

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA
IN INGEGNERIA ELETTRONICA

ANNO ACCADEMICO 2005/2006

SINTESI DI RISPOSTE ALL'IMPULSO MULTICANALE DAI RISULTATI DI PROGRAMMI DI SIMULAZIONE ACUSTICA

Relatore :

Chiar.mo Prof. Angelo Farina

Correlatori :

Dott. Ing. Andrea Capra

Dott. Paolo Martignon

Tesi di laurea di:

Simone Campanini

Questo lavoro ha il suo punto di partenza nella richiesta, da parte del Comune di Parma, di un progetto di correzione acustica per la chiesa di San Vitale; successivamente si è sviluppato in altre due direzioni: l'analisi acustica di un abitacolo d'automobile e la scrittura di un programma per la sintesi delle risposte all'impulso. Quindi all'*analisi*, si è affiancata l'*elaborazione* dei dati provenienti dal medesimo software di simulazione del campo sonoro, *Ramsete*, efficace strumento di progettazione acustica.

Il progetto *San Vitale* è motivato dall'interesse del committente di poter impiegare l'edificio per concerti di musica antica, caratterizzata da insiemi vocali e strumentali di ridotte dimensioni; si trattava dunque di rilevare i parametri acustici del locale e di progettare un allestimento tale da portare questi ultimi a valori adeguati al genere di eventi che si intendono rappresentare: vista la cubatura dell'ambiente, si sono ritenuti obiettivi ragionevoli un tempo di riverbero T_{20} non superiore a 2.2 secondi ed un indice di chiarezza C_{80} tra 0 e 4 dB. In entrambi i casi si tratta di valori medi.

Le misure dello stato di fatto hanno mostrato valori di T_{20} abbastanza elevati, nell'ordine, in media, di 4 secondi, dunque, con l'aiuto del software *Ramsete*, si sono studiati una serie di interventi volti a migliorare la diffusione di onde dirette e riflessioni precoci e ad abbassare il tempo di riverbero. Struttura essenziale in tutti gli stati di progetto elaborati è la camera d'orchestra, alle quali sono state sinergicamente affiancate controsoffittature e pannellature laterali, in tutti i casi rimovibili, a tutela dell'ambiente circostante, il cui utilizzo a fini concertistici non è esclusivo. La soluzione che ha prodotto il comportamento acustico voluto, però, è quella risultata esteticamente più invasiva, motivo per cui il committente ha preferito a questa un allestimento dall'aspetto più sobrio, costituito dalla sola camera d'orchestra (visibile in figura 1). Per contenere comunque il tempo di riverbero si è pensato di collocare dei tendaggi pesanti sulle cappelle laterali: così facendo, le simulazioni hanno restituito un valore medio di T_{20} pari a 2.5 secondi. La distribuzione dell'indice di chiarezza nell'uditorio ed all'interno della camera è risultata adeguata.

Le simulazioni acustiche di un abitacolo appartengono, in realtà, ad un progetto più ampio, il cui scopo era di valutare una tecnica ibrida di simulazione acustica: le tecniche di *ray* o *beam tracing*, infatti, non possono dare risultati attendibili quando le dimensioni dell'ambiente sono confrontabili con quelle delle lunghezze d'onda allo studio, da cui l'idea di simulare il comportamento nella banda da 20 a 500 Hz mediante soluzione col metodo degli elementi finiti delle equazioni d'onda e la parte restante dello spettro udibile con *Ramsete*. Nel presente lavoro ci si è occupati solo di quest'ultima elaborazione. Ciò che si è ottenuto è stata una serie di risposte all'impulso sintetiche (una per ogni coppia ricevitore/sorgente), prodotte sommando i risultati a spettro parziale delle due tecniche. Nonostante la grande semplificazione operata nell'assegnamento dei materiali al modello e nonostante la direttività delle sorgenti si ritenga largamente approssimata per via dell'indisponibilità dei *balloon* ca-

