

REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI ACQUISIZIONE DI RISPOSTE ALL'IMPULSO INTENSIMETRICHE MEDIANTE SONDA MICROFLOWN PER LO STUDIO DELLE PROPRIETÀ SPAZIALI DEL CAMPO ACUSTICO

Davide Bonsi, Domenico Stanzial

Laboratorio di Acustica Musicale e Architettonica, FSSG-CNR, Fondazione G. Cini, Venezia

1. Sommario

Il metodo più frequentemente impiegato nello studio sperimentale del campo acustico in spazi confinati si basa sull'acquisizione della risposta all'impulso di pressione sonora, da cui si ricava un insieme di indicatori oggettivi monoaurali. Da questa metodica rimane escluso lo studio delle proprietà di natura spaziale, necessario per la valutazione oggettiva della "ambianza". Si è infatti dimostrato che proprietà quali la direzione di provenienza del suono, il senso di ampiezza apparente e la sensazione di involuppo sonoro, sono in parte descrivibili analizzando il comportamento del termine di gradiente di pressione, valutato ad esempio lungo l'asse interaurale. In pratica, per l'acquisizione di questa ulteriore grandezza viene impiegato un microfono a gradiente di pressione orientato nella direzione desiderata (si ricavano così parametri quali la frazione di energia laterale LF_0^{80} e di involuppo LG_0^{80}). Da un punto di vista fisico questa esigenza si traduce nella estensione della misura della risposta all'impulso alla grandezza che completa la descrizione del campo, ossia il vettore della velocità acustica, comunemente utilizzato in ambito intensimetrico per la misura dei flussi energetici [1], [2].

Nella presente memoria viene illustrato un sistema di acquisizione quadrifonico della risposta all'impulso basato sulla innovativa sonda Microflown, funzionante secondo il principio della anemometria a doppio filamento caldo [3]. Tale sensore, abbina al consueto segnale di pressione rilevato mediante un microfono miniaturizzato, anche una misura diretta e praticamente puntiforme delle risposte di velocità, permettendo di superare le limitazioni pratiche e teoriche connesse al calcolo dei gradienti tipico delle sonde intensimetriche p-p. Si mostrerà a questo proposito come un sistema di questo tipo apra prospettive interessanti nell'analisi delle caratteristiche di spazialità del campo acustico.

2. Introduzione

Da precedenti ricerche nel campo della intensimetria applicata allo studio dei campi acustici confinati è stato dimostrato come la formulazione delle leggi di conservazione dell'energia e della quantità di moto richiedano l'estensione del concetto di risposta all'impulso di pressione $g_p(\mathbf{x}, t)$ al vettore di velocità acustica $\mathbf{g}_v(\mathbf{x}, t)$ con la conse-

guente definizione di una unica grandezza quadrivettoriale denominata quadrimpulso del campo sonoro. Tra le applicazioni pratiche di questo insieme di grandezze vi è la possibilità di intraprendere, attraverso la grandezza derivata di *intensità acustica impulsiva* $\mathbf{g}_j(t) := g_p(t) \cdot \mathbf{g}_v(t)$, uno studio fisicamente rigoroso delle proprietà spaziali del campo in termini di flussi energetici [2]. In particolare questo lavoro affronta la questione della verifica sperimentale su base intensimetrica della distribuzione spaziale dei “raggi sonori” che, nell’approccio statistico-geometrico all’acustica architettonica, vengono normalmente considerati i vettori dell’energia sonora. Per questa verifica vengono utilizzati i seguenti indicatori già introdotti in letteratura ad esempio in [8]:

$$\mathbf{d}(t) := \int_0^t \mathbf{g}_j(\tau) d\tau / \int_0^\infty |\mathbf{g}_j(\tau)| d\tau ; \quad d(t) := \sqrt{d_x^2(t) + d_y^2(t) + d_z^2(t)}$$

