

**Rilevamento sperimentale delle caratteristiche acustiche
dei teatri e delle sale da spettacolo.**

A.Cocchi, A.Farina - Istituto di Fisica Tecnica

Fac. di Ingegneria - Università di Bologna.

0. Introduzione

Negli ultimi anni sono state radicalmente rinnovate le tecniche sperimentali che consentono di valutare la qualità acustica degli ambienti destinati all'esecuzione della musica ed allo spettacolo; tecniche di trattamento digitale dei segnali e di elaborazione rapida consentono di misurare in tempi estremamente brevi un elevato numero di parametri fisici in numerosi punti di una sala.

Il notevole incremento dei dati disponibili ha richiesto la realizzazione di teorie di valutazione degli stessi molto più raffinate, rispetto alla tradizionale individuazione del Tempo di Riverberazione Ottimale quale descrittore unico delle caratteristiche della sala.

Vengono presentate in sintesi sia le tecniche di misura attualmente utilizzate, sia la procedura di valutazione dei risultati stessi, che ha consentito di calcolare l'"indice di preferenza" in ciascun punto della sala.

Le predette tecniche vengono poi utilizzate per qualificare un teatro, eseguendone altresì lo studio mediante le tradizionali tecniche legate al tempo di riverberazione, ottenendo risultati globalmente non divergenti.

1. Tecniche di misura

Lo scopo delle misure effettuate è la determinazione dei seguenti descrittori fisici, significativi per la valutazione della qualità acustica secondo le più recenti teorie di Ando [1] e Schroeder [2]:

- IACC (Correlazione Inter Aurale): misura la correlazione fra i segnali registrati tramite testa artificiale dotata di microfoni nei padiglioni auricolari.
- ITDG (Tempo di Ritardo Iniziale): misura il ritardo temporale fra l'arrivo del suono diretto e della prima onda riflessa.
- T_{sub} (Tempo di Riverberazione Soggettivo): tempo di riverberazione misurato sui primi 15 dB del decadimento

sonoro, utilizzando rumore bianco, filtrato "A" in fase di ascolto.

- L_A (Livello d'Ascolto): livello pesato "A" riferito ad una potenza fissata della sorgente sonora.
- A (Ampiezza della prima riflessione equivalente): rapporto fra l'energia del campo sonoro di prima riflessione e l'energia del campo diretto.

La determinazione dei primi due parametri e dell'ultimo è agevole se si dispone della "Risposta all' Impulso", ottenuta registrando la risposta dell' ambiente ad un segnale sonoro impulsivo. Essa fornisce indicazioni sul tempo di ritardo e la intensità delle singole riflessioni, ed effettuando la registrazione binaurale mediante testa artificiale, anche sulla direzione di provenienza del suono.

La risposta all' impulso può essere determinata tramite la tecnica della trasformata di Fourier inversa della Funzione di Trasferimento tra il segnale emesso dalla sorgente sonora ed il segnale ricevuto dalla testa artificiale [3], utilizzando la catena strumentale visibile in fig. 1. In pratica si utilizza un analizzatore FFT bicanale, connesso ad un microcomputer che gestisce l' intero sistema.

La messa a punto di questa strumentazione è stata realizzata nel 1986 [4], ed è stata utilizzata la prima volta per lo studio di un teatro di Parma [5].

La stessa strumentazione consente anche di determinare il livello sonoro pesato "A" nel punto d' ascolto, ottenuto come differenza fra il livello emesso dalla sorgente ed il livello ricevuto dalla testa artificiale. Sfruttando infine il decadimento sonoro che segue lo spegnimento della sorgente, al termine della acquisizione in ciascun punto, si misura il tempo di riverberazione soggettivo.

Tutti i dati sono registrati su disco magnetico, per la successiva fase di elaborazione e valutazione di qualità.

2. Valutazione di Qualità Acustica per l'ascolto della musica

Partendo dai parametri oggettivi misurati, è possibile calcolare in ciascun punto della sala studiata un descrittore numerico della qualità acustica, in base allo schema di valutazione proposto da Ando [6].

