

UTILIZZO DI EX-CHIESE COME SALE POLIFUNZIONALI:  
LA CHIESA DI S.LUCIA A BOLOGNA.

A.Farina, A.Cocchi.

Istituto di Fisica Tecnica, Facoltà di Ingegneria,  
viale Risorgimento n. 2 - 40136 BOLOGNA.

0. PREMESSA

Accade sovente nelle città italiane che si renda disponibile come contenitore polifunzionale la navata di un edificio religioso sconsacrato. Vista la notevole difficoltà incontrata nell'edificare ex-novo tali complessi, l'impiego di tali spazi é inevitabile.

La presenza di stringenti vincoli architettonici e di protezione dei beni artistici rende tuttavia assai ardua la sistemazione acustica di sale così grandi, che sono generalmente afflitte da eccessivo tempo di riverbero, echi ed insufficiente chiarezza del suono.

A questa situazione non é sfuggita la ex chiesa di S.Lucia, che é stata trasformata in Aula Magna della Università di Bologna in occasione delle celebrazioni del IX centenario dell' università stessa.

Un adeguato impianto di diffusione sonora ha alleviato il problema dell' intellegibilità della parola, tuttavia quando la sala viene impiegata per concerti si manifestano tutti i problemi citati.

E' stata pertanto eseguita una estesa campagna di rilievi sperimentali, per quantificare ed evidenziare i difetti. Si é quindi proceduto ad elaborare una ipotesi di trattamento acustico, che rispetti i vincoli architettonici della sala.

E' stato impiegato un modello numerico basato sul tracciamento casuale di raggi sonori ("ray tracing") per saggiare i benefici ottenibili dal trattamento ipotizzato sia sul tempo di riverbero che sui descrittori numerici della chiarezza del suono.

Il confronto fra le risposte all' impulso sperimentali e quelle ottenute dal modello numerico ha innanzitutto validato il modello stesso, e consente di valutare direttamente il beneficio ottenibile dal trattamento acustico per la soppressione degli echi. Dalle risposte all' impulso sono poi stati calcolati vari descrittori di chiarezza, ed il tempo di riverbero.

## 1. LA EX CHIESA DI S. LUCIA

La chiesa é una cattedrale rinascimentale, dotata di una navata centrale (impiegata come auditorium) e due navate laterali, che comunicano con quella centrale tramite arcate. La copertura é costituita da volte, ma é situata cosí in alto che eventuali focalizzazioni provenienti da essa non possono raggiungere la zona occupata dal pubblico.

Al centro dell' abside, ove si trovava l' altare maggiore, é stata collocata la predella degli oratori, che serve anche come punto di collocazione delle orchestre sinfoniche.

Lungo la navata centrale sono state sospese strutture metalliche a traliccio, che sostengono gli impianti di illuminazione e di diffusione sonora. Nella fig. 1 é riportata una foto che illustra il suo áredo attuale.

## 2. RILIEVI SPERIMENTALI

I rilievi sono stati eseguiti con strumentazione e tecnica elaborativa già descritti [1,2], in 21 punti di misura disposti lungo la navata principale. Dei 5 parametri fisici misurati ( $L_A$ , ITDG,  $A_{eq}$ ,  $T_{riv}$ , IACC) vengono qui presentati i risultati relativi soltanto al tempo di riverbero (fig. 2), al tempo di ritardo ITDG (fig. 3) ed all' ampiezza relativa delle riflessioni ( $A_{eq}$ , fig. 4).

Questi valori risultano del tutto inadatti per un buon ascolto sia della parola che della musica, come puó essere evidenziato inserendo tali dati sperimentali nelle scale di valutazione soggettiva di Ando [3].

## 2. MODELLO NUMERICO TIPO "Ray Tracing"

La tecnica del tracciamento di raggi é stata ampiamente documentata negli ultimi anni [4,5]. L' algoritmo qui impiegato utilizza le consuete relazioni dell' ottica geometrica per calcolare il cammino dei raggi sonori, ma presenta alcune particolarità sia nella sorgente sonora, che é stata resa realmente isotropica mediante funzioni trigonometriche di compensazione applicate ai generatori di numeri casuali per gli angoli di emissione del raggio, sia nel ricevitore.

Nel modello impiegato si é fatto ricorso ad un **ricevitore a densità**, che calcola la densità di energia sonora entro il volume della sfera ricevente, considerando

l' apporto energetico del segmento di raggio intersecante tale volume; ciò ha eliminato le incongruenze fisiche dei modelli "ray tracing" sin qui impiegati.

Per ottenere risultati affidabili anche per il calcolo dei tempi di riverbero, sono state generate risposte allo impulso lunghe 4 s; ciò ha richiesto ben 2000000 di raggi sonori per ciascuna configurazione studiata.

