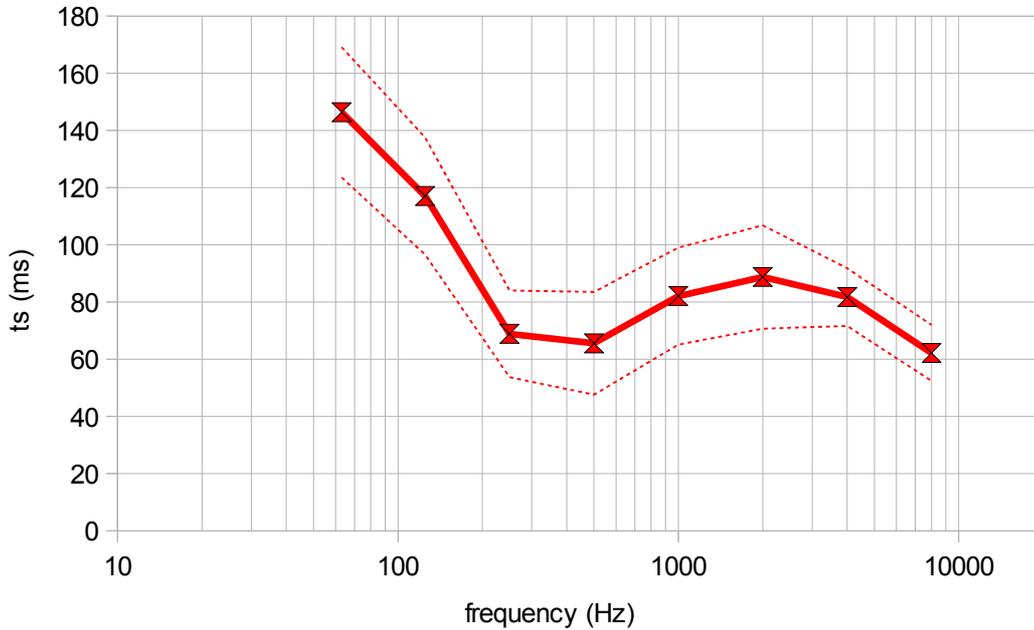
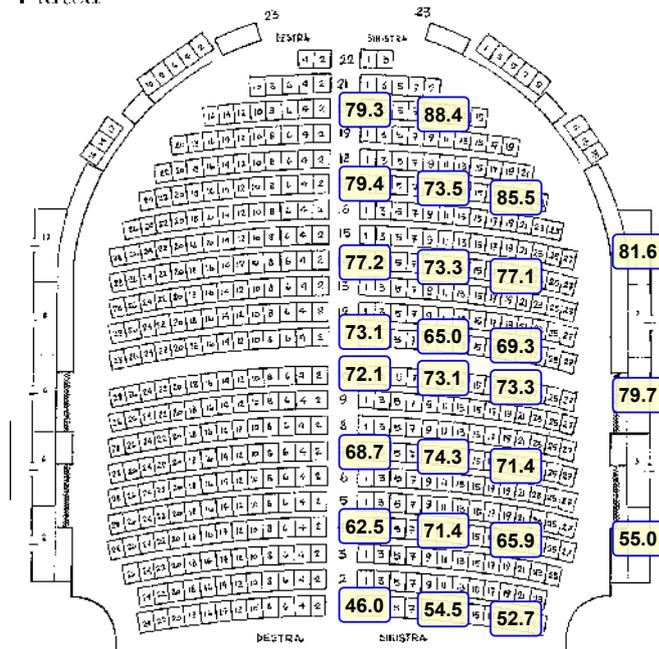


