

CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DEL TEATRO REGIO DI TORINO CON METODO BEAMFORMING

Michele Darò (1), Andrea Cerniglia (2), Alessandro Galoppini (3)

- 1) Studio Mi.Da, Pinerolo
- 2) Euroacoustic, Avigliana
- 3) Teatro Regio, Torino

1. Introduzione

Lo studio dei fenomeni di propagazione sonora all'interno delle sale da concerto è uno degli aspetti più interessanti e più delicati nel campo della scienza del suono, in quanto i fenomeni fisici ed i fenomeni percettivi del suono stesso si mescolano in un'alchimia non facilmente parametrizzabile, contribuendo a definire la caratteristica musicale tipica di ogni singola sala.

Sono stati messi a punto nel tempo diversi sistemi di qualificazione del suono atti a definire le caratteristiche delle sale da concerto, analizzando diversi parametri, con finalità di ricerca o per correggerne caratteristiche sonore non congrue per l'utilizzo, o per ottimizzare la regolazione ed il posizionamento di sistemi passivi o attivi di rinforzo del segnale sonoro. Caratteristica tipica e comune dei vari metodi di misura impiegati per questi fini è la relativa complessità, e la necessità di eseguire numerose acquisizioni di segnali acustici di prova in molti punti. Tradotto in tempo, questo vuol dire avere a disposizione per le misure un teatro per giorni, senza possibilità di interferire con altre attività. Tale circostanza, unita al fatto che ogni modificazione delle scene o di altre parti degli allestimenti invalida parte del lavoro, rende arduo lo studio dell'acustica delle sale.

Nel presente studio è stata testata l'applicabilità per l'analisi acustica delle sale da concerto di un Beamformer, capace di mappare rapidamente il contributo acustico da proveniente da ogni direzione, per un punto di ascolto prescelto. Le misurazioni di validazione e sperimentazione della metodologia sono state eseguite in una sala da concerto di grandi dimensioni, al fine di valutare la potenzialità del sistema nella definizione dei fenomeni di propagazione sonora tempo-dipendenti con misurazioni spot della durata di poche decine di secondi. Il metodo risulta infatti particolarmente promettente per la completezza delle informazioni acustiche rilevabili con tempistiche di misurazione minime: infatti per ogni posizione di misura, in sala, sul palco, o in buca d'orchestra, è possibile attraverso pochi secondi di acquisizione di un segnale di prova

generato da una o più sorgenti (impulsi, rumore rosa, sweep), ottenere precise informazioni parametriche e “visive” sulla risposta acustica della sala, nel range di frequenze tipicamente più critiche.

Le misurazioni sperimentali sono state eseguite nella sala del Teatro Regio di Torino (Fig. 1), progettato da Carlo Mollino, con un allestimento di scena per un'opera lirica di limitata influenza sull'acustica di palco e di sala.



Figura 1 – Teatro Regio di Torino, visto da fondo sala

2. Metodo di misura Beamforming

Il metodo beamforming prevede l'impiego di un array microfonico, nel nostro caso disposto sulla superficie di una sfera (ricevitore), i cui segnali vengono gestiti da un computer portatile dotato di uno specifico software di calcolo. Il software permette di eseguire un filtraggio spaziale che consente la realizzazione di un *microfono virtuale* direttivo e “orientabile”, in modo analitico, nelle diverse direzioni dello spazio: la matrice dei livelli sonori così ottenuti, elaborabile alle varie frequenze di interesse, e relativa alle diverse direzioni considerate, viene quindi interpolata per ottenere una mappa acustica, la quale viene infine sovrapposta all'immagine statica ripresa da una telecamera, per referenziare in modo immediato la mappa all'ambiente in cui è stata effettuata la prova. I segnali captati dai singoli microfoni dell'array vengono registrati digitalmente su hard disk, consentendo in fase di post elaborazione di riascoltare i segnali, oltre che di eseguire calcoli ed elaborare mappe, a frequenze precise, o in bande di frequenza a scelta.