L’indicatore vettoriale \mathbf{d} è definito come il rapporto tra l’energia complessivamente trasmessa per unità di tempo ed area lungo le tre direzioni cartesiane nell’intervallo di tempo variabile $0 \div t$ e l’integrale del modulo del flusso su tutta la durata dell’impulso $T \rightarrow \infty$, ossia di tutta l’energia passante nel punto di misura. È quindi naturale interpretare i valori prossimi a ± 1 delle singole componenti di \mathbf{d} , come rappresentativi di condizioni di propagazione energetica che avviene lungo una direzione ed un verso stabili nel tempo. Valori non nulli del modulo $d(t)$ indicano dunque la “polarizzazione dell’intensità impulsiva”¹, inteso come sbilanciamento polare ottenuto dalla distribuzione cumulativa nel tempo t dell’intensità acustica impulsiva.

3. L’apparato di misura

Per quanto riguarda la parte hardware il sistema è stato realizzato su un PC notebook provvisto di scheda audio PCMCIA full-duplex a 4 canali (*Digigram VXpocket440*). La parte software è stata realizzata su piattaforma MATLAB utilizzando come interfaccia di input/output il Toolbox *Data Acquisition*. Entrambe le tecniche standard attualmente più in uso, MLS [4] e “Swept Sines” [7], sono state implementate (nel primo caso utilizzando funzioni Matlab di dominio pubblico [5],[6]). Il sistema prevede tre sottoprocessi fondamentali eseguiti da altrettante routine: sintesi dei segnali di eccitazione, riproduzione e registrazione simultanea, deconvoluzione delle risposte (rispettivamente trasformata di Hadamard veloce ed inversione mediante FFT).

Come noto, un requisito essenziale di un apparato di misura di tipo intensimetrico è la perfetta sincronia tra le linee di acquisizione, affinché le grandezze energetiche medie ricavate non risultino affette da errori dovuti a un ritardo temporale relativo tra i segnali di pressione e velocità acustica. Sfortunatamente, a fronte della estrema compattezza e della elevata qualità delle caratteristiche audio (risposta in frequenza, rumore, distorsione, ecc.), il modello di scheda audio da noi utilizzato si presenta come una coppia di canali stereo che reciprocamente non soddisfano le caratteristiche di accuratezza al campione. Tale inconveniente è stato superato realizzando un dispositivo elettronico di trigger che, mediante l’invio di un segnale impulsivo direttamente agli ingressi prima della acquisizione, fornisce un riferimento assoluto per il “riallineamento” delle risposte attraverso una procedura software automatica.

¹ Da non confondere con la più sofisticata “polarizzazione dell’intensità stazionaria” la cui definizione semplificata è riassunta ad esempio in Ref. 2.

4. Esempio di misura e analisi dei risultati

Al fine di sottoporre a verifica il nostro sistema sono state effettuate alcune misurazioni di quadrimpulso in una piccola aula didattica ($1 \times w \times h = 6 \times 4 \times 3 \text{ m}^3$) e in una sala conferenze di medie dimensioni ($9 \times 33 \times 4 \text{ m}^3$) entrambe a forma di scatola. Nelle figure 2 e 3 riportiamo un campione dei risultati ottenuti per il quadrimpulso e per le relative componenti di intensità impulsiva.