Figura 6: Tempo baricentrico medio  $t_s$  in funzione della frequenza

Platea



Galleria

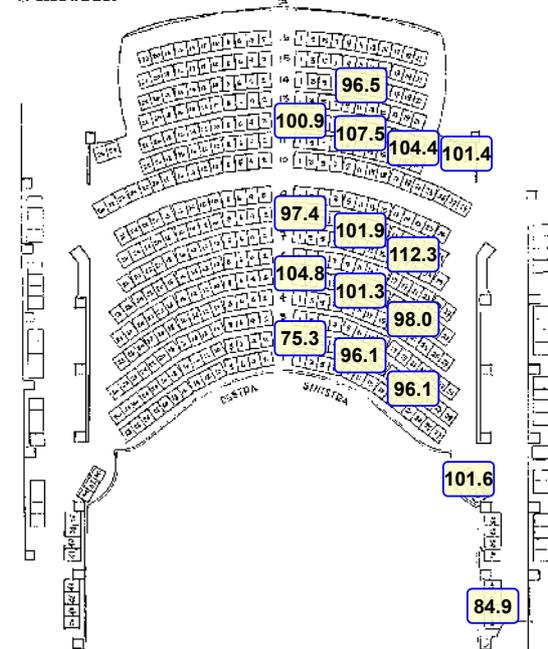
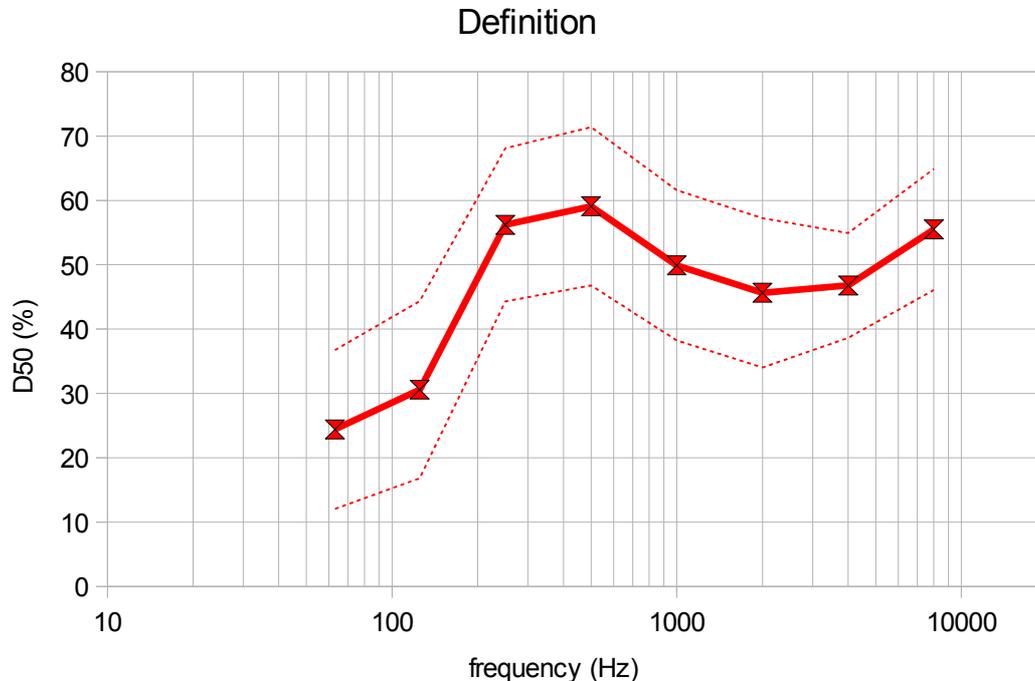


Figura 7: Tempo baricentrico  $t_s$  per banda di ottava 1 kHz

L'indice di definizione  $D_{50}$  medio (figura 8) si attesta su valori nell'intorno del 50%, con una varianza abbastanza elevata, segno di una distribuzione spaziale non contenuta. Il valore medio comunque è compatibile con la riverberazione della sala, e secondo letteratura è al limite tra il valore consigliato per il parlato e per la musica, con una lieve predilezione per il parlato. La distribuzione spaziale non viene riportata in quanto quella dell'indice di chiarezza è molto simile.



*Figura 8: Definizione media  $D_{50}$  in funzione della frequenza*

L'indice di chiarezza  $C_{80}$  medio (figura 8) oscilla in frequenza all'incirca tra i valori 4 e 2 dB, quindi secondo letteratura è al limite dei valori considerati ottimi per il parlato. Si noti comunque che l'andamento in frequenza del parametro non è quello atteso. Tipicamente infatti, a causa del minore assorbimento acustico alle basse frequenze e dell'assorbimento dell'aria alle alte frequenze, il grafico dell'indice di chiarezza dovrebbe avere un andamento monotono crescente. Nel caso in esame invece si riscontra un notevole avvallamento in corrispondenza delle bande di frequenza a 250 e 500 Hz. Un simile andamento è visibile, anche se con minore evidenza in tutti gli altri parametri.

In figura 9 è riportata la mappatura dell'indice di chiarezza  $C_{80}$  per la banda di ottava ad 1 kHz, si noti come nella platea i valori siano nell'intorno e maggiori di 3 dB, mentre in galleria tendono a scendere verso il livello di 0 dB. Questo mostra come l'acustica della parte bassa del teatro sia differente da quella alta, in particolare in galleria la trasmissione del parlato è compromessa dalla mancanza di riflessioni vicine.

Si noti anche che in platea, in corrispondenza con l'inizio della galleria, si riscontrano delle oscillazioni dei parametri, a testimonianza che la presenza della galleria perturba la propagazione.