### 3. CONFRONTO FRA PREVISIONI NUMERICHE E RILIEVI SPERIMENTALI

Il modello "ray tracing" é stato anzitutto impiegato per valutare le risposte all' impulso negli stessi 21 punti ove erano state rilevate sperimentalmente: il confronto, riportato in fig. 5, mostra chiaramente che il modello numerico é in grado di prevedere correttamente tempi di ritardo ed ampiezza delle onde riflesse. Per quanto riguarda il tempo di riverbero, esso può venire calcolato dalle risposte all' impulso tramite la integrazione di Schroeder; la corrispondenza con i valori sperimentali si ottiene tuttavia solo assegnando i corretti coefficienti di assorbimento delle varie superfici, cosa che ha richiesto una serie di tentativi.

### 4. IPOTESI DI TRATTAMENTO ACUSTICO

Si é ipotizzato di eseguire un trattamento acustico basato sul limitato impiego di pannelli fonoassorbenti, disposti sulla parete di fondo della sala, puntando soprattutto sul reindirizzamento dei flussi di energia sonora onde ridurre la riverberazione, mediante schermi trasparenti sospesi a strutture metalliche.

Nella fig. 6 é riportato uno schema degli interventi proposti. Nella fig. 7 si può vedere la risposta allo impulso prevista per lo stesso punto già illustrato in precedenza. Si può osservare la scomparsa degli echi, e la presenza viceversa di riflessioni precoci utili.

Nella seguente tabella sono posti a confronto i valori previsti numericamente in questo punto per vari descrittori di chiarezza, calcolati prima e dopo il trattamento.

Parametro	C dB	D	ITDG ms	Aeq	Tbar ms
Prima	-8.65	0.113	31	1.8	302.5
Dopo	-0.99	0.381	14	3.8	185.7

#### 4. CONCLUSIONI

Si può concludere che l' intervento proposto é sicuramente migliorativo, e si propone come esempio per le numerose altre sale italiane che soffrono degli stessi problemi

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] A.Farina, R.Pompoli, "L'acustica del Teatro del Convitto Nazionale Maria Luigia di Parma", INARCOS n. 42, p.418, Bologna (1987).
- [2] A.Cocchi, A.Farina, "Rilevamento sperimentale delle caratteristiche acustiche dei teatri e delle sale da spettacolo", Atti del XVI Convegno AIA, Milano, 28-30 marzo 1988.
- [3] Y.Ando, "Concert Hall Acoustics", Springer-Verlag, Berlino (1985).
- [4] C.Ianniello, L.Maffei, "Tecnica del tracciamento dei raggi sonori al calcolatore: un primo paragone fra parametri calcolati e parametri sperimentali", Atti del XVI Convegno AIA, Milano, 28-30 Marzo 1988.
- [5] A.Krokstad, S.Strom, S.Sorsdal, "Fifteen Years' Experience with Computerized Ray Tracing", Applied Acoustics, vol. 16 (1983) p. 291.

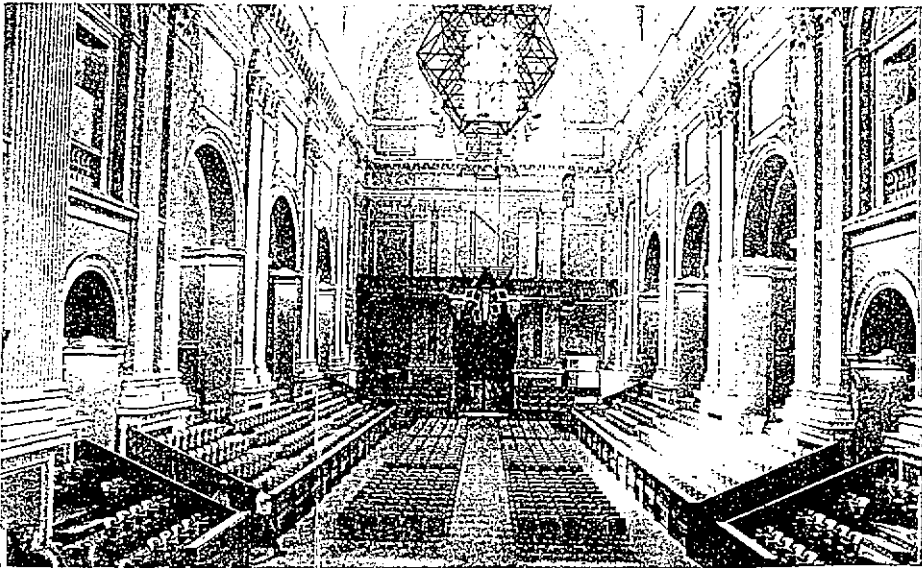


Fig. 1 - Configurazione attuale della sala

# Chiesa di S.Lucia - Bologna

## Rilievi sperimentali

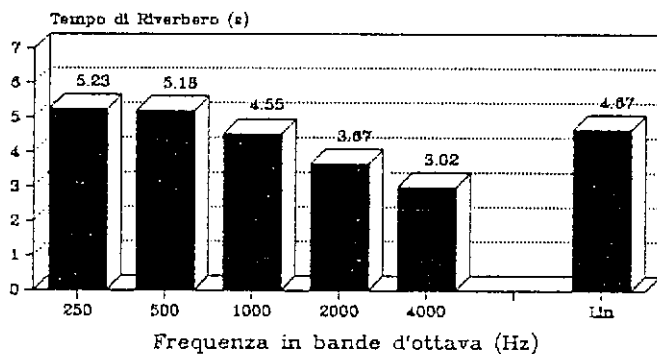


Fig. 2 - Tempi di riverbero attuali.