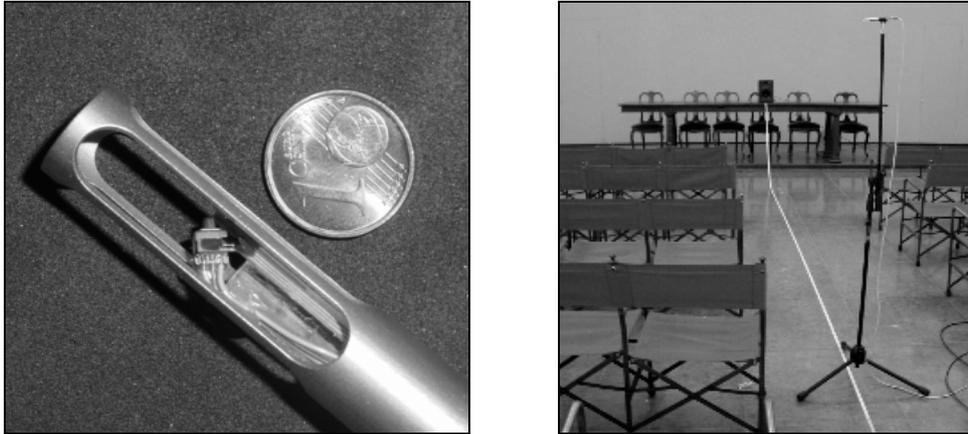


Figura 1 – Sinistra: la sonda Microflow; destra: una vista del setup di misura

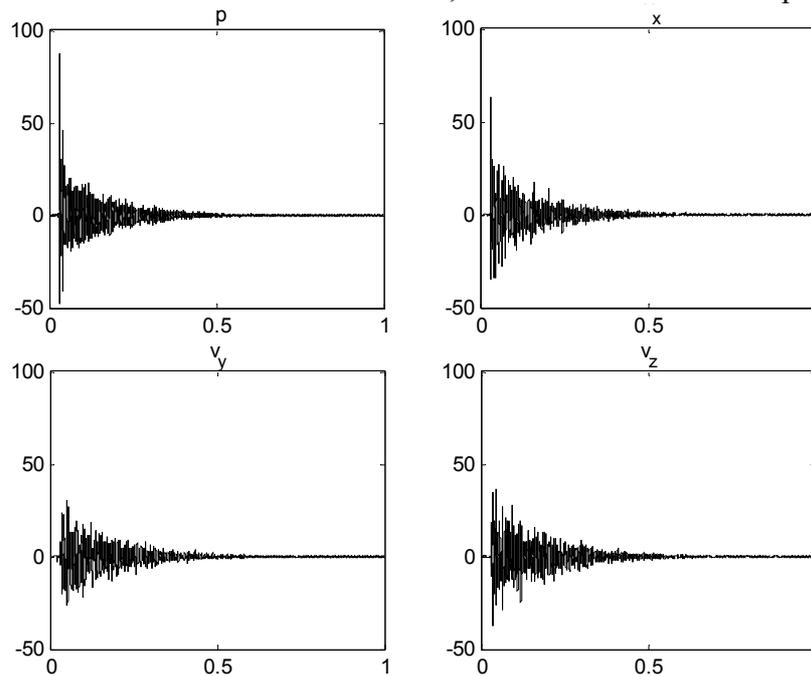


Figura 2 – Esempio di quadrimpulso nella sala piccola (ascissa in secondi, ordinata in unità arbitrarie).

Le coordinate X,Y,Z delle figure 4 e 5, si riferiscono rispettivamente alle direzioni corrispondenti alla lunghezza, larghezza e altezza delle due sale. La sorgente (altoparlante Genelec 1030A) è stata posta ad una estremità della sala ed orientata lungo l'asse X. A conferma di quanto affermato a proposito della efficacia del vettore intensità nella rappresentazione delle proprietà di spazialità del campo si possono osservare nelle figure 4 e 5 le proiezioni dei diagrammi polari delle componenti iniziali sui tre piani carte-

siani. In entrambi i casi si osserva sui piani XY e ZX la presenza di una marcata direzionalità del flusso istantaneo ed una maggiore “radiosità” nel piano YZ, perpendicolare all’asse della sonda. Valutazioni quantitative sulla distribuzione nel tempo dei fronti di energia si ricavano dall’andamento degli indicatori d e d , di cui riportiamo gli esempi nelle figure 6 e 7. In particolare si riscontra un diverso andamento nell’accumulo delle componenti istantanee, come conseguenza della variazione nel tempo delle proprietà di radiosità dell’energia: la componente X si presenta con una forte componente impulsiva iniziale e rimane prevalente nei primissimi istanti del transitorio (5 ms), mentre i contributi X e Y compaiono successivamente in maniera più graduale. I due ambienti differiscono per il diverso valore asintotico d_{∞} (rispettivamente 0.052 e 0.035 circa), per cui la sala grande mostra una maggiore polarizzazione dell’intensità impulsiva.

