

S TUDIO ACUSTICO DEL SANTUARIO DI ALTAVILLA MILICIA (PALERMO)

A N ACOUSTICAL SURVEY ABOUT THE SANCTUARY OF ALTAVILLA MILICIA (PALERMO)

Salvatore Barbaro, Rosario Caracausi, Rosa Maria Chisesi

Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali
Università degli Studi di Palermo

Gaetano Cognata

Libero professionista

Genualdi Giuseppe

Libero professionista

Salvatore Lorusso

Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali
Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna)

Angela Mazzè

Dipartimento di Progetto e Costruzioni Edilizie
Università degli Studi di Palermo

Daniele Milone

Università degli Studi di Palermo

1. Introduzione

Le Chiese rappresentano un vanto dell'architettura passata e presente, concepite per catturare l'animo e arricchite con capolavori d'arte di straordinaria importanza e bellezza, **ma... l'acustica?** I grandi "spazi riverberanti", come le chiese, sono implacabili nemici della comprensione della parola. In molte chiese contemporanee edificate per essere luogo di ascolto della Parola, si verificano condizioni acustiche che sottopongono i fedeli a notevole sforzo di attenzione; per rimediare oggi si adottano costosi e moderni sistemi di amplificazione che a volte peggiorano la situazione (in certi casi infatti è impossibile la "correzione acustica" con tali metodi).

Nel passato, in alcune Cattedrali, i progettisti, avvalendosi di geniale intuizione ed esperienza, introdussero delle nicchie che agendo come veri e propri risonatori di Helmholtz attenuavano le frequenze di disturbo.

In altre i percorsi geometrici del suono sono attentamente studiati e in molte gli amboni sono dotati di grandi orecchie che focalizzano l'energia acustica verso i fedeli. Studi recenti hanno dimostrato l'efficienza di questi dispositivi, indispensabili in epoche ove l'elettroacustica neppure rientrava nel dominio del futuribile.

I primi a porsi problemi di acustica furono certamente i Greci, è notorio che essi escogitarono dei semplici sistemi costruttivi che resero famoso il teatro di Epidauro (IV secolo a.C.). Infatti in tale Teatro con capienza di 8000 posti era possibile udire, senza difficoltà, all'ultimo ordine di file, il rumore di un pezzo di carta strappato sul palcoscenico.

Gli architetti già nel '600 disponevano di magnifici trattati che mostravano una conoscenza delle leggi geometriche di riflessione del suono non troppo diversa da quella dei giorni nostri.

Nella seconda metà dell'800, grazie all'apporto dei matematici francesi del secolo precedente e al progredire delle scienze fisiche, l'acustica fa passi da gigante, non così l'Acustica Architettonica.

Tuttavia per il progettista vi era un solo mezzo che consentiva una predizione veramente accurata dell'acustica all'interno della chiesa: **il modello**.

Nella seconda metà del '900 Leo Beranek riscrive l'intera Acustica Architettonica e proclama, per la prima volta nella storia dell'architettura, che è possibile progettare un sito di grande qualità sonora servendosi unicamente di principi fisici tradotti in formule matematiche [1].

Certamente questo fu un passo da gigante ma, ancor oggi, bisogna dire che non è possibile definire "esattamente" con un descrittore fisico-matematico la qualità "acustica" di un ambiente; in certi casi è però possibile ascoltarlo prima di posare la prima pietra: il merito va ascritto all'invenzione dei calcolatori elettronici.

Per i nostri antenati che non disponevano di nessun sistema informatico, la chiarezza dell'ascolto era tuttavia un requisito fondamentale all'interno delle chiese perché da esso si poteva verificare la percezione della comunità e si potevano compiere "dignitosamente" gli uffici divini.

Volendo affrontare "tecnicamente" nel nostro caso lo studio acustico delle chiese, è interessante citare la definizione del termine stesso riportata dal Codice di Diritto Canonico [2]. Al riguardo, per la specificità dello spazio ecclesiale al Capitolo 1° canone 1214 si significa: «*Col nome di chiesa si intende un edificio sacro destinato al culto divino, ove i fedeli abbiano il diritto di entrare per esercitare soprattutto pubblicamente tale culto*».

Questo "**diritto**" viene esercitato ed espresso con la partecipazione attiva resa evi-

dente oltre che da una predisposizione profonda e generale dell'intimità di ogni persona, da azioni che sottolineano la comunionalità dell'assemblea attraverso l'ascolto e la risposta alle acclamazioni liturgiche con la parola e con il canto. La chiarezza dell'ascolto diviene pertanto un requisito fondamentale da soddisfare perché possa verificarsi all'interno dell'assemblea questo rapporto interpersonale ed escatologico.

Non casualmente nell'istruzione per l'esatta applicazione della Costituzione nella Sacra Liturgia (Inter Oecumenici 1964) si chiede: *«di provvedere, anche con l'aiuto dei moderni mezzi tecnici, che i fedeli possano non solo vedere, ma anche udire senza difficoltà il celebrante e i ministri»*.

Tutto ciò mette in evidenza quegli aspetti da perseguire perché la **“buona acustica delle chiese”** non sia un problema tecnico secondario a quello architettonico, ma di fondamentale importanza per la qualità della chiesa che rafforzi la comunione e consenta la partecipazione attiva di tutti i fedeli [3].

Un aspetto “tecnico” molto importante per l'ascolto nelle chiese è legato al livello sonoro nei vari punti dell'aula.

Per non sottoporre i fedeli ad uno sforzo di attenzione eccessivo, un livello minimo di 65 dB(A)¹ è necessario per assicurare una buona intelligibilità della parola.

Per aumentare il livello sonoro nelle Chiese si usa adoperare il “rinforzo” del suono diretto mediante opportuni riflettori che consentono di sfruttare i principi della riverberazione direzionale. Il ritardo del suono riflesso deve essere contenuto entro i limiti di una trentina di millisecondi.

Se la chiesa è molto grande, è necessario ricorrere ad un sistema elettroacustico di amplificazione del suono. Poiché all'aumentare del volume della chiesa, per mantenere sufficiente il livello sonoro occorre diminuire le unità assorbenti, fino ad un valore tale da non compromettere l'intelligibilità, ne consegue che esiste un volume della chiesa oltre il quale non è più possibile assicurare un livello sonoro soddisfacente senza un deterioramento della qualità dell'ascolto. Allora esiste un volume “limite” dell'ambiente oltre il quale, per assicurare un livello sonoro soddisfacente, è necessario ricorrere ad un impianto di amplificazione. Naturalmente il valore di questo “limite” dipende anche dalla potenza sonora erogata dalla sorgente e quindi dalla natura della sorgente stessa (celebrante, oratore, coro, musica d'organo, solisti, etc.).

Il presente studio vuole utilizzare la scienza e la tecnica oggi nota, a servizio della Liturgia e dell'architettura sacra ed indagare a 360° su alcuni aspetti acustici generali che si incontrano all'interno dei luoghi confinati delle aule liturgiche, non trascurando gli importantissimi aspetti storico-architettonici relativi alla metamorfosi della “tipologia” ed il

suo adeguarsi alle esigenze liturgiche, e nello specifico su una interessante simulazione di diffusione sonora all'interno del Santuario di Altavilla Milicia, definito da S.E.R.^{ma} cardinale S. De Giorgi «... **il primo e più insigne luogo di culto mariano della Chiesa palermitana**».

Tale simulazione acustica è stata redatta dopo aver rilevato, così come previsto dalla norma UNI EN ISO 3382\1997 (Misurazioni del Tempo di Riverberazione di ambienti chiusi, con riferimento ad altri parametri acustici) [4] gli aspetti acustici "propri" dell'aula ecclesiale:

- 1) legati alla permanenza del suono e alla riverberazione;
- 2) legati alla chiarezza percepita (relativa al parlato, alla musica, alla definizione al tempo baricentrico medio);
- 3) legati al sostegno fornito dalla sala alla sorgente sonora;
- 4) legati alla spazialità del campo sonoro.

Tutto ciò ha permesso di eseguire un confronto tra il reale ed il virtuale.

Successivamente è stata realizzata una simulazione di diffusione acustica con un software dedicato.

2. Premessa allo studio acustico delle chiese

È noto che nell'aria libera il suono si propaga secondo "onde sferiche" in maniera analoga ai cerchi concentrici che si formano lanciando un sasso in un laghetto. Per analizzare meglio la problematica dell'acustica dei grandi ambienti, ed in particolare delle chiese, risulta utile tuttavia riferirsi al metodo semplificativo dell'acustica geometrica. Tale metodo si basa sull'astrazione che il suono emesso da una fonte di emissione si propa-ghi nell'ambiente secondo linee rette (raggi) provenienti dalla sorgente e non secondo onde concentriche. Quando un raggio sonoro incontra un ostacolo, viene in parte riflesso in maniera speculare, ed in parte assorbito. La capacità di assorbimento varia a seconda dei materiali e della frequenza del suono: in generale un materiale più è liscio e lapideo, più riflette [1-10].