Il sistema impiegato per le misure sperimentali compiute al Teatro Regio di Torino è estremamente compatto e di rapido utilizzo: è dotato di 31 microfoni disposti sulla superficie di una sfera metallica di circa 25 centimetri di diametro, sulla quale sono installate 12 telecamere orientate per vedere tutto lo spazio intorno al ricevitore. In sede di elaborazione dei segnali acquisiti, risulta visualizzabile sullo schermo del computer utilizzato per il calcolo, la sovrapposizione delle mappe acustiche ottenute per mezzo dell'algoritmo beamforming con le immagini catturate dalle 12 diverse telecamere. La scala cromatica delle mappe è regolabile a piacimento, in modo tale da permettere una pratica e veloce individuazione cromatica dei fenomeni indagati, ed una successiva rielaborazione o stampa.

3. Misure eseguite presso il Teatro Regio di Torino

Viste le numerose applicazioni sperimentali del metodo Beamforming in vari settori, applicazioni che hanno portato ad eccellenti risultati, ed in particolare lo studio della propagazione sonora negli ambienti di lavoro e lo studio dei difetti di posa di elementi architettonici e di barriere per mitigazione acustica ambientale, si sono volute sondare le potenzialità del metodo per l'analisi acustica di grandi ambienti confinati, dove la “visualizzazione” dei fenomeni sonori indagati può evidenziarne caratteristiche utili altrimenti difficilmente individuabili e parametrizzabili, quali focalizzazioni, riflessioni speculari, carenze o enfattizzazioni timbriche determinate da alcune superfici, sorgenti estranee, efficienza di sistemi elettroacustici di rinforzo sonoro, ecc. ...

Le misure effettuate presso il Teatro Regio di Torino sono state condotte esclusivamente a scopo sperimentale, in due punti disposti sull'asse longitudinale del Teatro, definiti P1 e P3 ed in un punto laterale P2 (Fig. 2).

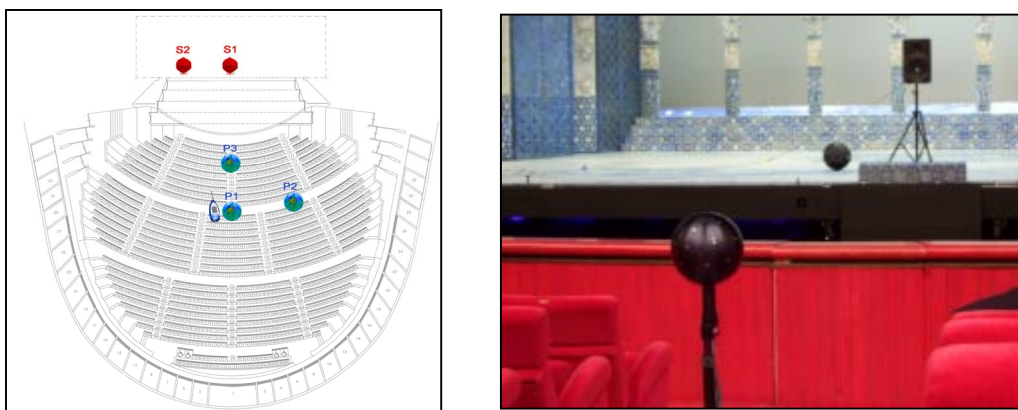


Figura 2 – Layout punti di misura, posizione sorgenti sonore sul palcoscenico

Al momento delle misurazioni il palco era allestito per una rappresentazione di un'opera lirica, con orchestra sistemata in buca e senza lenti acustiche diffondenti sul palco. L'analisi dell'acustica con metodologia Beamforming è stata concentrata, per limiti fisici del trasduttore impiegato e per praticità, nelle frequenze che vanno dalla banda d'ottava di 250 Hz alla banda d'ottava di 5000 Hz..

Vista la finalità sperimentale del lavoro ed il limitato tempo a disposizione per effettuare le misure, due ore prima dello spettacolo, si è proceduto nel posizionare la sorgente sonora in un unico punto, centrale sul palco. Al fine di meglio simulare con una sorgente sonora le caratteristiche di emissione vocale di un cantante, è stato utilizzato un altoparlante tradizionale con un asse principale di direzionalità, diretto verso il centro sala, in luogo della sorgente dodecaedrica “omnidirezionale”, posizionato con la tromba degli acuti ubicata ad altezza di 165 cm. Le caratteristiche di emissione dell'altoparlante attivo a due vie impiegato per le misurazioni sono state misurate con metodo Beamforming in camera anecoica, ad un metro dallo stesso in posizione frontale: questo ha permesso di definire la carenza di linearità della sorgente, della quale, vista la natura di sperimentazione del metodo e non di indagine sulla sala delle prove eseguite, non si è tenuto comunque conto in questa sede.