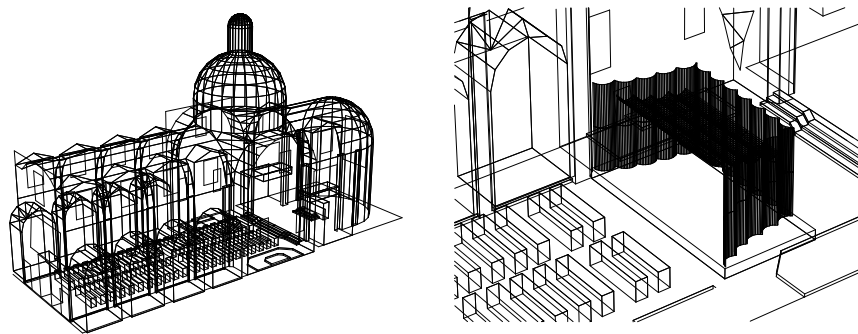


Figura 1: *Chiesa di San Vitale*: modello tridimensionale e particolare della camera d'orchestra.

ratteristici degli altoparlanti dell'abitacolo, lo spettro delle risposte all'impulso sintetizzata ha mostrato un ottimo accordo con quelle misurate, adottate come riferimento.

Durante lo svolgimento dei progetti di cui sopra, ed in particolare del progetto *San Vitale*, al termine di ogni sessione di simulazioni sono stati compiuti sia un raffronto dei descrittori acustici oggettivi con gli obiettivi, sia una ascolto di musica anecoica auralizzata con la risposta all'impulso del sistema simulato: lo strumento impiegato inizialmente allo scopo è stato *AudioConverter*, incluso nel pacchetto *Ramsete*. Pur essendo tale software ampiamente collaudato ed attendibile nel calcolo dei parametri acustici, ci si è immediatamente resi conto dello scarso realismo all'ascolto delle risposte all'impulso da esso generate, imputabile al particolare algoritmo di sintesi cui fa ricorso; tale algoritmo, inoltre, provoca la comparsa di innaturali frastagliamenti nei transitori all'esecuzione di *Acoustic Quality Test*. Si è allora deciso di scrivere un nuovo programma avente come principale scopo la generazione di risposte all'impulso udibili a partire dai dati prodotti dal simulatore prive della percezione di innaturalità cui si faceva riferimento poc'anzi. In estrema sintesi, produrre una risposta all'impulso udibile¹ a partire dalla matrice di dieci risposte all'impulso *energetiche*² generata da *Ramsete* significa: ridurre il tempo di campionamento poiché *Ramsete* opera, di norma con tempi dell'ordine del millisecondo, introdurre informazioni di fase altrimenti assenti e compiere un'ulteriore interpolazione in frequenza. Tutti questi problemi vengono risolti in *AudioConverter* col metodo dell'interpolazione tramite rumore bianco, infatti il vuoto tra un campione di ogni ecogramma ed il successivo che compare abbassando il tempo di campionamento viene colmato con uno spezzone (*burst*) di rumore modulato in ampiezza con la radice quadrata del campione *energetico* corrispondente; il tutto viene infine sommato ed opportunamente corretto, ricavando così la risposta all'impulso cercata. Le forti discontinuità presenti nel rumore, però, sono la causa dell'artificialità all'ascolto, si è quindi pensato di sostituire tale rumore con *burst* costruiti dalla somma di 12 segnali sinusoidali ognuno con fase casuale le cui lunghezza e frequenza sono funzione della banda rappresentata. L'intero algoritmo è stato successivamente esteso in modo da poter generare anche risposte all'impulso caratterizzate spazialmente, secondo le tecniche binaurale (2 canali) ed *Ambisonic* (4 canali, standard *B-Format*); ciò è stato reso possibile dalle informazioni geometriche sulle prime riflessioni che, su richiesta dell'utente, *Ramsete* consente di salvare. Per realizzare i moduli multicanale, infatti, si è intervenuti solo nell'algoritmo di generazione della *testa* della risposta all'impulso, nella quale ogni riflessione è modellata o con una δ di *Dirac* ideale, o con un impulso qualsiasi successivamente filtrato (nel caso binaurale si è impiegato il set di *Head Related Transfer Function* del progetto *Listen* dell'*IRCAM* di Parigi); la coda è, invece, prodotta con la tecnica *sinus-burst*, curando di mantenere statisticamente indipendente ogni canale.

Nonostante il calcolo dei parametri acustici mostri ancora un eccesso di energia nella coda riverberante della risposta all'impulso sintetizzata - peraltro risolvibile, con tutta probabilità, tramite applicazione di opportuni fattori correttivi alle ampiezze -, il risultato di maggior realismo all'ascolto si ritiene pienamente centrato.

¹Un file *wav*, sostanzialmente.

²Dette *ecogrammi*, uno per ogni banda d'ottava.