La tab. 1 fornisce valori indicativi di assorbimento acustico dei più diffusi materiali da rivestimento usati nelle chiese, dei sedili e dei fedeli stessi.

2.1. La riverberazione nelle chiese

In uno spazio chiuso il suono giunge all'ascoltatore non solo proveniente direttamente dalla sorgente, ma anche per riflessione.

Poiché la velocità di propagazione è la stessa in ogni direzione, è ovvio che all'a-

Tabella 1. Valori di assorbimento acustico nelle chiese.

Materiali/elementi	Coefficienti di assorbimento alle diverse frequenze (esprese in Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Parete intonacata	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Marmo levigato	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Pavimento in mattonelle	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Finestra vetrata	0.30	0.20	0.15	0.10	0.07	0.04
Sedili in legno	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.05
Sedili imbottiti	0.10	0.25	0.35	0.35	0.20	0.10
Fedeli seduti su sedili imbottiti	0.20	0.40	0.55	0.60	0.60	0.50
Fedeli in piedi o su sedili in legno	0.15	0.30	0.50	0.55	0.60	0.50

scoltatore giunga dapprima il suono diretto e successivamente quello riflesso. Parimenti, al cessare dell'emissione, il suono che viaggia in linea retta sarà il primo a non essere più udito, mentre persisterà per qualche istante quello che compie cammino più lungo.

Se si ipotizzano molteplici suoni riflessi, avremo una situazione in cui all'ascoltatore giunge il suono diretto rafforzato dai molteplici contributi dei suoni riflessi.

Nella realtà il fenomeno, a causa del gran numero di riflessioni possibili, non risulta di carattere discontinuo, ma si assiste a un progressivo aumento della densità sonora fino al raggiungimento di un valore detto densità sonora di regime D0.

Interessa in modo particolare il processo opposto e cioè lo smorzamento progressivo della densità sonora che consegue alla cessazione del funzionamento della sorgente stessa. A questo punto giungono all'ascoltatore i raggi riflessi residui, la cui intensità viene via via smorzata dalle successive riflessioni. L'insieme di tali suoni residui prende il nome di coda sonora (fig. 1).

In un ambiente di vaste proporzioni (caso della chiesa e della sala da concerto), il fenomeno della persistenza della coda, denominato riverberazione, può causare dei problemi. I trattati di acustica ambientale definiscono il tempo di riverberazione come l'intervallo di tempo necessario affinché il livello di pressione sonora in un ambiente, inizialmente a regime stazionario, decresca di 60 dB (un milione di volte) dopo l'interruzione del funzionamento della sorgente sonora: la coda sia cioè praticamente esaurita. È utile aggiungere tuttavia che tale tempo non è uguale in tutto il locale, dipendendo, oltre che

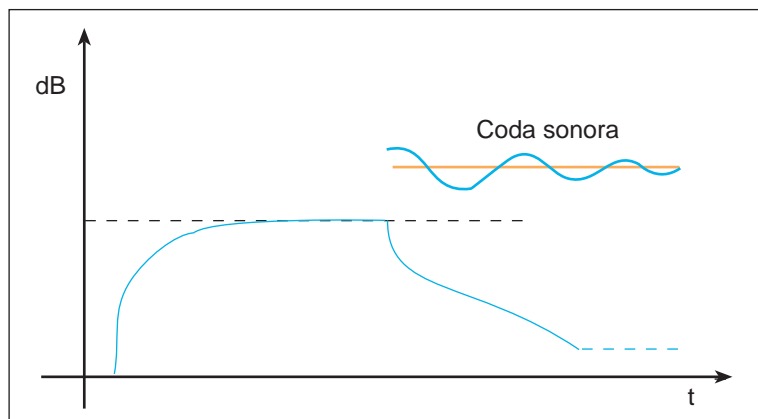


Figura 1. Diagramma della coda sonora.

dal coefficiente di assorbimento apparente delle pareti, che è variabile all'interno di un ambiente, anche dalla reale conformazione del locale stesso. Perciò sarebbe corretto parlare, almeno nella pratica, di tempo di riverberazione dopo aver definito sia la posizione della sorgente sonora che la posizione dell'ascoltatore. In una sala da concerto è importante che il tempo di riverberazione sia compreso tra un secondo e un secondo e mezzo, al massimo due, nel caso la sala sia di grandissime dimensioni. Comunque, un tempo di riverberazione contenuto avvantaggia la chiarezza di ascolto a scapito della pressione sonora.

La fig. 2 illustra i tempi di riverberazione ritenuti ottimali per diverse destinazioni degli ambienti al variare del loro volume. Tenendo in considerazione principalmente le chiese, si osserva che esse presentano il più alto tempo di riverberazione in rapporto al volume. Il campo di variabilità del tempo di riverberazione delle chiese è molto esteso e varia, per un determinato ambiente, con la frequenza del suono (fig. 3).

Anche in un ambiente con tempi di riverberazione lunghi, tuttavia, è possibile che il suono sia percepito chiaramente e distintamente, a condizione che il suono proveniente direttamente dalla sorgente risulti di intensità nettamente superiore a quella dell'insieme di suoni riverberati (coda sonora). In queste condizioni si può parlare di "effetto cattedrale", che è addirittura voluto dai costruttori di apparecchiature per l'ascolto ad alta fedeltà: è possibile, seppure con un circuito elettronico, ricreare nell'ambiente domestico la coda di riverberi tipica appunto delle grandi cattedrali. I suoni riflessi è bene che formino una coda il più possibile regolare e piena, senza che sia presente un'onda riflessa in ritardo temporale eccessivo e di intensità anomala (che potrebbe ricordare un'eco).

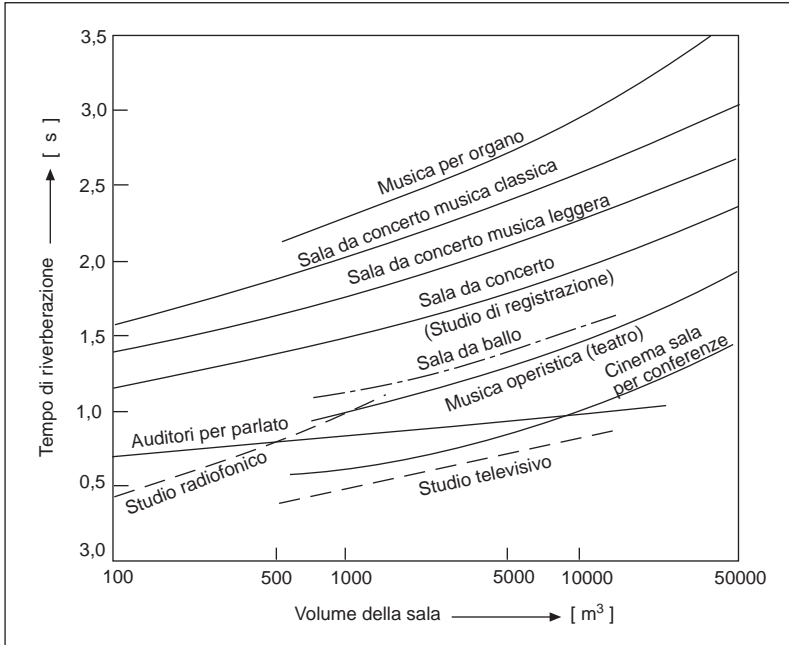


Figura 2. Tempi di riverberazione per diverse destinazioni.

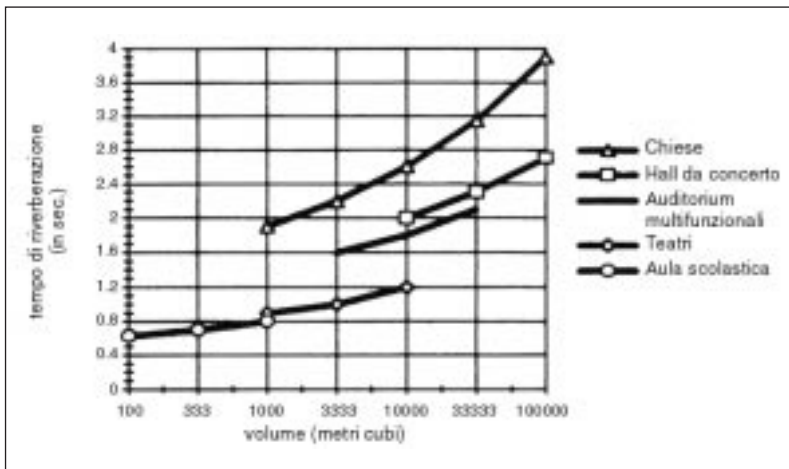


Figura 3. Tempi di riverberazione di chiese e altri ambienti: alle frequenze basse 1÷150 Hz si può andare da qualche secondo per le più piccole a una decina e più per le più grandi; alle frequenze medie da 500-1000 Hz da 2 a 5-6 secondi.

