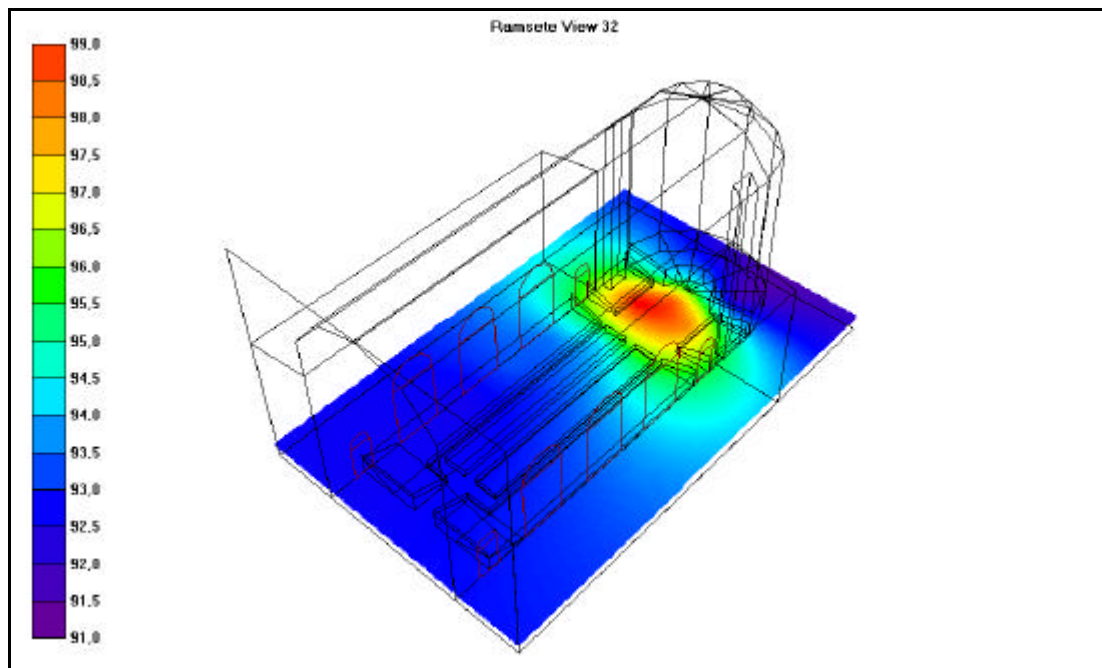


Programmi per lo studio dell'acustica di un ambiente

Andrea Cerniglia
hilbert@venus.it

(Estratto da Backstage n.15, aprile 1999, Gruppo editoriale Jackson)



Spesso, al fine di studiare l'acustica di un ambiente in relazione alle possibili soluzioni progettuali, sia architettoniche, sia elettroacustiche, vengono impiegati appositi programmi finalizzati alla previsione del campo sonoro nell'ambiente oggetto di studio. L'immagine di apertura è un esempio di questo tipo di simulazione, e si riferisce alla distribuzione del suono all'interno della chiesa di Santa Lucia a Foligno, dovuta ad una particolare sorgente sonora posizionata in prossimità dell'altare. Come è noto, grazie ai programmi di previsione sonora, è possibile studiare ed ottimizzare a calcolatore l'acustica di un teatro, di una sala da concerto o, più in generale, di un ambiente destinato ad ospitare una o più sorgenti sonore. Di seguito viene descritto il modo di operare di questi programmi, commentando alcune videate relative ad uno di essi. La prima informazione necessaria ad un programma di simulazione acustica, è relativa alla definizione della geometria dell'ambiente oggetto di studio; più precisamente è necessario realizzare un disegno elettronico comprensivo di tutti gli elementi che possono rivestire importanza dal punto di vista della propagazione del suono. Il disegno dell'ambiente può essere eseguito per mezzo del CAD di norma compreso all'interno del software, oppure, se previsto dal programma, può venire importato anche da software esterni che consentano di realizzare disegni vettoriali in un formato grafico compatibile. Ai vari elementi che

costituiscono il disegno così realizzato, è inoltre necessario associare le caratteristiche acustiche dei materiali a cui questi si riferiscono. E' infatti ovvio che il software di previsione necessita di conoscere i materiali presenti nell'ambiente, al fine di considerare opportunamente il comportamento delle onde sonore che incidono su una parete, sul pavimento o su una qualsiasi superficie presente. I programmi previsionali acustici sono dotati di un database, più o meno esteso, contenente le caratteristiche di assorbimento e di isolamento dei diversi materiali. Tale archivio è inoltre di norma aggiornabile dall'utente con eventuali nuovi materiali di cui si conoscono le caratteristiche citate. La figura 1 mostra due vedute con il coefficiente di assorbimento alfa ed il potere fonoisolante R di alcuni materiali, relative ad uno di questi softwares. Si ricorda che il coefficiente di assorbimento, compreso tra 0 ed 1, è legato alla percentuale di energia sonora assorbita da un materiale; più precisamente a coefficiente di assorbimento 0 corrisponde la totale riflessione del suono, a coefficiente 1 il totale assorbimento dell'onda acustica. Il potere fonoisolante è invece relativo alle caratteristiche di isolamento del materiale.