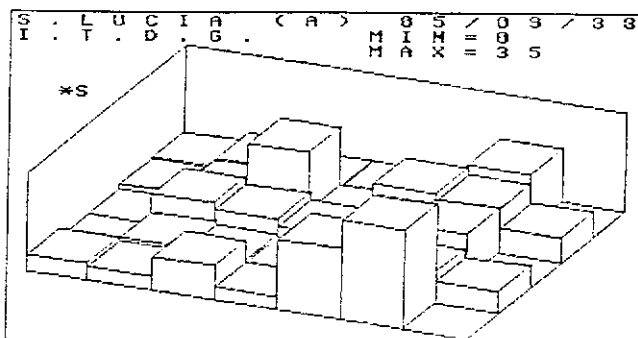


Fig. 3 - Mappa del valore attuale di ITDG.

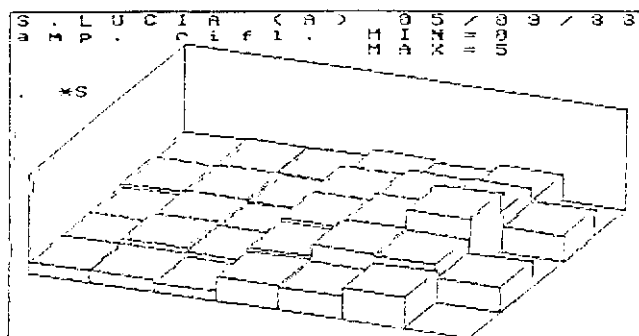


Fig. 4 - Mappa del valore attuale di  $A_{eq}$ .

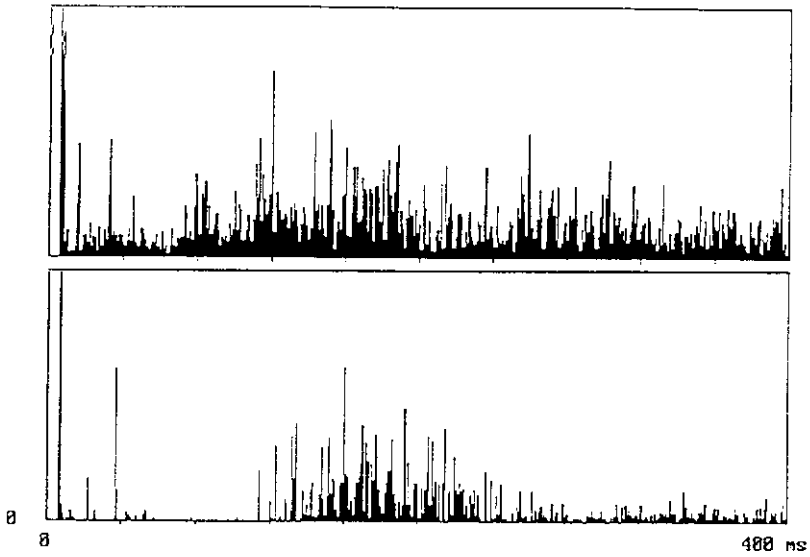


Fig. 5 - Confronto fra risposta all' impulso sperimentale  
previsione numerica.

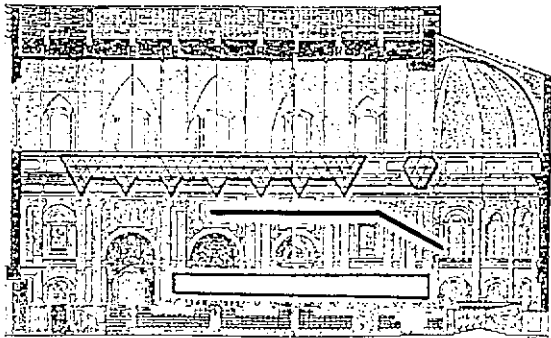


Fig. 6 - Schema degli interventi proposti.

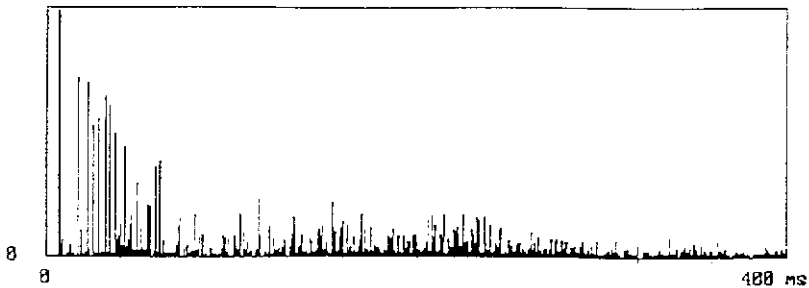


Fig. 7 - Risposta all' impulso prevista dopo l' intervento.