Si è provveduto ad eseguire le misurazioni nei tre punti generando due differenti segnali: un rumore rosa, acquisito per 20 secondi, con la sala in condizioni di saturazione, e dei segnali sweep logaritmici, da 250Hz a 6000 Hz, anch'essi di durata pari a 20 secondi.

Al fine di verificare la correlazione fra i risultati delle misure eseguite con segnale sweep ed alcuni fenomeni acustici tempo dipendenti, si è provveduto a caratterizzare la sala come tempi di decadimento nel punto P1, con il metodo rapido del segnale interrotto, sia utilizzando la sorgente direttiva poi utilizzata per generare i segnali di prova, sia utilizzando una sorgente dodecaedrica ubicata sul lato sinistro del palco, guardando dalla sala.

4. Fenomeni evidenziati

La grande quantità di informazioni raccolte, seppure in un tempo così così breve come quello impiegato per la misura specifica, non consente certamente una trattazione esaustiva dei fenomeni evidenziati nelle poche pagine a disposizione. Inoltre, poiché alcune acquisizioni sono state effettuate con tecnica sweep, la presentazione dei risultati così ottenuti non può che prevedere la visualizzazione di una mappa dinamica, che difficilmente risulta rappresentabile su carta, a meno di non stampare decine o centinaia di immagini in sequenza. Tuttavia, al fine di mostrare le potenzialità del metodo, vengono qui presentate alcune immagini ritenute significative allo scopo specifico.

La figura 3 mostra le mappe acustiche relative ai terzi di ottava di 315 Hz e di 4000 Hz., ottenute con sorgente di rumore rosa in S1 e ricevitore in P2. Dalla immagine di sinistra (315Hz) si evince il corretto funzionamento dello specchio acustico del boccascena, mentre l'immagine di destra mostra come alla frequenza di 4000 Hz sia preponderante l'emissione diretta dalla sorgente sonora. La dinamica rappresentata è pari a 3 dB in entrambe le immagini, mentre la scala è ottimizzata per ognuna di essa.

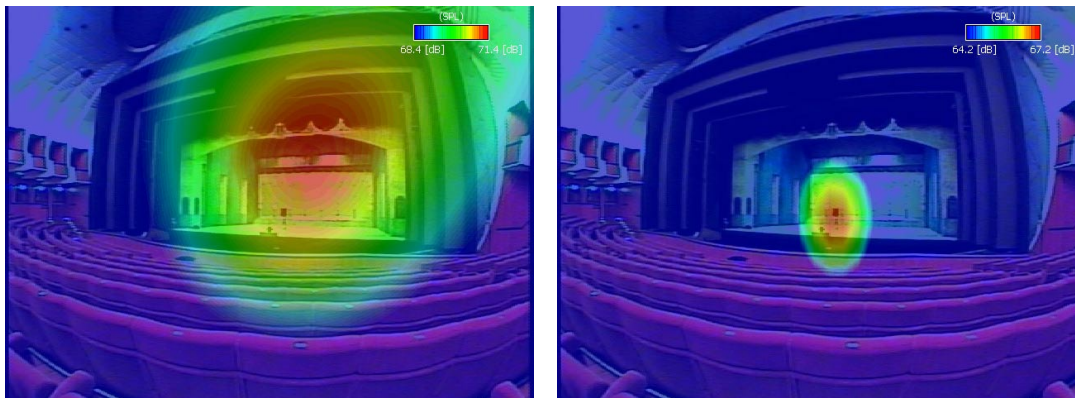


Figura 3 – Sorgente in S1 e ricevitore in P2. 315 Hz (a sinistra) e 4000 Hz (a destra)

La figura 4, relativa alla stessa misura presentata in figura 3, mostra invece la vista d'insieme delle 12 telecamere per la frequenza di 4000 Hz, su una dinamica di 12 decibel. Nell'immagine è possibile identificare le diverse riflessioni presenti nella sala per la frequenza esaminata. La telecamera 1 è quella orientata verso il palcoscenico, mentre le quattrotelecamere della riga superiore puntano a $+60^\circ$, e le quattro telecamere della riga inferiore puntano a -60° .