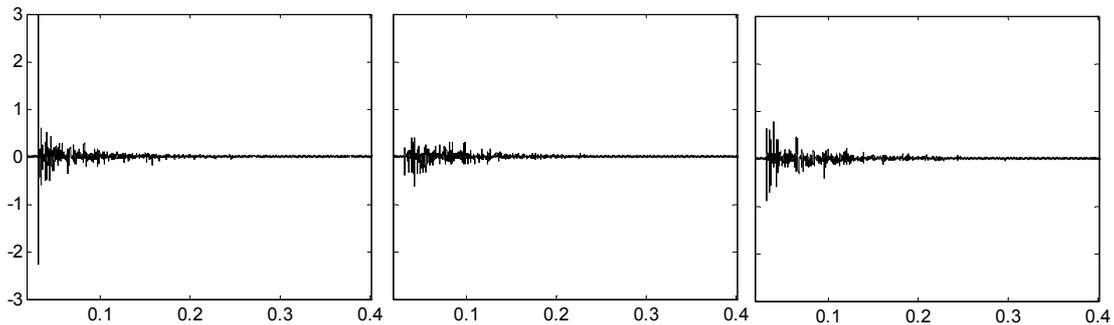


Figura 3 – Intensità impulsiva corrispondente al quadrimpulso di figura 1.

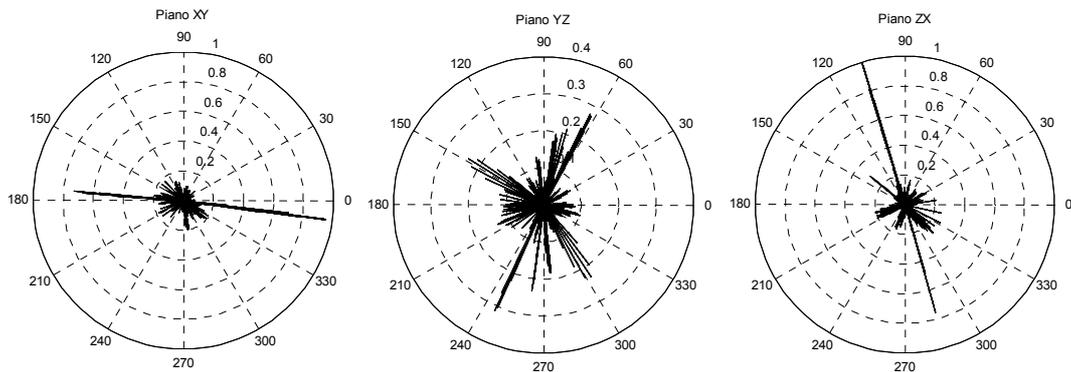


Figura 4 – Diagramma polare del vettore di intensità impulsiva (0÷80 ms) nei tre piani cartesiani (sala piccola). La direzione della sorgente è a 0° nella proiezione XY, ortogonale al piano in YZ e attorno a 90° nella ZX.

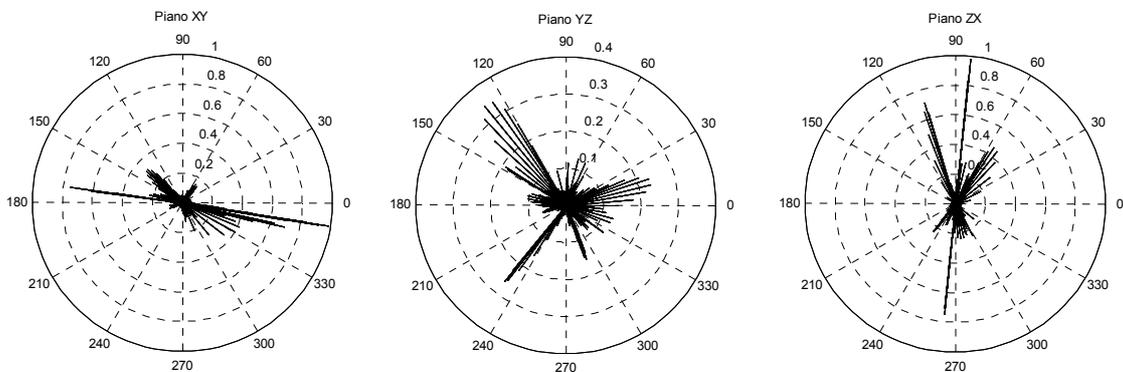


Figura 5 – Diagrammi polari di intensità impulsiva nella sala grande (distanza sorgente ricevitore di circa 6 m).

