

ANALISI DELLA RISPOSTA ACUSTICA DEL CATTEDRALE DI SANTA MARIA DEL FIORE DI FIRENZE

Simone Secchi (1), Veronica Amodeo (2), Samuele Caciagli (3), Lucia Magnini (4), Luigi Vessella (5)

- 1) Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, simone.secchi@unifi.it
 2) Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, veronica.amodeo@unifi.it
 3) Opera di Santa Maria del Fiore, Firenze, s.caciagli@duomo.firenze.it
 4) Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, lucia.magnini@unifi.it
 5) Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, luigi.vessella@unifi.it

SOMMARIO

La memoria presenta i risultati di alcune misure di risposta impulsiva e di Speech Transmission Index eseguite nella cattedrale di Santa Maria del Fiore di Firenze. Le misure, che erano funzionali a tarare una successiva campagna di rilievi più accurati, hanno messo in evidenza valori del tempo di riverberazione estremamente alti e valori dello Speech Transmission Index corrispondentemente molto bassi, tali da rendere il caso studio particolarmente interessante per successivi approfondimenti.

1. Introduzione

Le grandi cattedrali sono spesso caratterizzate da problematiche acustiche dovute alle loro geometrie complesse, con volumi elevati e materiali di finitura riflettenti (pietre, marmi, intonaci, legno), che le rendono spazi altamente riverberanti.

I tempi di riverbero riscontrati in letteratura sono molto variabili, dipendendo dalla geometria e dai materiali usati per strutture e finiture, ma in molti casi si superano i 10 secondi, rendendo la comprensione del parlato e la percezione della musica molto difficoltose.

Inoltre, nei secoli le architetture delle chiese sono cambiate, comportando modifiche ai tempi di riverbero che a loro volta hanno influenzato la tradizione musicale dei riti [1].

In cattedrali con volumi importanti e tempi di riverbero elevati è possibile riscontrare una condizione acustica adatta all'ascolto di musica d'organo o corali o canti gregoriani, ma allo stesso tempo una chiarezza (C_{80} e C_{50}) scarsa per la musica corale, da camera, sinfonica classica e per la comprensione della parola [2]. L'uso di volte e cupole favoriscono la riverberazione e fenomeni di focalizzazione sonora. Le cupole sopra l'incrocio delle navate, tipiche delle chiese a pianta a croce latina, possono risultare critiche per le prime riflessioni utili [3]. Alcuni studi hanno inoltre messo in luce il fenomeno dell'accoppiamento acustico tra volumi nelle grandi chiese, dove il decadimento sonoro non è lineare per lo scambio energetico tra i sottospazi [4].

Attualmente, la funzione religiosa nelle chiese cristiane consiste prevalentemente in un rito svolto da un sacerdote che restituisce all'assemblea dei fedeli un messaggio parlato in parte composto da sequenze recitate alle quali i fedeli rispondono all'unisono [5]. Per questo, la comprensione del parlato è importante e diventa particolarmente critica quando il tempo di riverberazione eccede 4-5 secondi come succede spesso nelle cattedrali con grandi dimensioni.

Il presente studio riporta i risultati di alcune misure preliminari eseguite nella cattedrale di Santa Maria del Fiore di Firenze.

Il Duomo di Firenze è uno degli spazi ecclesiastici più estesi al mondo, con una superficie interna di circa 8.300 m². Edificata a partire dal 1296 sull'area dell'antica cattedrale di Santa Reparata e completata nel 1436 con la realizzazione della cupola di Filippo Brunelleschi, la cattedrale ha mantenuto nel tempo una destinazione prevalentemente liturgica, pur adattandosi a configurazioni differenti in relazione alle esigenze celebrative e civili. Le funzioni religiose ordinarie si svolgono quotidianamente con più celebrazioni distribuite nell'arco della giornata, mentre nei

giorni festivi e nelle solennità lo spazio viene riorganizzato, alternando l'uso delle absidi del triconco alla navata centrale con il coro.

La cattedrale di Firenze è stata oggetto di varie campagne di rilevazioni, tra cui quella eseguita nel 1997 da Licitra, Mercanti e Ferrari [6]. La campagna di misurazioni di cui sono riportati i risultati sintetici nel presente articolo è propedeutica a misure più approfondite ed è funzionale a definire la strumentazione e la metodologia di indagine più corrette per il caso di studio in esame. Infatti, l'eccezionale lunghezza del tempo di riverberazione e l'importanza di estendere l'analisi alle basse frequenze impongono l'uso di strumentazione e metodologie non usuali.