Si considerano come parametri indipendenti il Livello di Ascolto, la IACC, l' ITDG ed il Tempo di Riverberazione Soggettivo. Per ciascuno di essi viene calcolato un indice di preferenza parziale, che è funzione dello scostamento del

parametro stesso dal suo valore ottimale. Per due di essi, ITDG e T_{sub} , la funzione che fornisce l'indice di preferenza è influenzata dal valore della Ampiezza della Riflessione Equivalente e dal tipo di musica considerato.

L'intera procedura di valutazione di qualità viene eseguita automaticamente dal microcomputer connesso alla strumentazione, che richiede in ingresso semplicemente le informazioni relative alla potenza della sorgente musicale effettiva ed alle caratteristiche del brano musicale. Queste ultime vengono espresse da Ando tramite la cosiddetta "Durata Effettiva della Funzione di Autocorrelazione", che varia da circa 12 ms per il parlato ad oltre 120 ms per la musica molto lenta e a tessitura legata.

La somma degli indici di preferenza parziali fornisce lo indice di preferenza complessivo. Le scale numeriche sono aggiustate in modo che esso sia un numero sempre negativo, che raggiunge il valore zero solo nel caso che tutti i parametri fisici siano prossimi al valore ottimale. Poiché non esiste un valore minimo dell'indice di preferenza, non è possibile riportare il risultato ad una scala a punti (ad es. da 0 a 100) come era stato proposto da Beranek [7].

3. Risultati Sperimentali

Le tecniche di misura descritte sono state utilizzate per lo studio dell'acustica del Teatro Comunale Astra di Forlì, le cui piante e sezione sono visibili in fig. 2 con l'indicazione dei 60 punti di misura utilizzati.

I risultati sperimentali vengono restituiti sia in forma grafica che numerica, come è mostrato dalla fig. 3 che riporta la mappa del livello sonoro nella platea. I 18 punti di misura della galleria richiedono una rappresentazione separata.

La valutazione di qualità acustica è stata eseguita ipotizzando una sorgente sonora di potenza adeguata, e la esecuzione di due diversi brani musicali, oltre che il parlato. I due brani musicali scelti sono caratterizzati da una durata effettiva della funzione di autocorrelazione t_e pari rispettivamente a 43 ms e 127 ms, mentre il parlato dà $t_e = 12$ ms.

Nelle figg. 4, 5 e 6 sono riportate graficamente le mappe dell'indice di preferenza complessivo ottenute nei tre casi citati. Si nota con evidenza che la sala è più adatta al parlato, presenta caratteristiche solo di poco peggiori per la esecuzione del brano musicale classificabile "allegro con brio" ($t_e=43ms$), mentre è decisamente inadatta alla lentezza del

secondo brano.

Considerando separatamente l' influenza dei 4 parametri fisici sulla diminuzione di qualità rispetto al valore ottimale, è risultato che la IACC è comunque il parametro più penalizzante, seguito dall' ITDG. Il Tempo di Riverberazione (che nella sala studiata è molto basso) diviene rilevante solo nel caso della esecuzione della musica più lenta.

Nella seguente tabella sono riportati i valori mediati sulla sala degli indici di preferenza parziali, e le relative percentuali sul totale.

	pr. liv.	pr.IACC	pr.ITDG	pr.T.R.	pr.tot.
te= 12ms	-0.32733	-0.7435	-0.4588	-0.1573	-1.6872
% sul T.	19.40 %	44.07 %	27.19 %	9.32 %	
te= 43ms	-0.32733	-0.7435	-0.7053	-1.8403	-1.8403
% sul T.	17.78 %	40.40 %	38.32 %	3.48 %	
te=127ms	-0.32733	-0.7435	-1.4598	-0.7745	-3.3052
% sul T.	9.90 %	22.49 %	44.16 %	23.43 %	

4. Confronti e Conclusioni

Essendo state contemporaneamente eseguite misure tradizionali dei tempi di riverberazione in bande di 1/3 d'ottava, con tecnica di eccitazione sia impulsiva che stazionaria, mediante un analizzatore digitale in tempo reale, è stato possibile operare per confronto una valutazione di idoneità della sala a diversi tipi di utilizzo, facendo riferimento ad esempio ai valori ottimali del tempo di riverberazione suggeriti da Cremer [8] in funzione del volume della sala.

In fig. 7 è visibile questo confronto direttamente in forma grafica, e se ne deduce quanto precedentemente osservato: il Teatro Astra è adatto alla prosa, è ancora abbastanza idoneo per l' opera all' italiana o la musica allegra, mentre è troppo "sordo" per la musica sinfonica.