Si supponga che in ambiente di vaste dimensioni una sorgente sonora, anziché un suono prolungato, emetta un unico impulso come ad esempio uno sparo. Facendo riferimento agli schemi precedenti, i raggi sonori che si dipartono dalla sorgente sarebbero estremamente corti, ovvero cesserebbero prima dell'arrivo del suono diretto all'ascoltatore, che udirebbe perciò abbastanza distinta la sequenza dei suoni diretti + riflessi. Con l'ausilio di apparecchiature è possibile, in tali condizioni, valutare i reali contributi del suono diretto e dei principali suoni riflessi.

Se un'onda riflessa, pur di notevole intensità, raggiunge l'ascoltatore con leggerissimo ritardo rispetto al suono diretto, verrà percepita come un unico suono rafforzato. In questo caso la direzione della sorgente apparente coincide con quella considerata dal nostro orecchio e con quella del primo impulso che giunge. Questo fenomeno fisiologico è detto effetto Haas. Il metodo dell'acustica geometrica è senz'altro incompleto ai fini della valutazione di un ambiente: non vengono infatti considerate le diverse frequenze del suono. In una chiesa le superfici interne e la forma dell'ambiente sono di natura totalmente differente rispetto a quelle di un auditorium (espressamente nato e studiato per la resa acustica), per cui possono determinarsi situazioni sfavorevoli.

Talvolta si assiste ad anomale concentrazioni di raggi sonori in ristrettissime zone della navata a causa delle volte in muratura che possono riflettere i raggi sonori a guisa di specchi concavi. Le capriate lignee o il soffitto a cassettoni sono acusticamente più favorevoli, ma attenuano il suono.

3. Il santuario

Il 18 Ottobre del 1623 il marchese Francesco Maria Beccadelli di Bologna, fondatore nel 1621 del paese di Altavilla Milicia, stipulò una convenzione con l'Arcivescovo di Palermo Giannettino Doria con cui si stabiliva l'elevazione a Parrocchia della Cappella annessa al palazzo del marchese [11].

La piccola Cappella privata, annessa al palazzo del marchese, venne ingrandita a spese del fondatore nel 1630 e in seguito modificata e ancora ampliata nel 1826: in tale occasione venne modificato il prospetto principale della chiesa e, sull'architrave del portone principale al di sopra dello stemma araldico dei Beccadelli, venne collocata una lapide con un adattamento della chiusa della «Gerusalemme Liberata», una grande finestra e la scritta «Così si venera nella casa di Loreto», sormontata da una nicchia contenente le statue lignee della Madonna col Bambino e San Francesco, come si vede chiaramente da una rarissima foto pervenutaci, risalente al primo decennio del 1900 (fig. 4).



Figura 4. Prospetto principale del Santuario nel 1906 (Foto Perricone).

In seguito nel 1908 il Santuario subì nella parte interna un altro intervento di ampliamento acquisendo quella configurazione distributiva di seguito riportata, dove si rileva che il Santuario ha una pianta a croce latina, uno stile classico-romano ottocentesco con un ampio presbiterio semicircolare (fig. 5).

Tra la fine degli anni settanta e gli inizi degli anni ottanta il Santuario fu soggetto ad interventi di sistemazione: il primo nella parte del presbiterio che è stato demolito e risistemato assumendo l'aspetto attuale e il secondo con l'eliminazione degli altari in corrispondenza delle statue dei santi venerati nel Santuario e la sostituzione della pavimen-

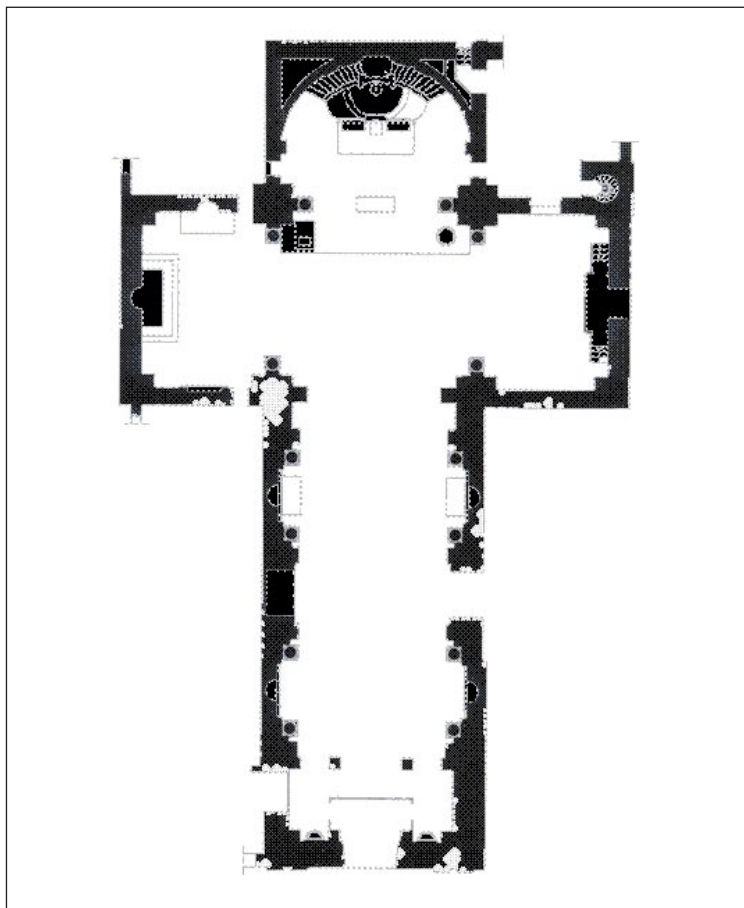


Figura 5. Pianta del Santuario (per gentile concessione dell'arch. Umberto Scordato).

tazione e il riadattamento dei locali annessi per gli usi parrocchiali. Il Santuario oggi è certamente il fulcro del paese: esso sorge sull'estremità orientale del Belvedere all'ingresso del paese.

Nel suo complesso sia internamente che esternamente esso non è una vera e propria opera d'arte e rivela nelle varie parti differenze stilistiche e persino stonature, dipendenti dalla frammentarietà dei lavori eseguiti a lunghi intervalli da artefici diversi.

L'ornamento più appariscente del prospetto principale del Santuario oggi è un grande pannello bronzeo dello scultore termitano Filippo Sgarlata, rappresentante una libera

copia del quadro venerato all'interno. Esso venne issato al suo posto il 21 marzo del 1954, dopo il rifacimento dell'intera facciata che risale al 1826. È leggibile inoltre la frase tratta dalla Gerusalemme Liberata in fig. 6.

Nel 1967 vennero eseguiti lavori di restauro della stessa facciata. Il prospetto attuale è sobrio per nulla monumentale, come raffigurato in fig. 6. Internamente il Santuario (ben curato), si presenta come mostrato in fig. 7.



Figura 6. Facciata del Santuario.



Figura 7. Interno del Santuario.

Anche se da circa 300 anni il luogo di culto Mariano della Sicilia Occidentale è il Santuario di Altavilla Milicia, l'atto ufficiale di elevazione è stato emanato con apposito Decreto dal Card. Salvatore De Giorgi Arcivescovo di Palermo in data 31 maggio 2004 (fig. 8).