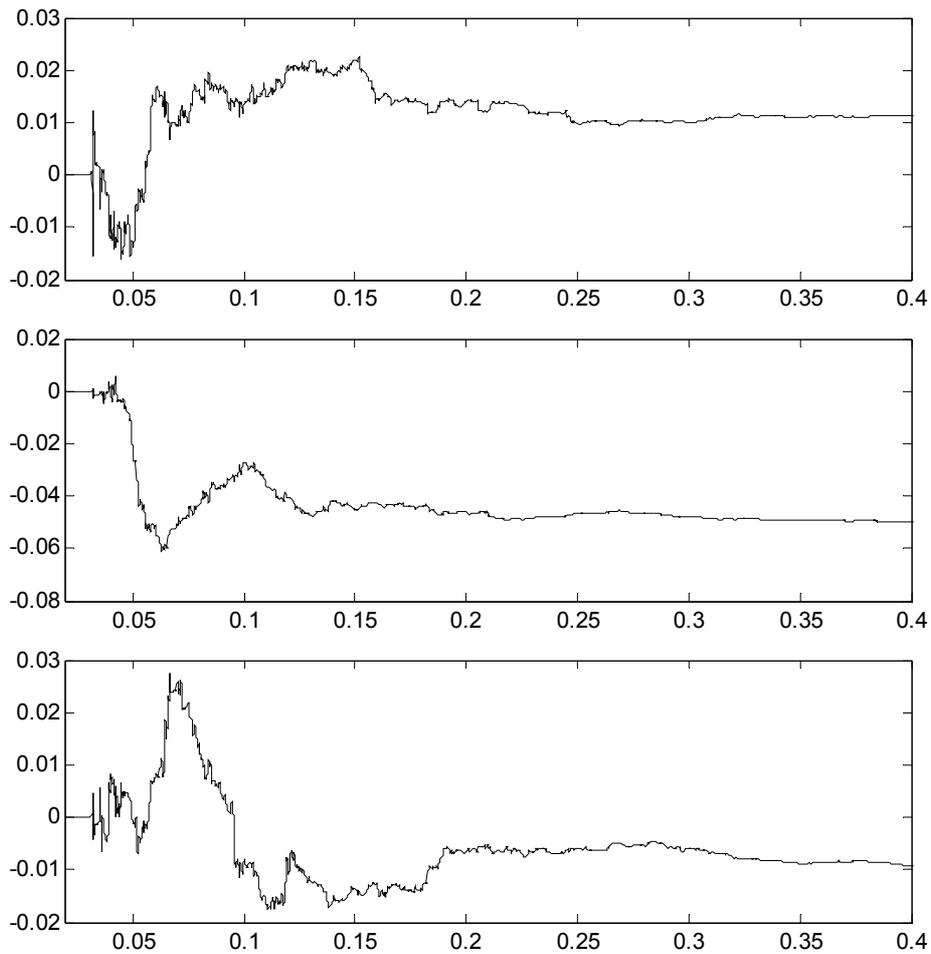


Figura 6 – Componenti X,Y,Z del vettore \mathbf{d} (primi 0.4 s) nella sala piccola.