Nel particolare caso studiato si è avuta pertanto una sostanziale coerenza di risultati fra tecniche di misura, ma

soprattutto di valutazione, molto diverse. Non va tuttavia dimenticato che l'importanza effettiva del tempo di riverberazione esce fortemente ridimensionata dalla valutazione di qualità secondo Ando; uno stesso risultato viene pertanto spiegato mediante meccanismi diversi.

Tenuto conto del legame comunque esistente dal punto di vista fisico fra il tempo di riverberazione e gli altri parametri considerati, si può supporre che in ambienti di forma e caratteristiche usuali, ove le ipotesi dell'acustica statistica sono rispettate, sia comunque da attendersi una corrispondenza fra le diverse tecniche di valutazione, come è stato riscontrato nel presente lavoro. Quando viceversa le caratteristiche dell'ambiente sono tali da interrompere le usuali interdipendenze fra i parametri fisici (che dal punto di vista soggettivo sono comunque indipendenti), si verifica la divergenza fra le valutazioni di qualità, e quella basata unicamente sul tempo di riverberazione ha buone probabilità di condurre fuori strada lo sperimentatore acustico, come alcuni illustri fallimenti del passato hanno dimostrato.

Bibliografia

- [1] Ando Y. - "Concert Hall Acoustics" - Springer-Verlag, Berlino (1985).
 - [2] Schroeder M.R. - "Toward Better Acoustics for Concert Halls" - Physics Today, p. 24 (October 1980).
 - [3] Berkhout A.J. et al. - "A new method to acquire impulse responses in concert halls" - J. Ac. Soc. Am., 68 p.179 (1980).
 - [4] Farina A. - "La caratterizzazione acustica delle sale da spettacolo con particolare attenzione alle esigenze di ascolto della musica sinfonica" - Tesi di Dottorato di Ricerca in Fisica Tecnica, Università di Bologna, 1987.
 - [5] Farina A., Pompoli R. - "L'acustica del Teatro del Convitto Nazionale Maria Luigia di Parma" - INARCOS 42, p.418 Bologna (1987).
 - [6] Ando Y. - "Calculation of subjective preference at each seat in a concert hall" - J. Ac. Soc. Am., 74 p.873 (1983).
 - [7] L.L. Beranek - "Music Acoustics and Architecture" John Wiley, New York (1962).
 - [8] L. Cremer, H.A. Muller - "Principles and Applications of Room Acoustics" - Applied Science Publ., London (1982).
- Lavoro eseguito con il contributo finanziario M.P.I. 60% .-

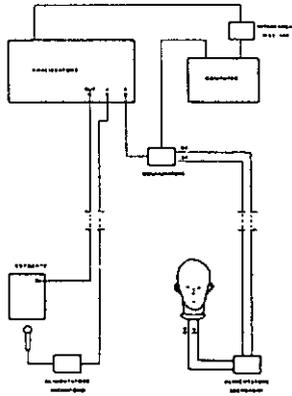
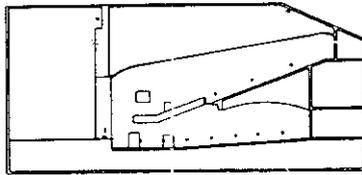
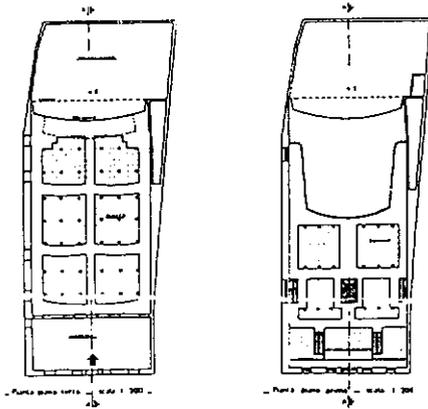


FIG. 1
Schema del sistema di acquisizione.



... Sezione AA ... scala 1:200 ...

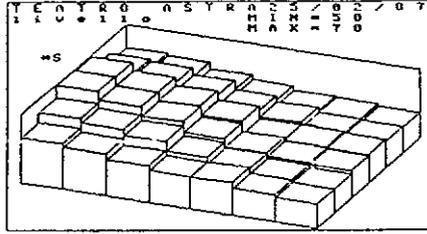
... Dimensioni in metri di lunghezza e larghezza ...



