

**QUALIFICAZIONE ACUSTICA DEI PALAZZI DELLO SPORT: ALCUNI  
CASI SPERIMENTALI**

**A. Cocchi\*, P. Fausti\*, A. Farina\*\***

\*Istituto di Fisica Tecnica, Università di Bologna

\*\*Dipartimento Ingegneria Industriale, Università di Parma

**INTRODUZIONE**

Lo studio della qualità acustica di sale dall' utilizzo polivalente è reso difficoltoso da due tipi di problemi: da un lato non è facile prevedere per via teorica la diffusione del suono in ambienti chiusi, poichè a tutt'oggi anche i migliori modelli numerici consentono il calcolo solo di alcuni parametri, e non forniscono una piena ricostruzione del campo sonoro. Dall' altro lato, si avverte la necessità di una miglior conoscenza dei fenomeni soggettivi che riguardano l' ascolto della musica e della parola.

In ogni modo è stato individuato un certo numero di parametri oggettivi che risultano ben correlati ai giudizi di qualità sonora di una sala, sia in termini musicali che di intelligibilità della parola.

Nel seguente lavoro viene presentata una rassegna di rilievi sperimentali eseguiti in alcune sale polivalenti mirati a valutare alcuni dei principali descrittori acustici e le varie tecniche utilizzate vengono poi messe a confronto sulla base dei valori dei descrittori individuati.

## TECNICHE DI MISURA

Le tecniche di misura possono essere utilizzate direttamente nella sala reale o su modelli in scala della stessa, realizzati nel rispetto delle opportune condizioni di similitudine acustica.

Tralasciando la costruzione dei modelli, già ampiamente descritta altrove [1,2], vengono qui brevemente descritte le varie tecniche di misura sperimentali che negli ultimi anni sono state radicalmente rinnovate.

### - **Uso di analizzatori in tempo reale**

L'impiego di analizzatori di spettro in tempo reale (FFT o in terzi d'ottava) consente la misurazione diretta di alcuni parametri acustici molto importanti, quali il livello sonoro, lo spettro sonoro prodotto da una sorgente di rumore rosa o bianco (che fornisce la "coloritura" della sala), ed i tempi di riverberazione nella diverse bande di frequenza tutti valutati in più punti della sala. Solitamente non è possibile calcolare i valori dei criteri di chiarezza (rapporti fra energia utile ed energia tardiva, tempo baricentrico) se non tramite un computer collegato agli analizzatori, dotato di programmi che debbono essere realizzati allo scopo [3,4]. Come sorgente sonora può venire impiegato sia un altoparlante, alimentato da un segnale proveniente dall'analizzatore stesso, sia un colpo di pistola (che consente tuttavia solo la valutazione del tempo di riverberazione).

### - **Registrazione della risposta impulsiva e successiva analisi**

Volendo evitare il trasporto nella sala di strumentazioni molto ingombranti, è possibile registrare tramite un piccolo magnetofono digitale portatile (DAT) la risposta a dei colpi di pistola; sfruttando i due canali di registrazione, è possibile impiegare una cuffia microfonica binaurale, cosicchè dalla successiva elaborazione delle registrazioni con un analizzatore FFT bicanale è possibile calcolare anche il valore della Correlazione Mutua Inter-Aurale (IACC) [1]. Dalle risposte all'impulso possono poi venire calcolati quasi tutti i parametri acustici più importanti: tempo di riverbero, tramite integrazione all'indietro di Schroeder, rapporti di chiarezza ( $R, t_b$ ) [5], etc. Poichè la sorgente sonora non è stabile, ed ha uno spettro non normalizzato, non è possibile ricavare informazioni sullo spettro sonoro prodotto dalla sala, nè sul valore assoluto del livello sonoro, ed il calcolo del RASTI o STI (che può comunque venire effettuato) non risponde ai requisiti previsti dalle norme, e pertanto ha semplice valore comparativo.

