

## **INTERVENTO DI ADEGUAMENTO ACUSTICO DELL'AULA MAGNA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

Lamberto Tronchin, Bruno Longanesi

DIENCA – CIARM, Università di Bologna, Bologna

### **1. Introduzione**

L'Università di Bologna, nel 1988, anno del nono centenario dalla sua fondazione, si è dotata di una nuova Aula Magna. Essa è stata ricavata all'interno della chiesa di Santa Lucia, vero simbolo per Bologna e i suoi abitanti. I nuovi scopi per cui questo ambiente viene usato (cerimonie, convegni e concerti) sono difficilmente confrontabili con quelli per i quali la chiesa fu realizzata e pertanto, dal punto di vista dell'acustica, essa possiede caratteristiche ben diverse da quelle che dovrebbe essere presenti in un teatro o una sala per concerti.

Realizzata nel 1600, la forma attuale risale al 1843. Essa è composta da una navata principale e da due laterali che ne caratterizzano lo spazio solenne, ampio e molto alto per un totale di circa 30000 m<sup>3</sup>. Le pareti sono interamente intonacate e presentano consistenti decori stuccati nella fascia centrale ad un'altezza di circa 10-15 m dal pavimento in cotto. Per poter raggiungere una capienza di circa 1000 posti a sedere sono state costruite alcune tribune in legno disposte ai lati della navata centrale e nell'abside e una platea, entrambe dotate di poltroncine poco imbottite.

Queste caratteristiche determinano le pessime condizioni acustiche dell'Aula che da sempre rappresenta un problema per i suoi fruitori. Nonostante questo, non è mai stata realizzata alcuna soluzione progettuale, pur essendo state formulate diverse proposte durante gli ultimi 20 anni, e recentemente anche da uno degli Autori (1,2).

### **2. Rilievo e caratteristiche acustiche dell'Aula Magna**

Allo scopo di poter svolgere una appropriata progettazione acustica della sala, è necessario condurre una appropriata campagna di misurazioni acustiche (3-9) che deve essere compiuta con adeguata tecnologia e strumentazione (10-11). Pertanto, all'interno della chiesa di Santa Lucia, prima di intraprendere lo studio di progettazione acustica è stato effettuato un rilievo acustico dell'Aula Magna, effettuato con tecnica sine-sweep (10-11). Nel corso delle misurazioni acustiche sono stati utilizzati un microfono SoundField MKV e una testa artificiale Neumann, collegati ad una scheda audio a 20 bit e 96 kHz di campionamento (Layla, Echo). Come di

consueto, è stato inoltre impiegato un altoparlante omnidirezionale preequalizzato in frequenza (Look Line). Le misurazioni hanno potuto evidenziare le analogie della distribuzione del campo acustico riscontrata nel corso delle ultime misurazioni, e confrontate con le analoghe misure svolte da uno degli Autori nel 1994 e 1999.



Figura 1 – Vista dall'abside dell'Aula Magna

Come in numerose altri casi di rilievi sperimentali, a partire dalle risposte all'impulso misurate in 24 diverse posizioni, sono stati calcolati i vari parametri monoaurali, binaurali e spaziali descrittivi del campo acustico.