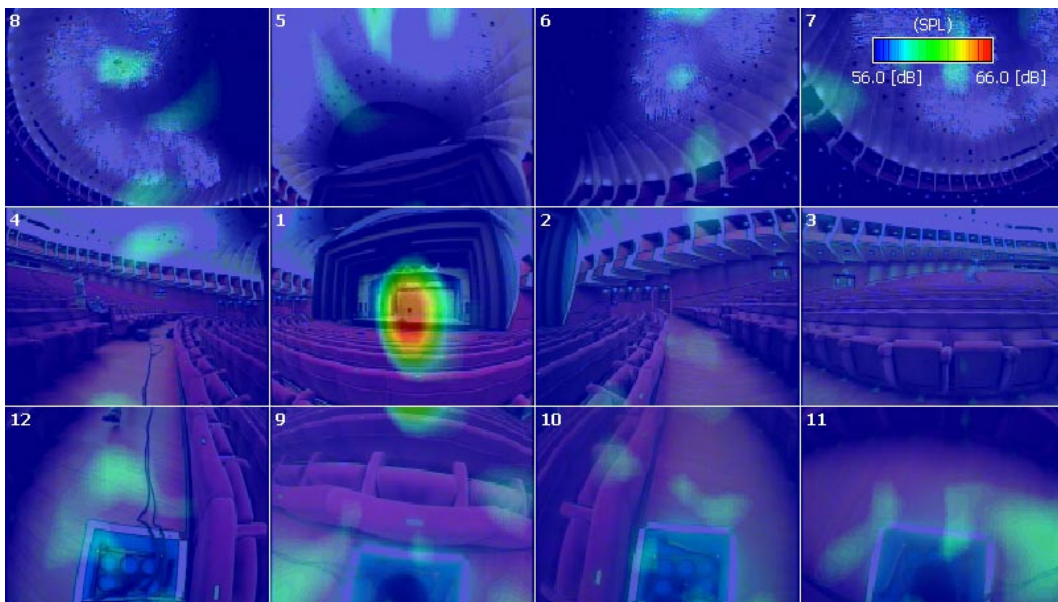


Figura 4 – Vista d'insieme delle 12 telecamere, Sorg. in S1 e ricev. in P2, 4000 Hz.

La figura 5 mostra contemporaneamente le telecamere puntate verso il palcoscenico e verso la volta sopra il palcoscenico stesso, per la banda di 1/3 di ottava di 315 Hz, con sorgente di rumore rosa in S1 e ricevitore in P1. La dinamica rappresentata è di 3 dB. Dall'immagine risulta evidente la piena funzionalità della volta ortofonica nella definizione della risposta acustica in bassa frequenza della sala.

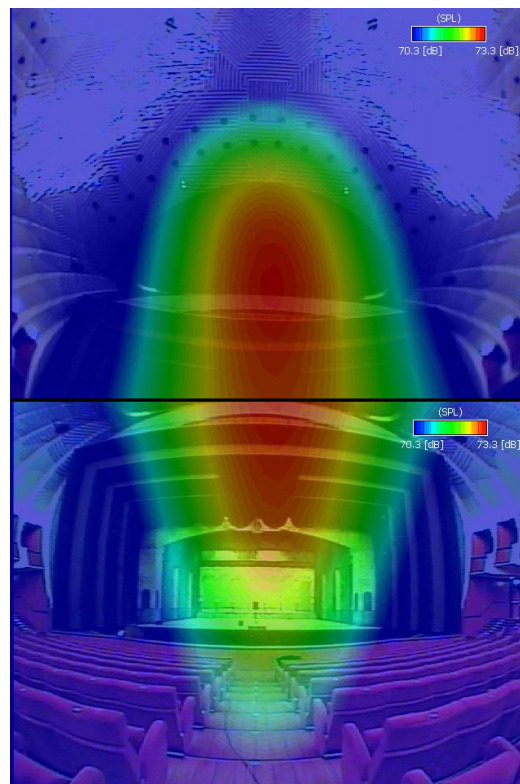


Figura 5 – Vista frontale, banda 315 Hz, sorgente in S1 e ricevitore in P1.