2. Metodologia

Le misure oggetto del presente articolo sono state eseguite in via preliminare per avere una descrizione del comportamento acustico della chiesa nei vari suoi sottospazi e tarare la strumentazione per successive analisi più approfondite.

In data 27 maggio 2025 sono state effettuate misurazioni di risposta impulsiva nella chiesa durante l'orario di chiusura della stessa (dopo le 21.00), quindi con i soli tecnici rilevatori presenti (7 persone). La risposta acustica della cattedrale è stata valutata tramite la misura delle risposte impulsive in numerosi punti, generate con una sorgente impulsiva (il clappatore) e acquisita tramite registratore digitale bicanale.

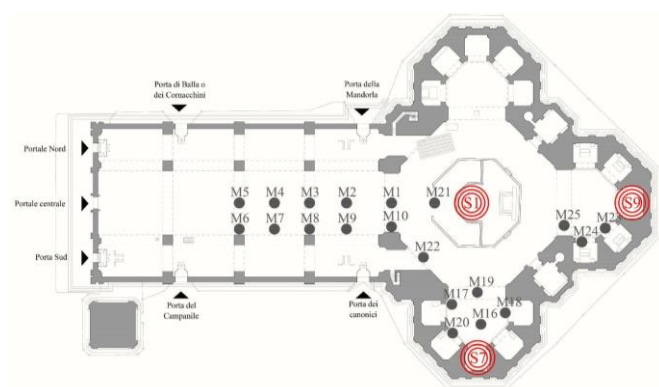


Figura 1 – Punti di misura (M) della risposta impulsiva e posizioni delle sorgenti (S) all'interno della cattedrale.

Le risposte impulsive, registrate con il registratore digitale bicanale Zoom H1 alla frequenza di campionamento di 48.000

Hz, sono state successivamente elaborate con il plugin Aurora per Audacity® ottenendo i valori in funzione della frequenza dei seguenti parametri acustici:

- Tempo di riverberazione T_{user} (calcolato tra -10 e -20 dB)
- Tempo di riverberazione T_{20}
- Tempo di primo decadimento EDT
- Chiarezza C_{50} .

Le misure sono state eseguite in 27 postazioni su due canali (54 registrazioni), distribuite nelle varie parti della chiesa (navata centrale con sorgente nell'altare maggiore sotto la cupola; navata centrale con sorgente in varie posizioni distribuite nella navata stessa; tribuna della Santissima Concezione, con sorgente nell'altare della tribuna; sotto la cupola, con sorgente sotto la cupola; tribuna San Zanobi con sorgente sull'altare).

Oltre alle misure di risposta impulsiva e delle relative grandezze derivate, sono state eseguite delle misure dirette dello Speech Transmission Index (STI) tramite l'utilizzo di una talk box e un fonometro integratore Classe 1 Bedrock SM90.

Tale verifica è stata effettuata lungo l'asse centrale della chiesa, nella navata centrale, utilizzando una Talk Box posizionata sull'altare maggiore nelle posizioni indicate nella figura che segue con livello di emissione impostato in modo da ottenere un livello di pressione sonora pari a 70 dB a 1 metro di fronte alla sorgente (sforzo vocale elevato dell'oratore).

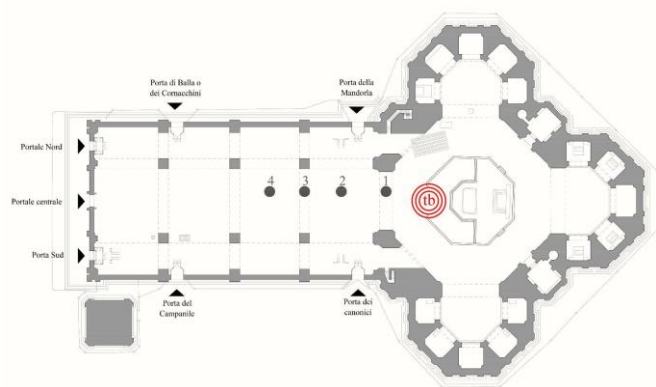


Figura 2 – Posizioni di misura (da 1 a 4) e posizione della talk box (tb) per la verifica dello STI.

3. Risultati delle misure preliminari

I grafici di Figure 3 e 4 mostrano i risultati del tempo di riverberazione (T_{user}) e della chiarezza (C_{50}) come valore medio nelle diverse postazioni di misura.