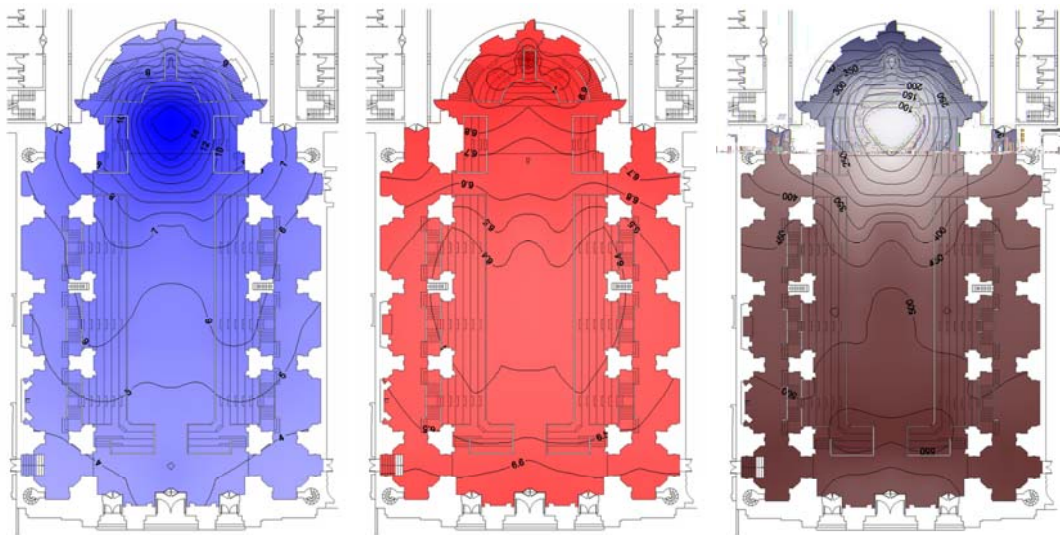


Figura 2 – Andamento degli indici  $G$ ,  $T_{20}$  e  $CT$

Oltre alle posizioni di misura ricordate, sono stati aggiunte tre ulteriori posizioni di rilievo per effettuare la taratura della distribuzione del livello sonoro (strength) a partire dalle risposte all'impulso. Inoltre, allo scopo di confrontare i valori ottenuti durante il *post-processing* dei dati, sono stati misurati i livelli di pressione sonora con un fonometro tipo BK 2250.

Nella figura 2 sono state riportate alcune mappe di distribuzione spaziale di alcuni parametri acustici misurati, particolarmente significativi per i valori ottenuti. In particolare, sono riportati gli andamenti nello spazio della *strength*, del *tempo di riverberazione*  $T_{20}$  e del *Tempo Baricentrico*.

L'analisi puntuale e complessiva dei risultati, confrontati con i valori suggeriti per *auditoria* o sale per conferenze di analoghe dimensioni, ha consentito di trarre alcune conclusioni basilari.

- necessità di ridurre il tempo di riverberazione e il tempo baricentrico, attualmente su valori rispettivamente di  $6.5 \div 7$  s e  $400 \div 500$  ms rispettivamente con l'introduzione di notevole superficie fonoassorbente;
- necessità di un miglioramento dell'uniformità del campo acustico, soprattutto di un potenziamento della pressione acustica nel fondo della sala, ottenibile con l'introduzione di superfici fonoriflettenti.

Poiché le due esigenze apparivano ovviamente contrastanti tra di loro, è emerso immediatamente l'esigenza di svolgere uno studio accurato sul dimensionamento e collocazione soprattutto dei pannelli riflettenti, allo scopo di non interagire con l'introduzione delle superfici fonoassorbenti, che inoltre dovevano fornire il minimo impatto architettonico all'interno della sala.

Lo studio è stato effettuato con l'ausilio del software di simulazione acustica Ramsete. Ciò ha consentito, nella fase finale di auralizzazione, il calcolo delle risposte all'impulso binaurali, che sono state determinate secondo la procedura di interpolazione delle HRTFs misurate presso il MIT (12). È stato dunque creato un modello 3D che è stato successivamente tarato in base al rilievo in modo che corrispondesse il più possibile all'ambiente reale e che potesse dunque essere utilizzato per studiare delle configurazioni di progetto confrontando i risultati con i valori attuali.

### 3. Progettazione acustica

La progettazione acustica è stata svolta considerando due configurazioni della sala:

- configurazione *sala da concerto*: vista la diversità di sorgenti che la sala può ospitare (un coro, un'orchestra, un'orchestra da camera, un concertista al pianoforte...), le simulazioni sono state effettuate con una sorgente omnidirezionale, la stessa usata per la taratura del modello.
- configurazione *sala conferenze*: è stata inserita una sorgente sonora che per spettro, potenza e direttività riproduce la voce di un oratore e le sorgenti che riproducono il già esistente impianto di amplificazione.