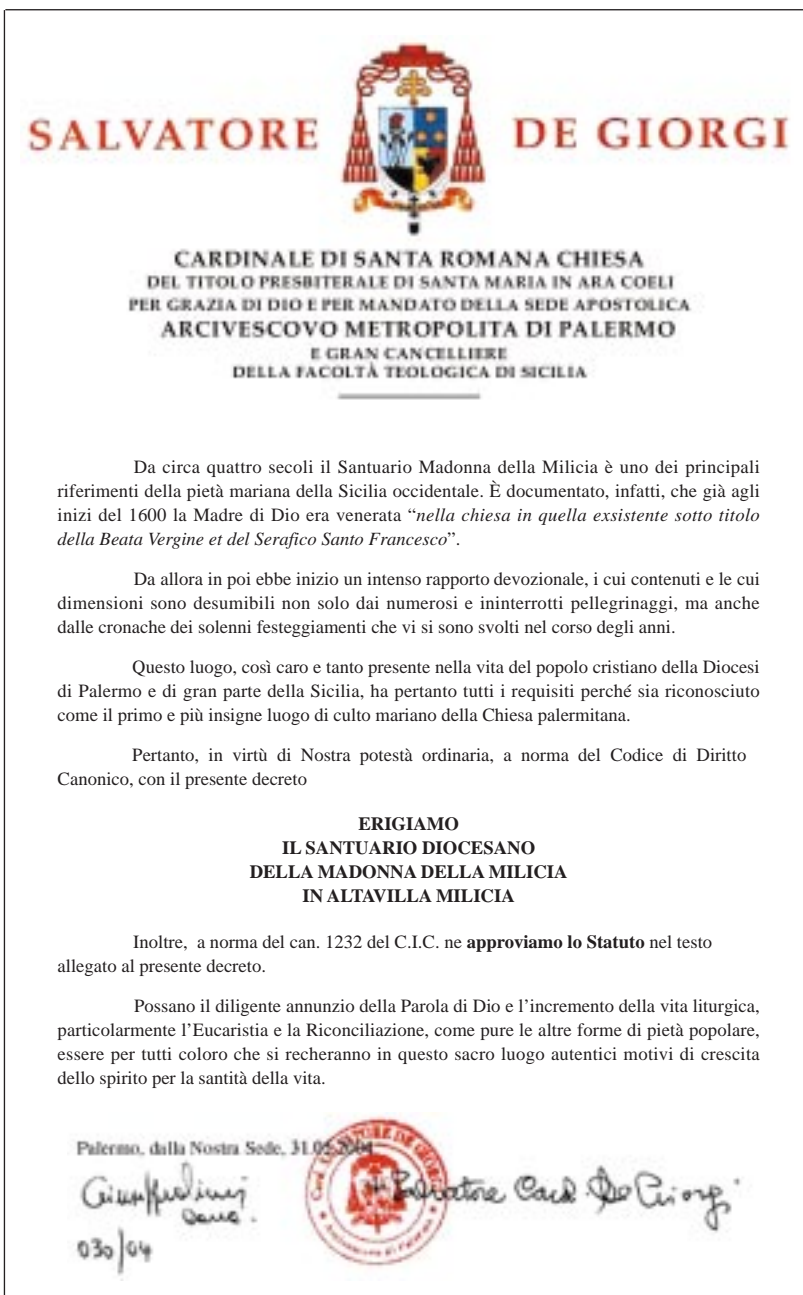


Figura 8. Decreto di elevazione a Santuario.

4. il monumentale organo a canne del santuario

Il primo organo del Santuario comparve alla fine del Settecento ad opera del Lugano, un celebre artigiano del '700 appartenente alla più pura e classica scuola organaria siciliana (fig. 9).

Lo strumento, di pregevole fattura artistica e fonica, aveva le seguenti caratteristiche tecnico-musicali, assai importanti per l'epoca:

- ☑ Principale 8' – canne 44;
- ☑ Flauto 8' – canne 56;
- ☑ Ottava 4' – canne 44;
- ☑ Flauto 4' – canne 44;
- ☑ Ottavino 2' – canne 32;
- ☑ Ripieno 3 file – canne 168;
- ☑ Voce Umana 8' – canne 32;
- ☑ Pedale Basso 8' – canne 12.

Sull'unica tastiera di 56 tasti, alla prima ottava erano riportate le dodici canne del pedale che servivano anche per il Principale di 8'.

Nel 1969 il suddetto organo, seppur in buono stato di conservazione e in perfetto stato di funzionamento, a causa della suo potere fonico ristretto limitato ad eseguire i



Figura 9. Disegno del Monumentale Organo antico del Santuario risalente alla fine del '700.

repertori di musiche antiche e data la sua limitatissima composizione fonica non sufficiente alle esigenze del servizio liturgico del Santuario, venne potenziato con l'aggiunta di un complesso fonico in equilibrio con quello esistente. Il vecchio e prezioso strumento rimase nella sua composizione fonica e nella sua struttura artistica esterna. Venne incorporato nel nuovo complesso con il quale formò uno strumento a tre tastiere distinte e perciò adatto alle importanti necessità liturgiche del Santuario che, per il servizio del culto, richiese in maniera improrogabile tale arricchimento. Tale nuovo e più potente organo, data la particolarità nella composizione fonico-artistica, è oggi adatto all'esecuzione di tutti i repertori musicali sia antichi che moderni, liturgici e concertistici di altissima qualità (fig. 10).

Lo strumento così completato si presenta di straordinaria importanza, tale da adibirlo, come è oggi in uso in tutte le Cattedrali, Santuari d'Italia ed Europa, a concerti di alto livello artistico e soprattutto didattico per scuole a tutti i livelli e a speciali esecuzioni chiamate "meditazioni musicali" o illustrazioni tecnico-pratiche dei vari compositori. Lo strumento di pregevole fattura artistico-fonica e concertistica è collocato su una cantoria costruita sopra il portone principale. La posizione delle canne è acusticamente la migliore in assoluto, perché permette una diffusione pressoché uniforme del suono in tutta l'aula ecclesiale. Alla luce delle conoscenze attuali si deve riconoscere che tale collocazio-

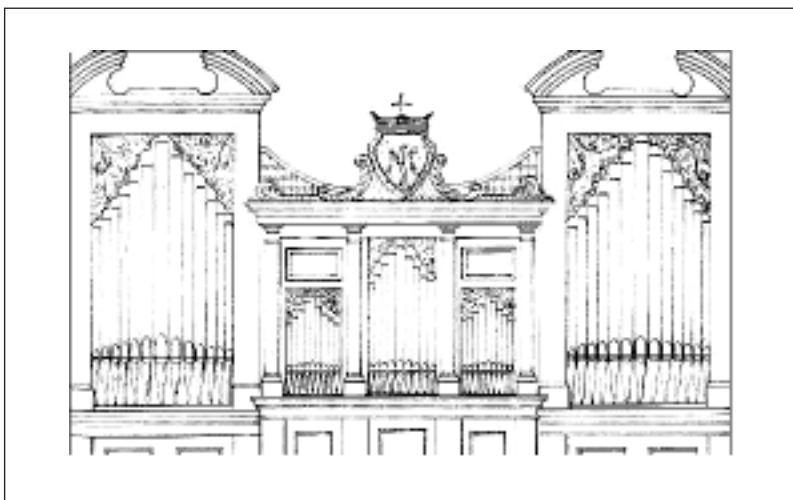


Figura 10. Disegno del Monumentale Organo antico del Santuario ampliato e potenziato nel 1969.



Figura 11. Collocazione del Monumentale Organo del Santuario nella cantoria sopra il portone d'ingresso principale.

ne è la migliore dal punto di vista acustico (fig. 11). Innanzitutto perché, data la vicinanza, l'attenuazione del suono diretto nel punto di ascolto è trascurabile e prevale su quello riverberato; inoltre le prime riflessioni hanno origine sulle due pareti contrapposte e pervengono con ritardi trascurabili rispetto al suono diretto che finisce per esserne rinforzato. Poi le riflessioni sono prevalentemente di tipo diffuso e assicurano un'omogenea distribuzione del suono sull'area dei fedeli. Queste, e altre condizioni acustiche favorevoli, consentono all'organista l'uso di più estesi registri, una timbrica più ricca e una più veloce articolazione della sequenza di suoni di cui si avvale la grande musica per organo dell'età barocca [12-14].

Un problema esiste però nella posizione della consolle, che collocata sul transetto laterale si presenta in forte ombra acustica. Pertanto l'organista non ha percezione del suono diretto emesso dalla sorgente (canne) ed il suono ritorna all'organista in modo riflesso, con qualche millisecondo di ritardo.

Lo strumento presenta le seguenti straordinarie caratteristiche tecnico-musicali:

- ☑ Consolle a tre Manuali di note 61 Do - Do
- ☑ Pedaliera di note 32 Do - Sol

- ☑ Somieri di vario tipo
- ☑ n. 40 Registri sonori
- ☑ n. 1 Tremolo
- ☑ n. 21 Registri meccanici
- ☑ n. 11 Annullatori a placchetta
- ☑ n. 73 placchette di registrazione
- ☑ Registrazione aggiustabile particol. n. 5
- ☑ n. 10 pistoncini di combinazione al I° Manuale
- ☑ n. 16 pistoncini di combinazione al II° Manuale
- ☑ n. 9 pistoncini di combinazione al III° Manuale
- ☑ n. 12 pedaletti a scatto revers. con segnalazione luminosa
- ☑ n. 5 pedaletti per combinazioni collettive
- ☑ n. 2 staffe di comando
- ☑ n. 130 comandi a disposizione dell'Organista
- ☑ n. **2243** totale canne sonore dello strumento

L'organo è composto da n. 3 corpi sonori ben distinti e comandati ognuno da una propria tastiera (fig. 12).