Per l'esecuzione delle elaborazioni sulla risposta allo impulso è necessario trasferire la stessa dalla cassetta DAT alla memoria di un computer; ciò può essere fatto tramite un analizzatore FFT, oppure impiegando una scheda acquisizione dati inserita nel PC. Nel prossimo futuro diverrà comunque possibile un trasferimento digitale diretto dal DAT al bus dati del computer.

## - **Tecnica pseudo-impulsiva con MLSSA**

I rilievi vengono eseguiti impiegando un PC IBM dotato della scheda di acquisizione dati A2D160. Il PC viene connesso ad un altoparlante mentre il campo sonoro è rilevato mediante testa artificiale con microfoni auricolari Senheiser MKE 2002 SET.

La scheda A2D160 genera un segnale deterministico pseudocasuale, che viene correlato con il segnale ricevuto tramite il microfono; mediante la trasformata rapida di Hadamard, è possibile ottenere direttamente nel dominio del tempo la funzione di correlazione, che fornisce la risposta all'impulso cercata. Essa risulta molto più lunga di quella ottenibile, con procedimento analogo, da un comune analizzatore FFT (32768 punti contro 1024), e pertanto consente di analizzare l'intero decadimento del campo sonoro per un esteso campo di frequenze (fino a 5 o anche 10 kHz, per sale poco riverberanti). Il software di cui la scheda è dotata, denominato MLSSA, consente poi direttamente il calcolo di tutti i descrittori acustici già citati, oltre che di numerosi altri, nonché la valutazione della matrice delle Modulation Transfer Functions, da cui possono essere ottenuti RASTI ed STI. Per quanto riguarda questi ultimi due parametri, va osservato che la misura è a norma solo se l'altoparlante è costituito dalla cosiddetta "bocca artificiale", che riproduce esattamente la potenza sonora, lo spettro e la direttività della voce umana media.

## **RILIEVI SPERIMENTALI**

Per questa rassegna si è pensato di riportare i rilievi eseguiti in una particolare categoria di sala polivalente: i palazzi dello sport.

Sono stati studiati 4 palazzi dello sport, diversi per forma e capienza e in ciascuno di essi le misure sono state elaborate con almeno due tecniche di misura diverse. In uno di essi sono state poi utilizzate tutte le tecniche presentate, e questo ha consentito di valutarle comparativamente.

## - **Confronto tra le varie tecniche**

Il confronto tra le varie tecniche è stato effettuato sui valori del tempo di riverbero: nella figura 1 sono riportati i valori medi del tempo di riverberazione  $T_{15}$  ottenuti nel Palasport di Budrio con tre diverse tecniche: misure con rumore stazionario interrotto campionato con analizzatore in tempo reale Nortronic RTA830, valori ottenuti con i colpi di pistola elaborati tramite analizzatore in tempo reale al momento dello sparo e valori ottenuti mediante lo stesso analizzatore dopo la memorizzazione sul DAT.

Si osserva che le differenze fra i risultati ottenuti con le varie tecniche sono

Fig.1:  
Confronto Tecniche di misura  
Tempi di riverberazione (T 15)