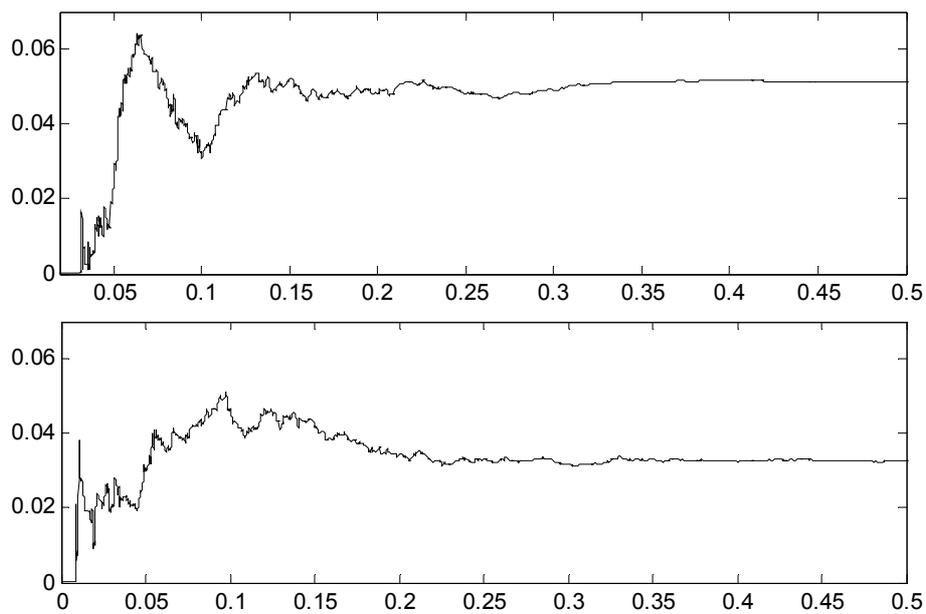


Figura 7 – Indicatore d nella sala piccola (sopra) e nella sala grande (sotto).

5. Conclusioni

È stato illustrato brevemente l'utilizzo della sonda Microflown per la realizzazione di una sistema di misura quadrifonico/intensimetrico della risposta all'impulso. Si è visto poi come tale sistema trovi una immediata applicazione nell'analisi qualitativa e quantitativa delle proprietà di distribuzione dei flussi impulsivi di energia acustica e, nel quadro dell'interpretazione dei concetti di spazialità in termini di tali grandezze, costituisca un utile strumento di indagine interamente basato su principi di natura acustica.

Sviluppi futuri saranno incentrati sul consolidamento teorico e sperimentale della metodica, sia attraverso la raccolta di ulteriori dati in diverse tipologie di ambienti per meglio validare l'interpretazione degli indicatori proposti, sia studiando la relazione con la più rigorosa teoria della propagazione energetica facente capo ai concetti di energia radiante e oscillante (vedi [2]).

6. Riconoscimenti

La presente ricerca è stata svolta nell'ambito del progetto europeo RACINE-S (contratto IST-2001-37117) [9].

7. Bibliografia

1. D. Stanzial, D. Bonsi, G. Schiffrer, *Four-dimensional treatment of Linear Acoustic Fields and Radiation Pressure*, Acta Acustica, Vol. 89 (2003), pagg. 213-224.
2. D. Stanzial, N. Prodi, D. Bonsi, *Measurement of New Energetic Parameters for the Objective Characterization of an Opera House*, J. of Sound and Vib. 232 (1), 2000, pagg. 193-211.
3. H-E. de Bree, *An overview of Microflown Technologies*, Acta Acustica, Vol. 89 (2003), pagg. 163-172.
4. W.T. Chu, *Impulse-Response and Reverberation Decay Measurements made by using a Periodic Pseudorandom Sequence*, Appl. Acoustics 29, p. 193-205 (1990).
5. www.silicon.com/~aludwig/Signal_processing/Maximum_length_sequences.htm.
6. C.C. Gumas, *Personal Engineering & Instrument. News*, novembre 1997, p. 57-63.
7. A. Farina, *Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique*, preprint 108ma AES Convention, Parigi 18-22 febbraio 2000.
8. R.W. Guy, A. Abdou, *Measurement System and Method to Investigate the Directional Characteristics of Sound Fields in Enclosures*, Noise Control Eng. J., 42 (1), 1994.
9. <http://www.racine.eu.com>