Figura 12. Consolle di comando dell'organo a tre tastiere distinte.

L'organo comprende l'organo Antico del quale sono state usate solamente parte delle vecchie canne preesistenti, mentre la meccanica, la trasmissione e le strutture sono state innovate. Tali lavori fanno considerare l'organo come nuovo perché uniformato sia agli effetti funzionali che nell'estetica.

La descrizione dettagliata dello strumento comprende:

- ☑ CONSOLLE
 - ☑ TRASMISSIONE
 - ☑ SOMIERI
 - ☑ MANTICERIA ED IMPIANTO DI ALIMENTAZIONE D'ARIA IN PRESSIONE
 - ☑ ELETTRO-VENTILATORE ED ALIMENTATORE
 - ☑ CASSA ESPRESSIVA
 - ☑ CANNE
 - ☑ L'ARMONIZZAZIONE
 - ☑ CONSOLLE (fig. 13)
- *Mobile*: costruito con legni esotici pregiati quali mogano, palissandro, noce persiana.
 - *Registrazione*: comprende placchette per i diversi comandi dei registri accoppiamenti ed annullatori, costruite in plexiglas ed incise. Disposte sopra le tastiere in linea semicircolare per dare maggiore comodità all'esecutore.



Figura 13. Consolle dell'organo.

- *Tastiere*: costruite con legno di fibra compatta e orientata, lungamente stagionati, placcate in plexiglas e con diesis in bachelite. La meccanica è montata su telaio in ferro portante e costruita con materiali che assicurano un perfetto funzionamento e inalterabilità: tutto il complesso è insensibile alle variazioni di condizioni ambientali.
- *Pedaliera*: è del tipo radiale conforme alle deliberazioni del Congresso di Trento del 1932. I pedali sono costruiti in legno di quercia con diesis in ebano. La corsa del pedale e la sensibilità del tocco sono regolabili.
- *Comandi a pedale*: sono disposti in linea semicircolare a distanza stabilita dalla pedaliera. Sono del tipo a pistone in anticorodal con contatti elettrici in argento con segnale luminoso.
- *Centralini*: i meccanismi di comando interni alla consolle sono costruiti esclusivamente con l'impiego di transistor ed adottando la tecnica dei circuiti stampati. Tutto il circuito è alloggiato in un centralino di lamiera di ferro verniciata con sportelli di vetro a tenuta di polvere.
- *Sweler*: è incorporato nei centralini, consta di una carcassa in metallo con rullo di comando montato su cuscinetti a sfere, i contatti elettrici sono in argento; è munito di speciale frizione che permette di regolare a piacimento la pressione delle staffe.

Trasmissione

La trasmissione della consolle all'organo è del tipo elettrico diretto; sono impiegati relais speciali con contatti in argento dorato e rinchiusi in calotte di plastica anti-polvere; elettrovalvole per i somieri e transistor che assicurano un funzionamento continuo, insensibile alla polvere, all'umidità ed alle variazioni di temperatura.

Somieri

Sono del tipo chiuso, con emissione d'aria indiretta alle canne; tutte le valvole interne sono costruite con speciale pelle americana. Questo tipo di somiere, oltre alla nota caratteristica di immediata prontezza e regolarità di suono, non va soggetto a strasuoni e fughe d'aria od inceppi, perché non ha partizioni vitali esposte all'atmosfera. Essi sono costruiti con sceltissimo legno di mogano che permette la loro installazione anche in Chiese riscaldate ad aria calda od altro tipo di riscaldamento, senza che gli stessi subiscano alterazione alcuna.

Manteceria ed impianto di alimentazione d'aria in pressione

I mantici sono calcolati per sopperire a qualsiasi richiesta, anche improvvisa, di ero-

gazione d'aria. La risposta alle richieste variabili d'aria è immediata, grazie al sistema particolare di valvole inserite nei circuiti di alimentazione e mandata, i mantici sono costruiti con legno stagionato di frassino e pannelli in paniforte e con pelli scelte protette dall'atmosfera e dalla polvere.

Elettro-ventilatore ed alimentatore

L'alimentazione per tutto l'organo è assicurata da un trasformatore raddrizzatore trifase, abbondantemente dimensionato per poter funzionare anche con sbalzi di corrente del 50%.

L'elettroventilatore è del tipo centrifugo con motore elettrico montato su cuscinetti a sfere che assicurano un funzionamento continuo e silenzioso senza bisogno di lubrificazione. Detto ventilatore è rinchiuso in una cassa afonica, allo scopo di renderlo completamente silenzioso.

Cassa espressiva

È costruita con pareti doppie in legni scelti e stagionati (mogano e abete); nell'intercapedine è posto un materiale fono-assorbente. La parte frontale è costituita da persiane mobili (aventi la stessa struttura delle pareti) mosse da un servomotore elettro-pneumatico sensibile, comandato dalla staffa d'espressione con un comando a contatti elettrici in argento, che permette di ottenere qualsiasi sfumatura di suoni.

Canne

In totale le canne sonore dello strumento sono **2243**. Le canne di metallo sono costruite in leghe di stagno e piombo in modo da poter dare ad ogni registro le proprietà di sonorità che gli competono. Tutte le canne, anche quelle non in vista, sono brunate e lucidate (fig. 14).

L'armonizzazione

L'accordatura dello strumento è basata sul diapason internazionale di 880 vibrazioni al millesimo di secondo (ms) e alla temperatura di 18 °C.

Diffusione acustica

L'impianto di amplificazione del Santuario permette una omogenea diffusione del suono in quanto le sorgenti sonore sono ben disposte in tutta l'aula ecclesiale come riportato in fig. 15, permettendo quindi il rinforzo diretto del suono in modo ottimale.



Figura 14. Canne dell'organo.

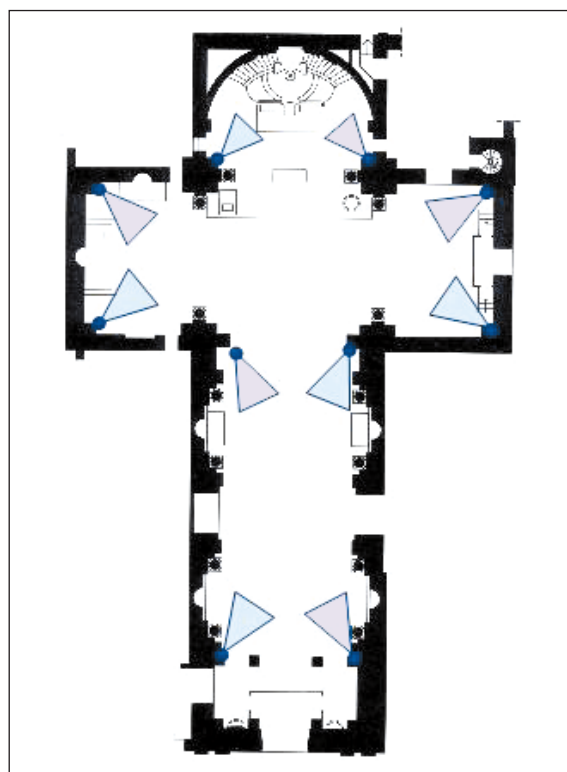


Figura 15. Distribuzione delle sorgenti sonore.

5. principali rilievi acustici nelle chiese

Entriamo ora nel merito della verifica sperimentale dell'acustica del Santuario per far presente quali sono le principali misurazioni che devono essere effettuate.

Le principali misurazioni e rilievi fonometrici possono essere così riassunti:

- misura del tempo di riverberazione con lo sparo di pistola a salve;
- misura dell'intelligibilità con il metodo RASTI.

Certamente la prima misurazione riguarda il tempo di riverberazione e per questo, di solito, viene esploso un colpo di pistola a salve: l'impulso sonoro dello sparo, molto breve all'origine, si propaga nello spazio subendo plurime riflessioni sulle pareti rigide così che, al microfono dello strumento di misura, oltre all'energia sonora dell'impulso sonoro iniziale, perviene quella delle numerosissime riflessioni che si vanno accavallando tra loro, in modo casuale, pervenendo da tutte le direzioni. Il tempo di riverberazione si calcola in base al tipico decremento con il quale si esaurisce l'energia sonora. Si tratta di un metodo che può sembrare un po' strano, soprattutto in una chiesa, ma lo sparo di pistola è da preferire per diversi motivi. Innanzi tutto lo sparo possiede un'energia molto elevata ed è importante contrastare il rumore di fondo proveniente dall'esterno e provocato ad esempio dal traffico, e che, nel caso delle chiese di città, rende difficoltose le misurazioni. Inoltre favorisce la rivelazione di echi o concentrazioni di riflessioni determinate dalle cupole e dalle volte. Infine è importante per stabilire il rapporto tra il suono diretto con quello riflesso, fondamentale dal punto di vista musicale. Ovviamente, per la misurazione del tempo di riverberazione si usano dei personal computer della nuova generazione, con programma appropriato, e dotati di scheda di conversione numerica di segnali analogici.