### Clarity

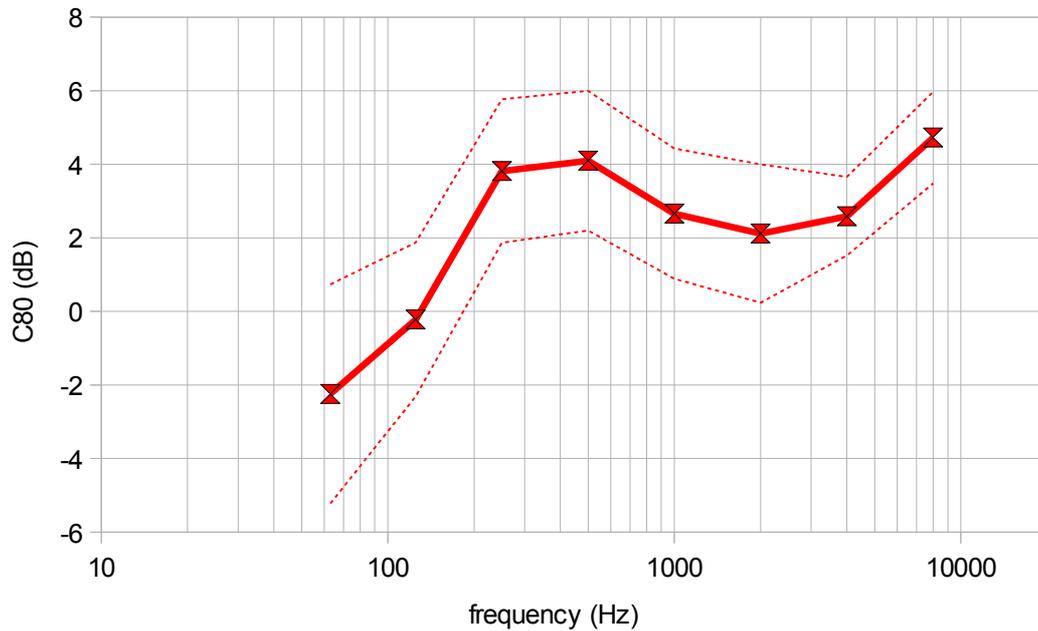
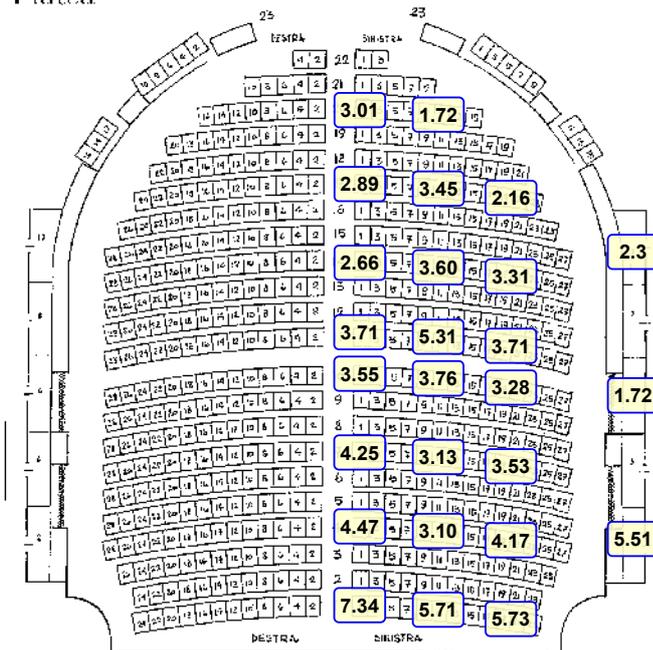