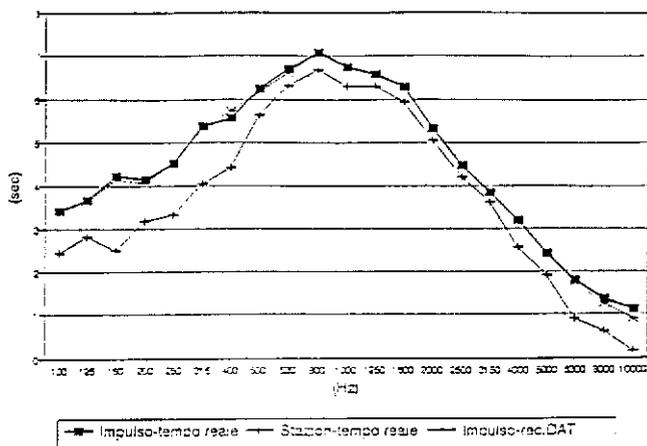


Fig.2:  
Tempi di riverberazione (T 15)  
calcolati con la teoria di Sabine

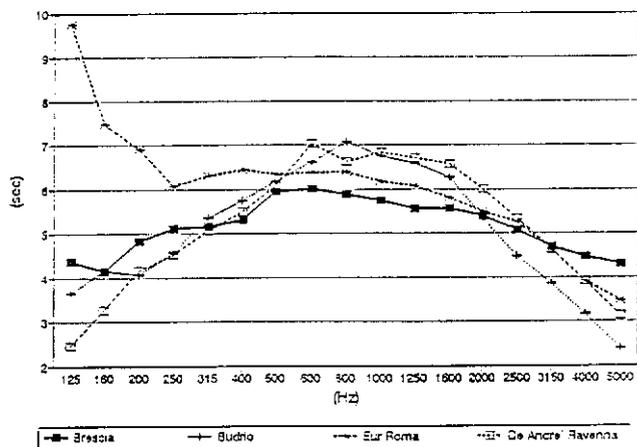
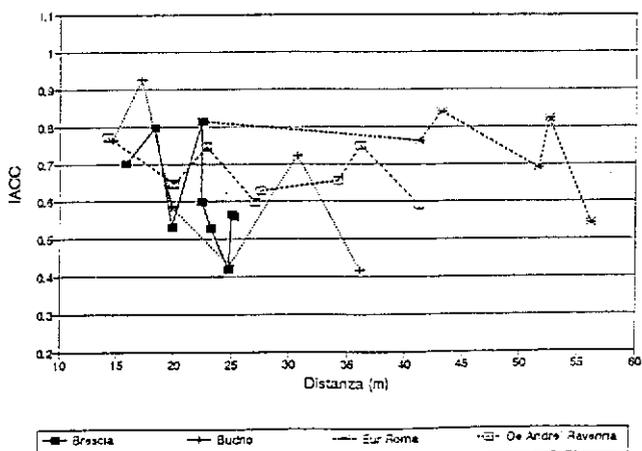


Fig.3:  
Correlazione mutua Inter-Aurale  
in funzione della distanza Sorg.-Ric.



molto contenute, sebbene il colpo di pistola comporti dei problemi alle basse frequenze, dovuti ad insufficiente rapporto segnale/disturbo.

#### - Rilievi in altre sale

Nella fig. 2 è riportato il confronto fra i tempi di riverbero misurati nelle 4 sale studiate: Palasport di Budrio, di Brescia, PalaEur di Roma e Palazzo dello Sport e delle Arti di Ravenna.

Nella fig. 3 è visibile il confronto fra i valori della IACC al variare della distanza sorgente/ricevitore.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Cocchi, A. Farina, L. Rocco - "Reliability of Scale-Model Researches: a Concert Hall Case" - Applied Acoustics vol. 30 no. 1 (1990) pagg. 1-13.
- [2] A. Cocchi, P. Fausti - "Metodologie di valutazione delle caratteristiche acustiche dei palazzetti dello sport" - XVIII Convegno Nazionale AIA, L' Aquila, (1990).
- [3] A. Farina, R. Pompoli - "L' acustica del teatro del Convitto Nazionale Maria Luigia di Parma" - INARCOS n. 483 Novembre 1987.
- [4] A. Cocchi, A. Farina - "Rilevamento sperimentale delle caratteristiche acustiche dei teatri e delle sale da spettacolo" - Atti del XVI Convegno AIA 1988, Milano, 28-30 marzo 1988.
- [5] L.L. Beranek, T.J. Schultz - "Some recent experiences in the design and testing of concert halls with suspended panel arrays" - Acustica vol. 15, p. 307 (1965).