Una seconda valutazione riguarda la intelligibilità che di solito viene eseguita con il metodo RASTI, un metodo noto ma non alla portata di tutti i tecnici. Il principio di funzionamento non è facile da descrivere ma grosso modo è il seguente. Supponiamo di far pronunciare velocemente da qualcuno una sequenza di suoni come "PA-PA-PA-PA...".

Se ci troviamo all'aperto, nella quiete, non abbiamo alcuna difficoltà nel percepire, anche a distanza, il contrasto tra il silenzio e la sonorità esplosiva di ogni singolo PA: in presenza di rumore o in un ambiente riverberante, tale contrasto appare meno netto, al limite quasi impercettibile. La misura della riduzione del contrasto (detta tecnicamente "indice di modulazione") viene utilizzata per la valutazione della perdita di intelligibilità. La misura viene eseguita in più punti in modo da ottenere una mappa utile per eventuali interventi di correzione acustica.

In riferimento poi al comportamento dell'ambiente architettonico di una chiesa, è opportuno premettere che bisogna tenere presente che il tempo di riverberazione di un ambiente chiuso risulta direttamente proporzionale al suo volume ed inversamente proporzionale all'assorbimento sonoro delle superfici che lo confinano.

In una chiesa però, i diversi canoni architettonici comportano una diversa articolazione dello spazio interno (nel caso del Santuario vi sono una navata, due transetti, abside, cappelle e nicchie laterali...) (fig. 7), per cui il volume difficilmente calcolabile è spesso "virtuale" e deve essere considerato con grande cognizione di causa. Inoltre vi sono diverse geometrie delle strutture (cupola, archi, capitelli, volte a crociera, colonnati, ...), diversa tipologia dei materiali impiegati (mattoni, marmo, legno, cemento, vetrate, gesso, ...), nonché un diverso arredo interno (presbiterio, banchi, persone, quadri, colonne, statue, ...).

Tutti questi elementi sono importanti per l'acustica "tipica" del Santuario in relazione al fenomeno della diffrazione: il suono non viene riflesso secondo una determinata direzione ma viene diffuso in tutte le direzioni, anche dietro gli oggetti riflettenti come colonne, balaustre, nicchie, statue.

5.1. Misure e simulazione di diffusione acustica nel santuario

Si omettono dal presente rapporto le risultanze delle misure condotte con l'ausilio di un software specifico per l'acustica delle sale. Le misure sono state utilizzate al fine di tarare il modello di simulazione. I confronti tra i valori misurati e quelli simulati sono risultati soddisfacenti.

La simulazione acustica ha consentito di confrontare i dati ottenuti con quelli di un rilievo fonometrico, realizzato seguendo le rigide indicazioni della norma UNI EN ISO 3382\1997 (*Misurazioni del Tempo di Riverberazione di ambienti chiusi, con riferimento ad altri parametri acustici*) [4] ed ha permesso un significativo confronto degli aspetti acustici "propri" dell'aula ecclesiale.

La simulazione di diffusione acustica all'interno del Santuario è stata realizzata con un software dedicato.

Di seguito vengono riportati i punti fondamentali di tale simulazione:

- 1) rielaborazione della pianta del Santuario (fig. 16);
- 2) realizzazione del modello di studio in 3D del Santuario, con la procedura 3D poli di AutoCAD (fig. 17);
- 3) introduzione nel programma di simulazione dei vari coefficienti di assorbimento dei principali materiali presenti all'interno del Santuario per data frequenza (tab. 2);

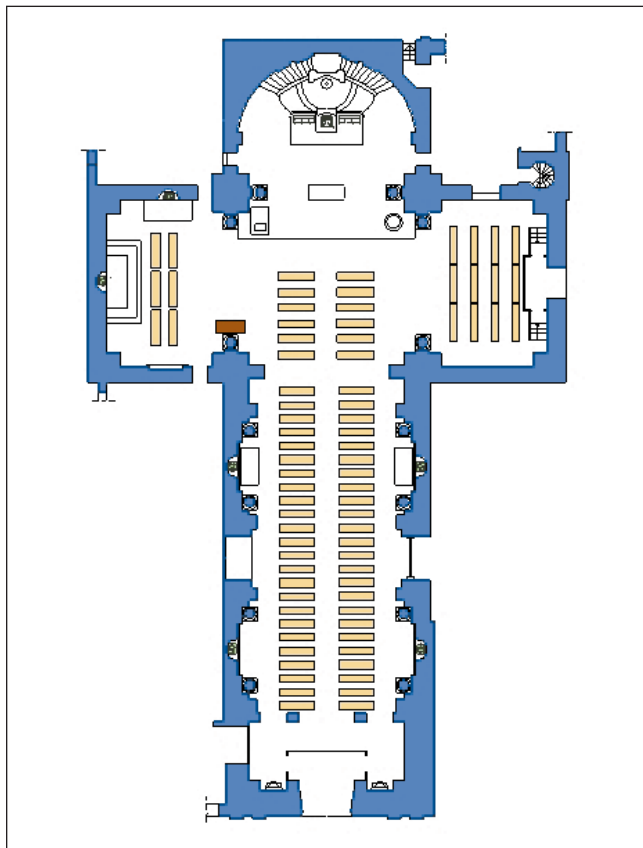


Figura 16. Rielaborazione della pianta del Santuario.

- 4) tramite la collocazione di due sorgenti virtuali, ubicate una nelle canne d'organo l'altra nell'altare maggiore, per determinati spettri di frequenza (i più comuni) è stato possibile (in linea generale) rilevare tutti i percorsi "invisibili" compiuti dalle onde sonore all'interno dell'aula ecclesiale (fig. 18).
- 5) Inoltre, da una più completa elaborazione del "modello" fisico-matematico costruito, si sono individuati tutti i fenomeni geometrici che sono alla base delle interferenze fisiche del segnale (riverberazione, eco, amalgama, distorsione, disuniformità dell'ascolto, ombre acustiche).

Vengono esposte di seguito alcune delle numerose elaborazioni sopra citate, che per ovvi motivi non possono essere integralmente riportate.

Tabella 2. Coefficienti di assorbimento di materiali in funzione della frequenza.

Materiali/elementi	Coefficienti di assorbimento in funzione della frequenza (esprese in Hz)					
	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
Parete intonacata su muro pieno	0.04	0.05	0.06	0.08	0.04	0.06
Marmo levigato (altare, ambone, ...)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Pavimento in granito	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Finestra vetrata	0.30	0.20	0.15	0.10	0.07	0.04
Pareti affrescate (cupola, volte, ...)	0.01	0.03	0.04	0.04	0.08	0.16
Colonne intonacate	0.01	0.04	0.07	0.10	0.22	0.32
Banco in legno con Fedeli seduti	0.40	0.40	0.70	0.70	0.80	0.70
Cantoria in calcestr. riv. con int.	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03

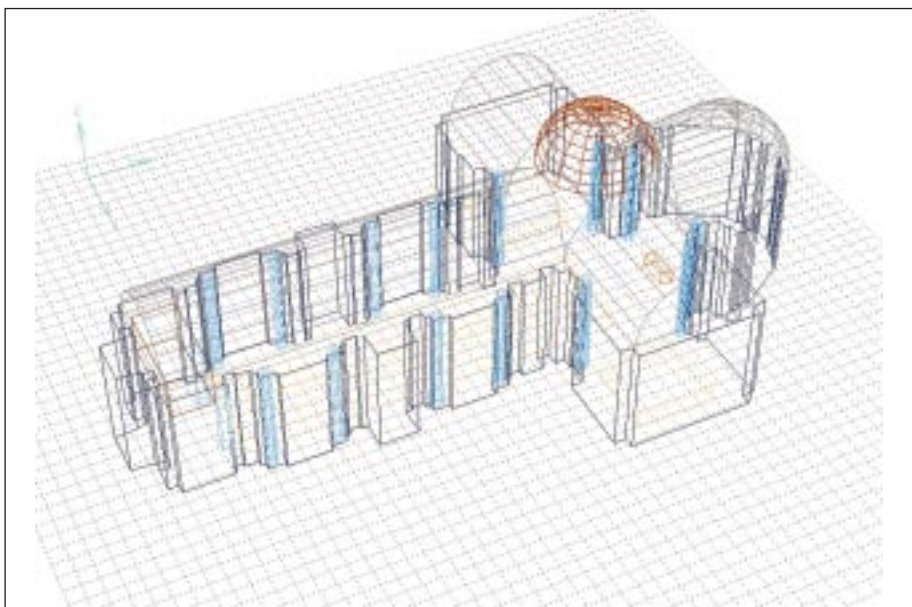


Figura 17. Modello 3D del Santuario.