#### 3.1 Riduzione del tempo di riverberazione

Per ottenere una sensibile diminuzione del tempo di riverberazione si sono adottati diversi accorgimenti:

1. Sostituzione di parte dell'intonaco preesistente con intonaco fonoassorbente. Considerata la ridotta resistenza meccanica dell'intonaco acustico, esso è stato collocato in posizione sufficientemente protetta.
2. Introduzione di moquette anche nei passaggi laterali della platea. Essa consente di annullare il rumore da calpestio propagato nella sala stessa, oltre a ridurre il campo riverberante.
3. Introduzione di tendaggi pesanti per chiudere le cappelle laterali durante conferenze ed esecuzioni musicali; esse infatti, anche durante precedenti misurazioni, sono risultate responsabili della focalizzazione del campo acustico anche nella sala principale.

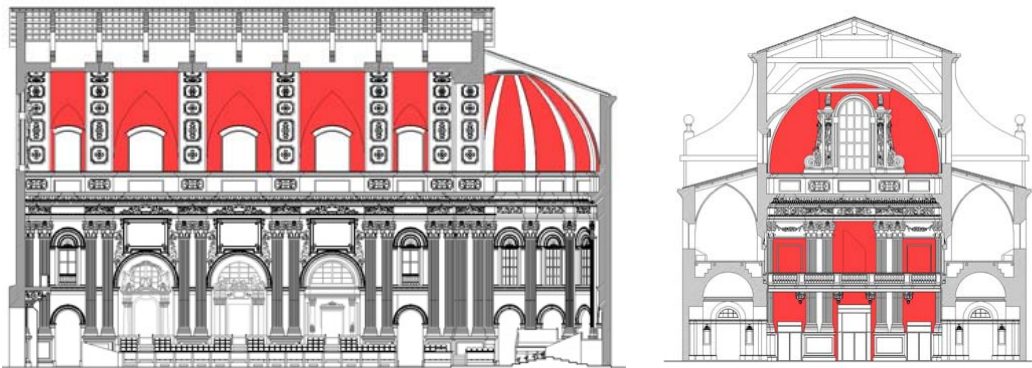


Figura 3 – Aree interessate dall'introduzione dell'intonaco acustico

### 3.2 Miglioramento dell'intelligibilità

Gli interventi sopra descritti, relativamente alla configurazione “sala conferenze”, hanno effetti contrastanti: Se da un lato rendono migliore l'indice di trasmissione del parlato, dall'altro lato l'aumento della superficie fonoassorbente causa una prevedibile diminuzione della strength, rendendo necessario l'utilizzo di apparecchi elettroacustici.



Figura 4 – Rendering della situazione di progetto

### 3.3 Miglioramento dell'uniformità del campo acustico

Relativamente alla configurazione “sala conferenze”, l'utilizzo dell'impianto elettroacustico rappresenta senza dubbio un fattore determinante: la scelta di diffusori acustici particolarmente direttivi consente una buona distribuzione della strength fino ai ricevitori più lontani, che possono quindi essere raggiunti da un segnale sufficientemente chiaro e potente.

Nella configurazione “sala da concerto”, durante la quale il sistema di diffusione elettroacustico non viene utilizzato, è necessario disporre di pannelli acustici fonoriflettenti sospesi ad un'altezza variabile tra i 7 e i 12 m, sostenuti da cavi d'acciaio ancorati alle capriate che sostengono la copertura, attraverso dei fori già presenti negli arconi della volta, che consentono di diminuire i valori dell'ITDG in gran parte della sala.

## 4 Risultati

### 4.1 Sala da concerto

L'applicazione di superfici fonoassorbenti consente una diminuzione del tempo di riverberazione di circa 0.3 s soltanto, con un peggioramento complessivo a distanze considerevoli dalla sorgente sonora. L'introduzione dei pannelli riflettenti consente un leggero miglioramento della riverberazione, che si attesta su intervalli variabili da 4,7 a 5,3 s; La disposizione dei pannelli consente tuttavia un rinforzo del campo acustico nelle ultime posizioni della platea di circa 0.5 dB.

In questa configurazione, pertanto, non sono presenti sostanziali miglioramenti del campo acustico.