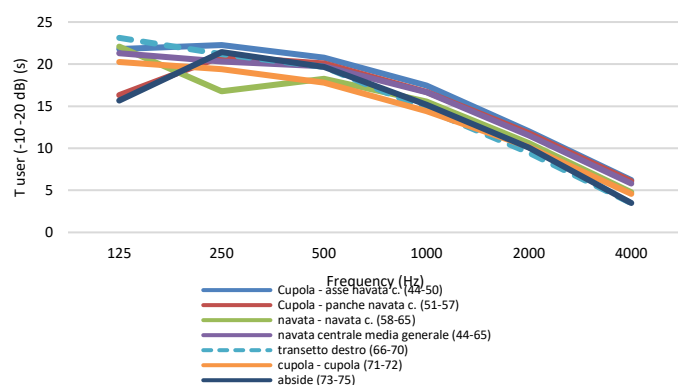


Figura 3 – Valore del tempo di riverberazione nelle diverse postazioni della chiesa.

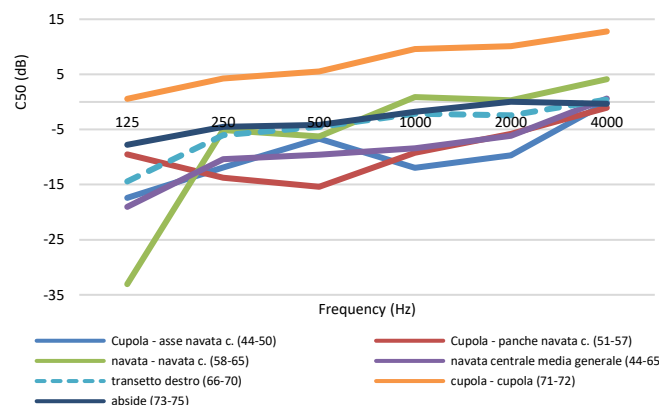


Figura 4 – Valore della chiarezza nelle diverse postazioni della chiesa.

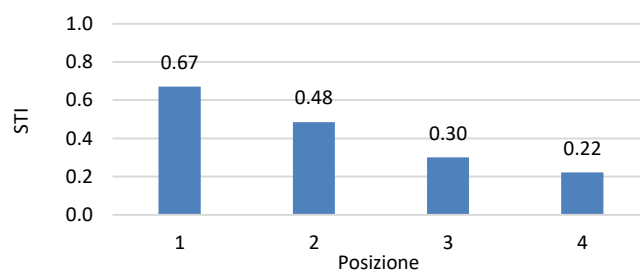


Figura 5 – Valore dello STI nei punti di misura di Figura 2.

4. Conclusioni

I risultati delle misure evidenziano un valore del tempo di riverberazione eccezionalmente lungo, a media e bassa frequenza.

Le misure sono state utili per tarare ed organizzare al meglio la successiva campagna di misurazioni che richiederà la registrazione del segnale impulsivo per un tempo sufficientemente lungo da consentire la corretta valutazione dei parametri acustici e l'uso di strumentazione particolarmente efficiente a bassa frequenza del suono. Infatti, le normali tecniche di misurazione della risposta impulsiva tagliano troppo presto la registrazione e non sono pertanto adatte a valutare casistiche come quella qui descritta.

5. Ringraziamenti

Si ringrazia l'Opera di Santa Maria del Fiore per avere reso possibile l'esecuzione di questa campagna di misurazioni e la studentessa di architettura Martina Bui per la partecipazione alle misure.

6. Bibliografia

- [1] Navarro J., Sendra J. J., Muñoz S., The Western Latin church as a place for music and preaching: An acoustic assessment, *Applied Acoustics*, 70 (2009), pp. 781-789
- [2] Álvarez-Morales L., Girón S., Galindo M., Zamarreño T., Acoustic environment of Andalusian cathedrals, *Building and Environment*, 103 (2016), pp. 182-192
- [3] Martellotta F., Morales L.A., Virtual acoustic reconstruction of the church of Gesù in Rome: a comparison between different design options, in proceedings of Forum Acusticum 2014, Krakow
- [4] Martellotta F., Understanding the acoustics of Papal Basilicas in Rome by means of a coupled-volumes approach, *Journal of Sound and Vibration*, 382 (2016), pp. 413-427
- [5] Domenighini P., Belloni E., Buratti C., Experimental subjective and objective analysis of speech intelligibility and acoustic comfort conditions in an unchanged XVII century Italian church, *Applied Acoustics*, 205 (2023)
- [6] Licitra G., Mercanti A., Ferrari F., Analisi dell'acustica del duomo di Firenze, in *Atti del 25° Convegno Nazionale AIA*, Perugia, 21-23 maggio 1997, pp. 39-52

Il grafico di Figura 5 illustra invece i valori di STI rilevati nei punti di misura evidenziati in Figura 2.