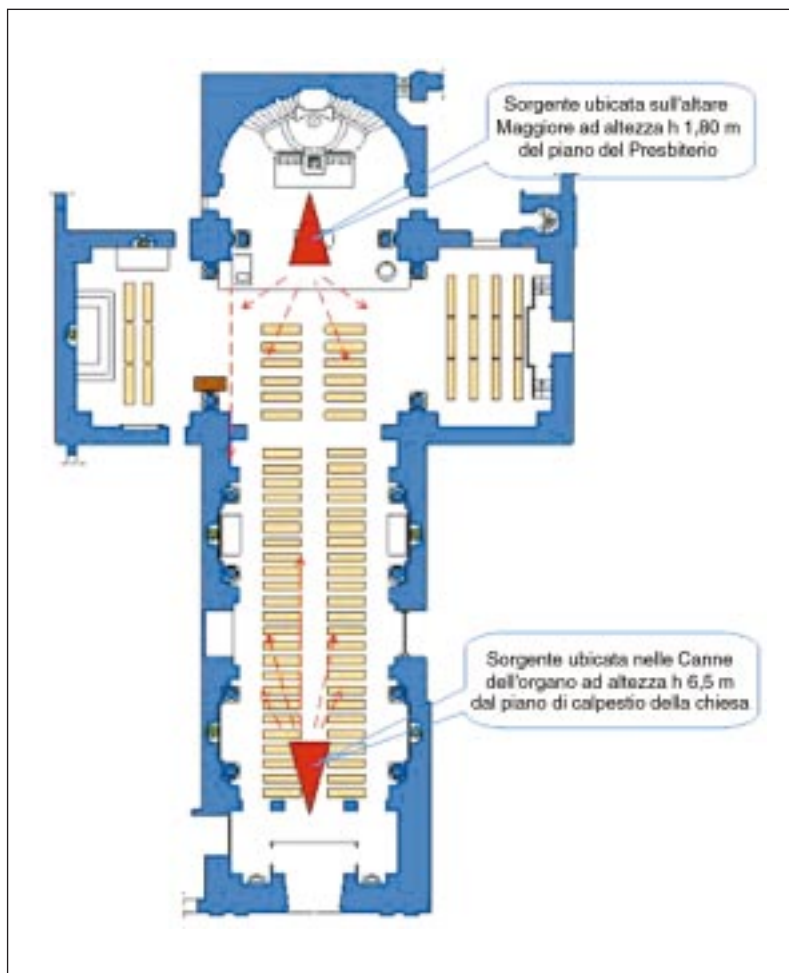


Figura 18. Collocazione di due sorgenti virtuali.

5.2. Elaborazioni della simulazione di diffusione acustica

Si riportano, a titolo di esempio, le risultanze delle simulazioni relative alla frequenza di 250 Hz.

Sorgente	Frequenza	Tempo di smorzamento (espresso in millesimi di secondo)
Altare h 1,80 m	250 Hz	401,60 ms

In fig. 19 si riportano i raggi sonori dopo 21 ms.

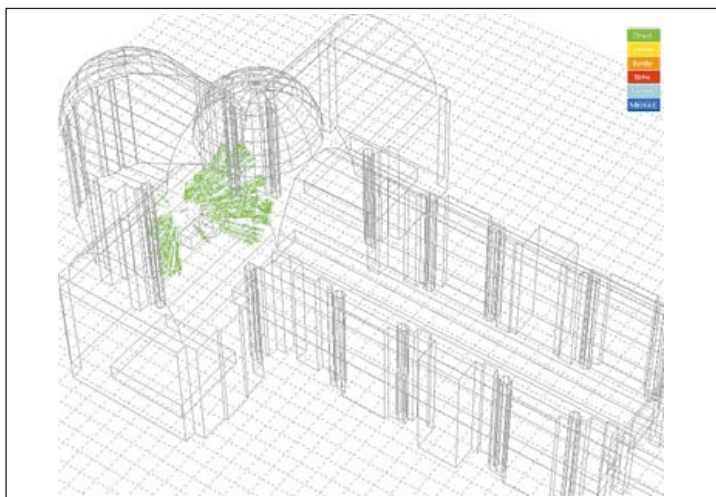


Figura 19 Raggi sonori dopo 21 ms.

Analogamente può essere eseguita la scansione dei raggi sonori in altri momenti temporali e valutarne le caratteristiche (diretti, utili, laterali, eco, riverberati o mascherati) in funzione della colorazione.

6. Conclusioni

Lo spazio acustico del Santuario, per via del grande volume e dello scarso potere fonoassorbente dei materiali delle superfici intiere, risulta caratterizzato da una lunga riverberazione inconciliabile con le esigenze dell'intelligibilità delle parole o del buon ascolto della musica.

Ne deriva che è possibile affermare che la chiesa, edificata per essere luogo dell'ascolto della Parola, si trasforma in un ostacolo all'ascolto.

La riverberazione rende precaria la buona percezione di una sequenza sonora, parole o musica, perché i suoni che si succedono sono mascherati dalla coda sonora dei suoni che li precedono.

Nel Santuario però, questo compromesso, almeno su una larga parte dell'assemblea, risulta inferiore a quello prevedibile (diffuso in molte chiese) perché il rapporto tra suono diretto, suono diffuso e suono riverberato si comporta in modo differente a seconda dello spettro di frequenza.

Dalle innumerevoli elaborazioni del "modello" realizzato per lo studio, emerge l'indi-

duazione di notevoli fenomeni geometrici, alla base delle interferenze fisiche del segnale (riverberazione, eco, amalgama, distorsione, disuniformità dell'ascolto, ombre acustiche). Si manifesta un gradiente di pressione sonora concentrato in alcuni punti, mentre altri risultano sordi o in ombra.

Si propongono all'uopo dei piccoli interventi di miglioramento acustico, compatibili sia con le esigenze liturgiche del Santuario, sia con i vincoli storico-architettonici ivi presenti e sia con il rapporto "fondamentale" costi-benefici che potranno, così come rilevato dal modello, migliorare la chiarezza dell'ascolto.

Si propongono dunque il rinforzo acustico di zone in ombra ed un migliore assorbimento in altri punti "a troppa densità acustica", bersagliati da innumerevoli onde (a causa della presenza di superfici circolari) che richiedono i seguenti accorgimenti atti ad agevolare lo smorzamento delle onde di pressione sonora:

- Individuazione e quindi direzionalità della fonte dalla quale la parola è proclamata, al fine di permettere l'unità tra l'azione e la diffusione della parola. Il che distingue l'ascolto indifferenziato di una sala aeroportuale da un ascolto personalizzato di una chiesa.
- Eliminazione dei "ritardi d'ascolto" che non fanno coincidere in tempo reale la pronuncia della parola con il tempo di percezione della stessa, causato dalle innumerevoli dissimmetrie architettoniche non controllate sotto questo aspetto.
- Riduzione dei livelli di amplificazione generali.
- Una particolare attenzione per i "sordastri" potrebbe suggerire la predisposizione di zone privilegiate con suono rinforzato, ad esempio nel transetto vicino l'organo.
- Realizzazione dell'effetto "presenza". Si tratta di quella particolare condizione acustica che permette ai Ministri, specie ai concelebranti, di sentire se stessi per non venire psicologicamente esclusi dalla coralità della partecipazione attraverso spie di ritorno differenziate dai normali diffusori.
- La risposta parlata o cantata dei fedeli deve risultare sufficientemente rafforzata, diffondendosi nel sagrato anche per permettere la convocazione ed invitare al silenzio in modo più efficace dei vistosi cartelli.
- La musica e il canto dell'assemblea devono essere diffusi anche nella sagrestia perché questa sia considerata il luogo dove si dà il via alla celebrazione con la vestizione e alla processione introitale.
- Dalla elaborazione del "modello" si sono individuati alcuni fenomeni fisici che sono alla base delle interferenze del segnale (riverberazione, eco, amalgama, distorsione, disuniformità dell'ascolto, ombre acustiche): occorrerebbe un rilievo accurato

dello stato di fatto per la definitiva individuazione “esatta” del modello che, confrontato con il reale e attraverso reiterazioni, permetterà l’individuazione della migliore acustica.