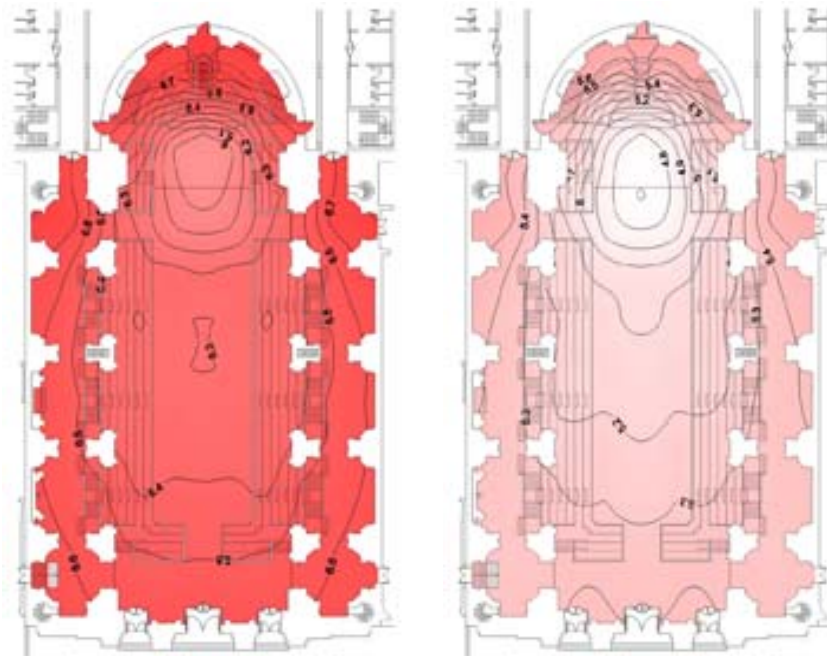


Figura 5 – Andamento di  $T_{20}$  con le sole superfici assorbenti e con i pannelli



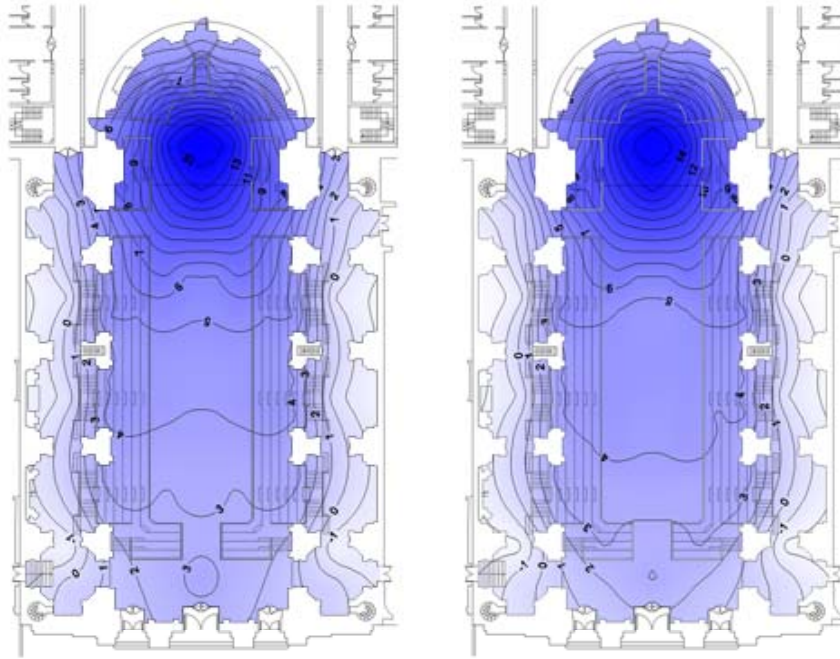


Figura 6 – Andamento di  $G$  con le sole superfici assorbenti e con i pannelli

#### 4.2 Sala per conferenze

Nella configurazione “sala da conferenze” l’intervento acustico consente un rimarchevole miglioramento complessivo dell’acustica. Il tempo di riverberazione scende a valori prossimi a 2.5 secondi, e conseguentemente l’indice di intelligibilità STI sale a valori prossimi a 0.5, qualora sia anche utilizzato propriamente l’impianto di diffusione sonora esistente.