5. Sviluppi applicativi del metodo

Il metodo di analisi acustica basato sulla tecnica Beamforming, ha dimostrato di possedere potenzialità e caratteristiche di notevole rilevanza nello studio dell'acustica delle sale musicali: le esperienze maturate in questa applicazione sperimentale suggeriscono alcune migliorie alla routine di misura, che saranno testate nel prossimo futuro in altre realtà.

Alla luce delle esperienze presentate, risulta evidente come la tecnica Beamforming, insieme alle tradizionali metodologie di caratterizzazione acustica delle sale, possa aiutare il progettista acustico a capire e ad indagare con precisione l'origine di alcune possibili anomalie nella diffusione del suono riscontrabili nei teatri, permettendo di individuare rispetto ai differenti punti di rilievo superfici troppo o troppo poco riflettenti/assorbenti, focalizzazioni, sorgenti immagine, fenomeni tempo- dipendenti, sia in considerazione dei livelli sonori, sia del comportamento alle varie frequenze. Questa completezza di informazioni, facilmente gestibili in modo intuitivo in quanto restituibili in modo grafico, è certamente un'efficace ausilio alla progettazione acustica degli interventi sulle sale da concerto: risulta essere, infatti, particolarmente promettente l'utilizzo del metodo per lo studio ed il ricondizionamento di sale che presentano problemi di acustica, in quanto la tecnica permette l'analisi della situazione di fatto e l'individuazione delle problematiche, consentendo poi di correggere puntualmente geometrie e rivestimenti causa dei problemi, così come anche la corretta ubicazione e la taratura di sistemi di rinforzo audio di tipo passivo o attivo; in quest'ultimo caso la tecnica Beamforming si dimostra essere lo strumento ideale per tarare nel modo più opportuno i sistemi elettroacustici di amplificazione, al fine di ottenere la massima naturalezza e la miglior diffusione del suono in tutti i punti di una sala. Sarebbe poi facilmente proponibile, attraverso rilievi rapidi eseguiti con questa tecnica ed una routine di verifica studiata specificamente per ogni singola sala, la taratura precisa di sistemi di diffusione sonora attivi e passivi in funzione dei singoli allestimenti e delle relative tipologie e geometrie di scena, calibrando in modo ottimale la risposta acustica della sala nei singoli spettacoli, specie quando all'orchestra si uniscano altri strumenti, o voci recitanti, amplificate con l'ausilio di impianti elettroacustici.

Altro promettente utilizzo del sistema è quello finalizzato all'individuazione ed alla quantificazione puntuale delle sorgenti di rumore estranee, specie in media ed alta frequenza, quali le bocchette di immissione dell'aria, gli impianti di vario tipo, le macchine di scena, i giraluce,... Risultano infatti rilevabili puntualmente le sorgenti sonore in alta frequenza aventi anche limitati livelli di immissione rispetto al rumore di fondo.

6. Bibliografia

[1] A. Cerniglia, P. Vanzo, T. Valente, A. Costa, "Identificazione delle sorgenti sonore con la tecnica Beamforming", Atti 4a Convention naz.le dei responsabili dell'igiene e sicurezza negli amb. di lavoro, Modena Ott. 2006

[2] G. Brambilla, F. Lo Castro, A. Cerniglia, P. Verardi, "Visualizzazione 3D del campo acustico mediante sistema ad array microfónico sferico", Atti 34° Convegno AIA, Associazione Italiana di Acustica, Firenze Giugno 2007

[3] A. Cerniglia, G. Brero, M. Darò, "Impiego della tecnica beamforming per lo studio delle barriere stradali", Atti 35° Convegno AIA, Associazione Italiana di Acustica, Milano Giugno 2007

[4] A. Cerniglia, "Application examples of beamforming method", Acoustic '08 proceedings, Paris, June 2008