Figura 9: Chiarezza media  $C_{80}$  in funzione della frequenza

### Platea



### Galleria

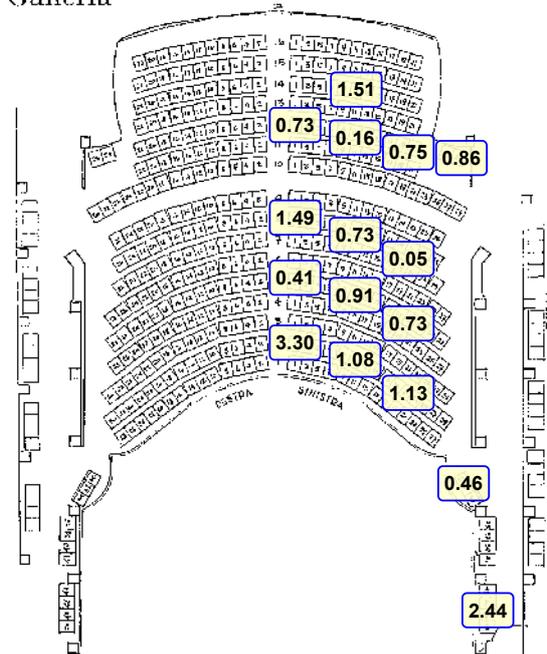
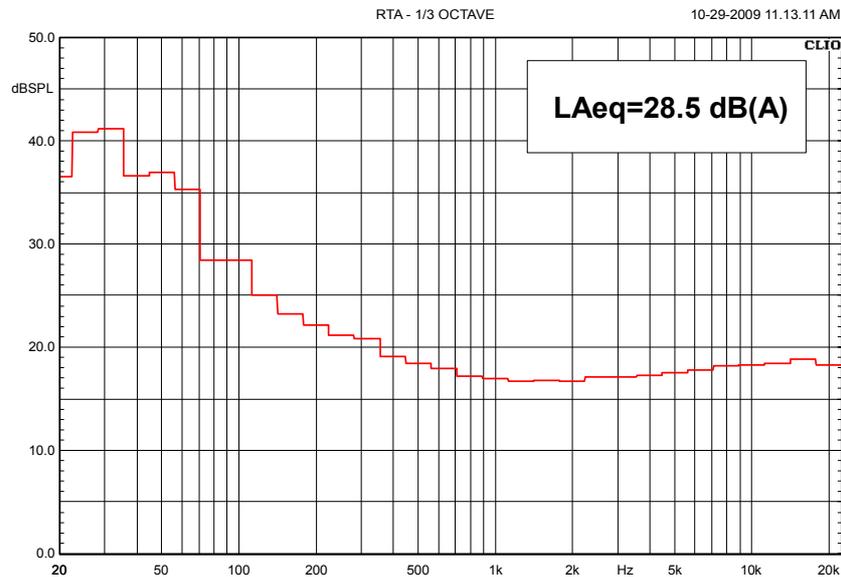


Figura 10: Chiarezza  $C_{80}$  per banda di ottava 1 kHz

L'indice di trasmissione del parlato  $STI$  medio nella sala è pari a  $STI=0.52$  con una deviazione standard pari a 0.08, quindi rispetto ai valori consigliati per la trasmissione del parlato ci si trova al di sotto dei valori ottimi.

Si riporta infine il livello di rumorosità residua misurato ed il relativo spettro, si noti che le misurazioni sono

state effettuate senza alcun apparato tecnologico in funzione, e quindi sono solo ad attestare il livello di rumorosità residua dovuta all'isolamento esterno-interno del teatro ed ai livelli di rumorosità esterni all'edificio.



**Figura 11: Rilevamento fonometrico rumore residuo**

Sulla base delle misurazioni del residuo è possibile calcolare il noise criteria *NC* che risulta essere pari a circa 20, quindi in linea con le prestazioni richieste per un teatro di prosa, seppur nella condizioni di impianti spenti.

## 4 Conclusioni

Il tempo di riverberazione mostra che il Teatro Verdi è adatto alla trasmissione del parlato e quindi all'uso come teatro di prosa o cinema. Benché la misurazione sia avvenuta a sipario chiuso, si ritiene comunque che il teatro sia troppo “asciutto” per l'utilizzo musicale (musica non amplificata) a meno di non prevedere interventi come l'utilizzo di una camera acustica per poter incrementare la riverberazione di almeno 0.3-0.4 secondi. Ciò è confermato anche dagli altri parametri acustici.

L'andamento in funzione della frequenza dei parametri è caratterizzato da una discontinuità nella banda 250 e 500 Hz. Durante il sopralluogo e l'esecuzione delle misurazioni è stato riscontrato l'utilizzo piuttosto diffuso di pannelli forati, presumibilmente con intercapedine riempita di materiale fibroso. Probabilmente l'uso di questi materiali è il responsabile dell'assorbimento in gamma 250 e 500 Hz, anche se è possibile che questo sia dovuto anche alle sedute del pubblico non occupate.

L'analisi della distribuzione dei parametri acustici ha anche evidenziato due difetti piuttosto evidenti:

- mancanza di riflessioni a supporto della galleria, con conseguente diminuzione dell'intelligibilità e squilibrio con l'acustica della platea,
- forte influenza della galleria sulla parte alta della platea.

Questi fattori andranno tenuti in debita considerazione in una eventuale progettazione della ristrutturazione del teatro che metta in risalto gli aspetti funzionali, tra cui l'acustica, di un luogo di produzione artistica così importante.

## 5 Documentazione fotografica



*Foto 1: Platea vista frontale*



*Foto 2: Platea vista posteriore*



Foto 3: Pannelli forati su parapetti



Foto 4: Platea sotto galleria



Foto 5: Soffitto

## 6 Bibliografia

- [1] Renato Spagnolo, "Manuale di Acustica", UTET 2001
- [2] Marshall Long, "Architectural Acoustics", Academic Press, 2006
- [3] Acoustic Design Ahnert, "EASE 4.1 Users Manual"
- [4] Trevor Cox, Peter D'Antonio, "Acoustic Absorbers and Diffusers", Spon Press, 2004
- [5] M. Facondini, "Il Suono della Scena", Il Ponte Vecchio Editore, Cesena (1999)