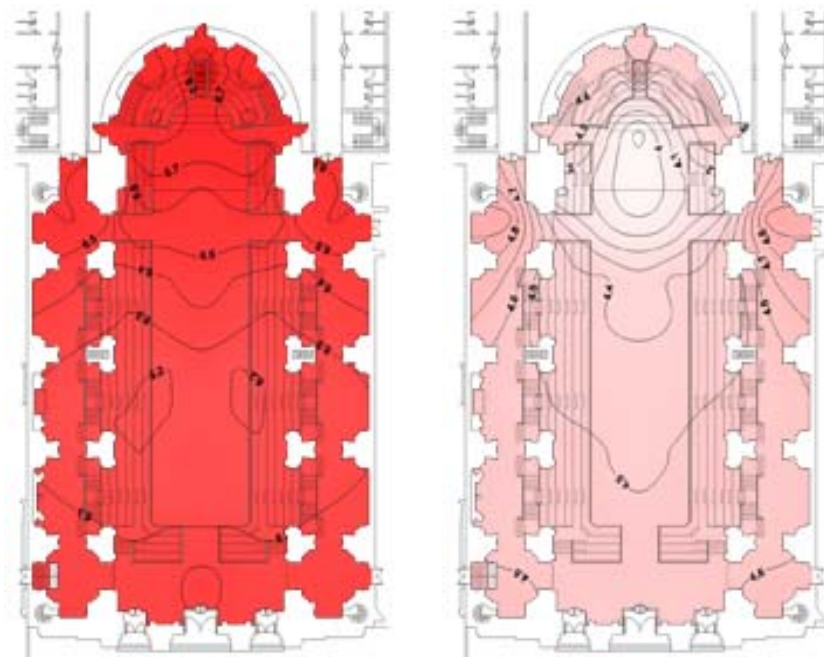


Figura 7 – Andamento di  $T_{20}$  allo stato di fatto e con pannelli e diffusori

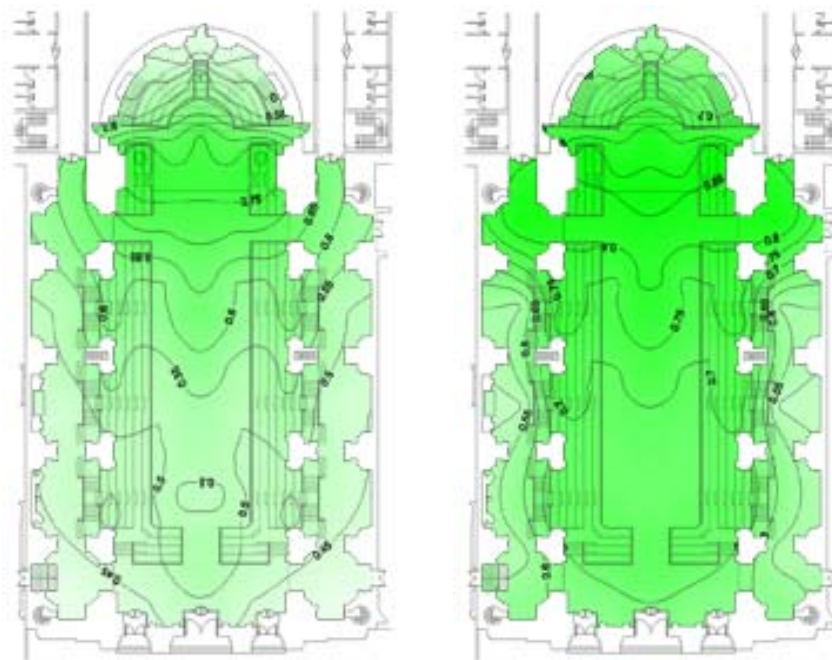


Figura 8 – Andamento di  $T_{20}$  allo stato di fatto e con pannelli e diffusori

## 5 Conclusioni

I risultati provenienti dallo studio acustico nelle due configurazioni studiate possono pertanto essere riassunti nei punti seguenti:

- In relazione alla configurazione per conferenze, l'impianto di amplificazione già presente nella sala può consentire un buon andamento dell'intelligibilità della parola nella sala, purché ad esso sia affiancato un intervento fonoassorbente. Al termine delle simulazioni è stato proposto l'impiego di intonaco fonoassorbente in numerose parti della sala. Tale scelta consente un intervento acustico poco invasivo, che rispetta quindi la peculiare disposizione architettonica della sala.
- Nella configurazione a concerto, poiché l'impianto elettroacustico non viene utilizzato, diventa consigliabile l'utilizzo di pannelli fonoriflettenti progettati opportunamente nella forma e disposti ad altezza variabile nella sala, e costituiti di materiale visivamente trasparente, in modo da limitare l'inevitabile impatto architettonico nella navata della chiesa. La corretta disposizione dei pannelli consente di raggiungere con riflessioni precoci anche le aree della platea più sofferenti acusticamente.