A conclusione, si auspica che il presente studio possa contribuire alla conoscenza della sequenza di dati acustici primari e di parametri oggettivi atti a migliorare “la chiarezza” dell’ascolto, particolarmente “imprescindibile” in un Santuario di considerevole importanza e pregio liturgico.

Note

1 Unità di misura acustica espressa in curva di *ponderazione A*.

Uno dei metodi più semplici per ottenere una misura fonometrica, che in qualche modo fornisca indicazioni proporzionali a ciò che si percepisce, consiste nell’uso di filtri di correzione. Non essendo l’orecchio umano un trasduttore lineare del rumore, le Norme Internazionali hanno introdotto l’uso di *curve di ponderazione A, B, C e D*, ovvero delle “tarature” applicate ai fonometri per rendere le loro risposte simili a quelle dell’orecchio umano. Tali curve forniscono in maniera semplice ed immediata una indicazione dell’energia che dà luogo ad una sensazione sonora, non già una misura di questa, creando una corrispondenza tra dati oggettivi (*Lp, f*, etc.) e dati soggettivi (la sensazione sonora).

La ponderazione A è oggi la più utilizzata poiché nelle misurazioni si correla meglio alle prove soggettive, costituendo una buona approssimazione per le curve di uguale sensazione sonora ai bassi livelli di pressione sonora. Le curve B e C si comportano meglio a livelli di pressione sonora medi e più elevati, mentre l’impiego della curva di ponderazione D è utilizzata per le misure di rumore degli aerei.

Bibliografia

- [1] BERANEK L. 1968, *Acoustics*, New York, Mc Graw Hill.
- [2] CODICE DI DIRITTO CANONICO 2004, I Edizione Intratext CT. Eulogos, <http://www.intratext.com/XITA0276.HTM>.
- [3] DI BAILO E. 2000, *Acustica*, Rivista: *Chiesa Oggi – Architettura e Comunicazione*, n. 19\1996, n. 41\2000.
- [4] UNI EN ISO 3382\1997, *Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri Acustici*.
- [5] IANNIELLO C. 1998, *L’acustica dei teatri storici: un bene culturale*, Terzo Convegno del CIARM (Centro Interuniversitario di Acustica e Ricerca Musicale), Ferrara.
- [6] GIULIANI A., COCCHI A. 1973, *Elementi di Acustica Tecnica*, Bologna, Libreria Editoriale Petroni.

- [7] MONCADA LO GIUDICE G., SANTOBONI S. 1995, *Acustica*, Milano, Casa Editrice Ambrosiana.
- [8] OLSON H.F. 1960, *Acoustical Engineering*, New York, D. van Nostrand Co. Princeton.
- [9] ROSSING T.D. 1990, *The Scienze of Sound*, New York, Addison-Wesley.
- [10] VALENZIANO C. 1995, *Architettura di chiese*, Palermo, Edizioni L'Epos.
- [11] VARI, *Santuario di Altavilla Milicia*, Palermo, Archivio storico parrocchiale.
- [12] MORETTI C. 1973, *L'organo italiano*, Milano, Casa Musicale Eco.
- [13] RUGGERI. M. 2002, "*Laudate Dominum in Chordis et Organo*", *L'organo tra Liturgia e Arte*, Relazione svolta al convegno "Musica e Liturgia", Cremona.
- [14] Documenti Concilio Vaticano II 1962-1965, Archivio Vaticano:
http://it.wikipedia.org/wiki/Concilio_Vaticano_II.

Riassunto

Il presente studio vuole utilizzare la scienza e la tecnica oggi note a servizio della Liturgia e dell'architettura sacra e indagare a 360° su alcuni aspetti acustici generali che si incontrano all'interno delle aule liturgiche, non trascurando gli importanti aspetti storico-architettonici relativi alle diverse "tipologie" di manufatti e materiali in rapporto alle specifiche esigenze liturgiche. A tal riguardo viene condotta una interessante simulazione di diffusione sonora all'interno del Santuario di Altavilla Milicia, definito da S. E. R.ma cardinale S. De Giorgi "**il primo e più insigne luogo di culto mariano della Chiesa palermitana**", rilevando, così come previsto dalla norma UNI EN ISO 3382\1997 (*Misurazioni del Tempo di Riverberazione di ambienti chiusi, con riferimento ad altri parametri acustici*), i parametri acustici dell'aula ecclesiale.

Summary

This study aims at using the science and the technique, known nowadays, at the service of the Liturgy and of the holy architecture. In addition to this, its second goal is to investigate completely, on some general acoustic aspects that can be founded inside liturgical rooms, without overlooking the historical-architectural aspects regarding the different "kinds" of manufactures and materials in relation to the specific liturgical needs. According to this, an interesting simulation of sound diffusion inside the Santuario of Altavilla Milicia, defined by the Cardinal S. De Giorgi "the first and most notorious Marian place of veneration belonging to the Church of Palermo", was performed. By means of this simulation, the acoustic parameters of the ecclesial room were taken, in compliance to the standards UNI EN ISO 3382/1997 (Measurements of enclosed environments Reverberation Time with reference to other acoustic parameters).

Résumé

L'étude présente veut utiliser la science et la technique connues aujourd'hui au service de la Liturgie et de l'architecture sacrée et enquêter à 360° sur certains aspects acoustiques généraux qui se rencontrent à l'intérieur des salles liturgiques, ne négligeant pas les importants aspects historico-architectoniques relatifs aux différentes typologies d'ouvrages et matériaux en rapport aux spécifiques exigences liturgiques. A ce propos est conduite une intéressante simulation de diffusion sonore à l'intérieur du Sanctuaire de Altavilla Milicia, défini par S.E.R.me cardinal S. De Giorgi "le premier et plus éminent lieu de culte marial de l'Eglise palermitaine", enregistrant, comme il est prévu par la norme UNI EN ISO 3382\1997 (Mesurage du Temps de Réverbération de lieux fermés, avec référence à d'autres paramètres acoustiques), les paramètres acoustiques de la salle ecclesiale.

Zusammenfassung

Hinsicht der hier vorgestellten Studie ist die Verwendung von moderner Wissenschaft und Technik zur Unterstützung der Liturgie und Kultusarchitektur: Es wird denn hier eine umfangreiche Analyse der allgemeinen Elemente der Akustik in den liturgischen Sälen dargestellt, wo die historisch-architektonischen Aspekte der verschiedenen Artefakte und Materialien mit den liturgischen Bedürfnissen zusammengestellt wurden.

Es wird deswegen eine interessante Beschallungssimulation in der Wallfahrtskirche Santuario di Altavilla Milicia vorgeführt, die Seine Eminenz, Kardinal S. De Giorgi als "das erste und bedeutendste Marienkultusgebäude der palermitanischen Kirche" definiert hat. Hier werden die akustischen Parameter des Kirchensaals in Hinsicht der Norm UNI EN ISO 3382\1997 über Nachhallzeitabmessung in geschlossenen Räumen und Vergleich mit anderen Akustischen Parametern definiert.

Resumen

Este estudio quiere utilizar la ciencia y la técnica actuales al servicio de la Liturgia y de la arquitectura sacra, con una investigación a 360° de algunos aspectos acústicos generales que se presentan en el interior de los recintos litúrgicos, sin descuidar los importantes aspectos histórico-arquitectónicos vinculados a los diversos tipos de materiales y manufacturas en relación con las exigencias litúrgicas específicas. En este contexto, se efectúa una interesante simulación de difusión sonora dentro del Santuario de Altavilla Milicia, definido por Su Eminencia Reverendísima el cardenal S. De Giorgi como "el primero y más insigne lugar de culto mariano de la Iglesia de Palermo", midiendo, conforme a las exigencias de la norma UNI EN ISO 3382\1997 (Mediciones del Tiempo de Reverberación de espacios cerrados, con referencias a otros parámetros acústicos), los parámetros acústicos del recinto eclesiástico.

Резюме

В представленном исследовании автор использует известные ныне научные и технические инструменты, применяемые при изучении литургии и религиозных построек. Он также исследует на 360° некоторые общие акустические явления в литургических помещениях. При этом уделяется внимание важным историко-архитектурным аспектам, анализу различных «типов» предметов и материалов, используемых в литургии. В связи с этим был проведен интересный эксперимент распространения звука в храме Альтавила Милиция, который, по словам кардинала Де Джорджи, является «первым и самым значимым храмом, посвященном Деве Марии, из всех церквей Палермо». Этот эксперимент позволил получить акустические параметры распространения звука в церковном помещении. Эксперимент был проведен, согласно нормам UNI EN ISO 3382\ 1997 (Измерение время отражения звука в закрытых помещениях, со ссылкой на другие акустические параметры).