... Pianta piano terra ... scala 1:200 ...

... Pianta piano primo ... scala 1:200 ...

Fig. 2 - piante e sezione del Teatro Astra.



6	12	18	24	30	36	42
63.0	62.6	60.6	59.2	57.9	57.4	56.8
5	11	17	23	29	35	41
65.9	65.1	63.1	60.6	58.7	57.6	57.3
4	10	16	22	28	34	40
69.2	67.0	64.6	61.7	58.3	58.0	57.8
3	9	15	21	27	33	39
69.2	67.0	64.1	61.1	59.0	57.8	57.3
2	8	14	20	26	32	38
65.7	64.3	62.7	60.2	58.5	57.3	56.5
1	7	13	19	25	31	37
62.0	62.0	60.1	58.7	58.8	57.3	56.3

Fig. 3 - Teatro Astra (platea) - LIVELLO ASCOLTO (dati):
livello sorgente 100 dB(A).

Tempi di Riverberazione Ottimali

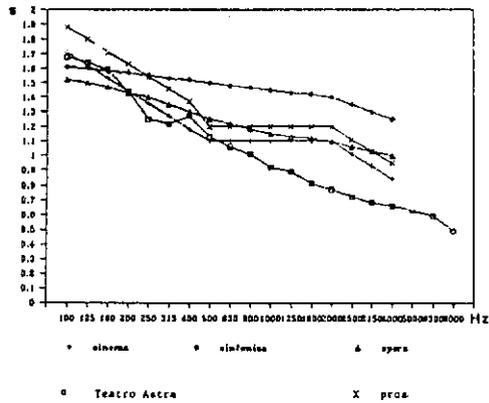
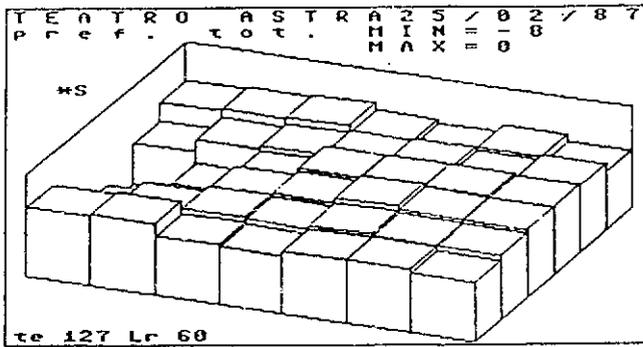
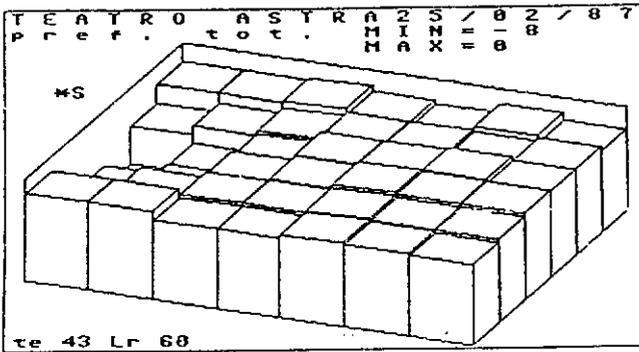
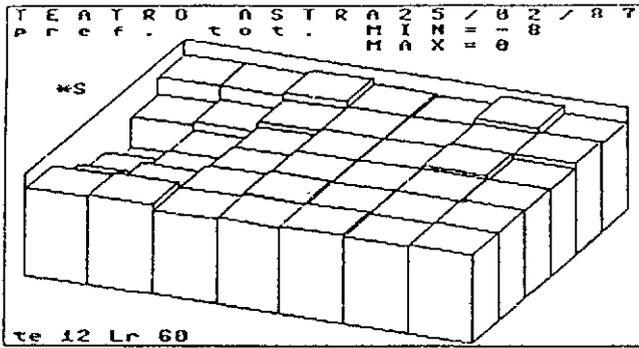


Fig. 7 - Tempi di Riverberazione ottimali.



Figg. 4, 5, 6 - mappe dell' Indice di Preferenza