I pannelli acustici riflettenti consentono un ulteriore ausilio nella configurazione "per conferenze", accentuando così la marcata direttività dei diffusori acustici che compongono l'impianto di amplificazione.

Sebbene l'intervento proposto non possa essere considerato pienamente risolutivo della situazione acustica, esso consente tuttavia un ascolto accettabile, specie in relazione ai notevoli vincoli architettonici imposti all'interno della sala, che vietano l'utilizzo di soluzioni invasive. Ulteriori soluzioni sono comunque previste, mirate alla progettazione di singoli pannelli acustici diffondenti, a collocazione variabile, che possono consentire notevoli miglioramenti complessivi soprattutto per le focalizzazioni presenti nelle cappelle laterali e nell'abside. Tali pannelli, già previsti in

analoghi progetti acustici in auditoria e teatri italiani (6,8,13), consentono ottimi risultati con impatti architettonici assai limitati.

## 6 Bibliografia

- [1] Farina A., Cocchi A., “Utilizzo di ex-chiese come sale polifunzionali: la chiesa di S.Lucia a Bologna”, Proc. XVIII Convegno Nazionale AIA, L'Aquila, Italy, 1990.
- [2] Cocchi A., Garai M., Tronchin L., “Effectiveness of different computer codes to assist the acoustic correction of a large multipurpose hall” Proc. of Euro-Noise, Lyon, France, 1995.
- [3] Farolfi G., Tronchin L., “Caratterizzazione acustica della Basilica di S. Lorenzo in Firenze in occasione di un concerto di Riccardo Muti”, Proc. XXIII Convegno Nazionale AIA Bologna, Italy, 1995.
- [4] Cocchi A., Farina A., Garai M., Tronchin L.,: “Computer assisted methods and acoustic quality: recent application cases”, in Music and Concert Hall proceedings, edited by Y. Ando and D. Noson, Academic Press, London, 1996
- [5] Tronchin L., Farolfi G.,: “Progetto acustico mediante rilievi sperimentali e simulazioni al computer: Il Teatro Comunale di Gradisca d’Isonzo, Rivista Italiana di Acustica, **20**, n.1-2, 1996, pp. 17-27
- [6] Tronchin L., Guidotti G., Tarabusi V., “Correzione acustica delle focalizzazioni mediante progettazione di pannelli diffondenti” Proc. of XXVIII Convegno Nazionale AIA Trani (BA), Italy, 2000
- [7] Tronchin L., “La progettazione acustica e le applicazioni virtuali e multimediali: l'auditorium del Conservatorio di Parma” Proc. of XXVIII Convegno Nazionale AIA Trani (BA), Italy, 2000
- [8] Tronchin L., “Acoustical design of diffusing panels in the Theatre Vittorio Emanuele, Messina, Italy”, Proc. of RADS, Room Acoustics: Design and Science, Awaji, Japan, 2004
- [9] Tronchin L., Farolfi G., Macuzzi A., Tarabusi V., “The acoustical design of the Auditorium of Firenzuola (Florence), Italy”, Proc. of RADS, Room Acoustics: Design and Science, Awaji, Japan, 2004
- [10] Farina A., Tronchin L., Measurement and reproduction of spatial sound characteristics of auditoria, *Acoustical Science and Technology*, **26**(2), pp 193-199, 2005
- [11] Farina A., Tronchin L., “Misurazioni acustiche nei teatri e nelle sale”, *Acustica musicale ed architettonica*, Cap. 19, pp. 783-825, UTET, Torino, 2005
- [12] Tronchin L., Farina A., Pontillo M., Tarabusi V., “The calculation of the impulse response in the binaural technique”, Proc. of 7th International Congress on Sound and Vibration (ICSV), Garmisch, Germany, 2000
- [13] Tronchin L., “The design of acoustical enhancements and diffusion in the opera house of Treviso, Italy” Proc of 6th International Conference on Auditorium Acoustics, IOA, Copenhagen, Denmark, 2006