| N. | Frequency (Hz) | Color | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | 16k |
|----|------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12 | legno compensato (C) | FF00FF | 0,06 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,12 |
| 13 | pavimento legno poroso | FF0080 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,06 | 0,12 | 0,1 | 0,17 | 0,23 | 0,28 |
| 14 | pavimento legno duro | 800000 | 0,05 | 0,09 | 0,09 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,12 |
| 15 | pavimento marmo (B) | 008000 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| 16 | pavimento moquette (E) | 808000 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,59 | 0,5 | 0,6 |
| 17 | pavimento moquette (C) | 000080 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,1 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,36 | 0,43 |
| 18 | pavimento gomma (E) | 800080 | 0,0 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,06 |
| 19 | pavimento linoleum (m) | 008080 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| 20 | pavimento in cemento (g) | C0C0C0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 21 | pavimento sughero cerato (C) | 808080 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,11 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |

| N. | Frequency (Hz) | Color | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1k | 2k | 4k | 8k | 16k |
|-----|--|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 176 | Tramezza alveolata cm 12x45x22.5 | FF0000 | 25,8 | 25,8 | 34,5 | 35,2 | 38,1 | 40,8 | 44,2 | 46,6 | 46,6 | 46,6 |
| 177 | Forato alveolato da tamponamento | 00FF00 | 34,7 | 34,7 | 40,2 | 38,2 | 38,6 | 37,4 | 47,3 | 52,0 | 52,0 | 52,0 |
| 178 | Solaio s-21.5 travetti a traliccio e | FFFF00 | 32,8 | 32,8 | 40,6 | 41,8 | 47,0 | 47,3 | 51,7 | 55,3 | 55,3 | 55,3 |
| 179 | Solaio s-25.5 travetti a traliccio e | 0000FF | 31,0 | 31,0 | 40,1 | 42,8 | 42,5 | 49,3 | 52,4 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| 180 | Solaio s-21.5 travetti precompressi e | FF00FF | 30,6 | 30,6 | 41,3 | 41,4 | 40,6 | 47,5 | 53,8 | 59,2 | 59,2 | 59,2 |
| 181 | Solaio s-25.5 travetti precompressi e | 400040 | 29,4 | 29,4 | 39,4 | 39,0 | 41,4 | 47,0 | 51,0 | 58,1 | 58,1 | 58,1 |
| 182 | Solaio s-22 travetti precompressi e | 800000 | 28,6 | 28,6 | 39,6 | 40,2 | 42,9 | 46,9 | 51,2 | 56,9 | 56,9 | 56,9 |
| 183 | Solaio s-25.5 travetti precompressi e | 008000 | 29,8 | 29,8 | 39,7 | 42,9 | 42,5 | 49,4 | 53,7 | 59,6 | 59,6 | 59,6 |
| 184 | Solaio a pannelli ad arm. lenta s-22 | 808000 | 34,1 | 34,1 | 38,8 | 41,8 | 44,2 | 47,0 | 51,4 | 56,2 | 56,2 | 56,2 |
| 185 | Solaio e pannelli ad arm. lenta s-25.5 | 000080 | 32,3 | 32,3 | 42,5 | 44,7 | 47,1 | 50,7 | 57,1 | 58,8 | 58,8 | 58,8 |

Figura 1: Database del programma Ramsete, contenente il coefficiente assorbimento alfa (in alto) ed il potere fonoisolante R (in basso), relativo ad alcuni materiali.

Dall'immagine è possibile vedere come i dati, per ogni singolo materiale considerato, sono riportati in funzione della frequenza; è infatti noto che le citate caratteristiche acustiche non sono le stesse per tutte le frequenze dello spettro ma, anzi, possono manifestare variazioni anche consistenti. In altre parole un determinato materiale può tranquillamente avere caratteristiche tendenzialmente assorbenti ad una certa frequenza, e riflettere invece la quasi totalità del suono ad una frequenza diversa. Lo

stesso comportamento di dipendenza delle caratteristiche acustiche in relazione alla frequenza, vale anche per quanto riguarda il potere fonoisolante R. Eseguita la definizione dell'ambiente, in termini di geometria e di materiali in esso contenuti, è necessario comunicare al programma la posizione, l'orientamento e le caratteristiche acustiche delle sorgenti sonore presenti. Tali caratteristiche sono relative alla potenza sonora emessa, ed al diagramma di direzionalità. Anche in questo caso l'informazione richiesta è espressa in funzione della frequenza in quanto, sia la potenza sonora emessa, sia la caratteristica di direzionalità, possono manifestare variazioni anche notevoli, al variare di detto parametro. Per quanto riguarda la direzionalità, di norma alle frequenze più elevate è possibile riscontrare una maggiore direttività rispetto a quanto verificabile alle frequenze più basse. Anche per le sorgenti sonore è presente nel programma un database, più o meno nutrito, contenente le informazioni relative a queste ultime. La figura 2 mostra le caratteristiche di direzionalità di un particolare diffusore acustico compreso all'interno del database del programma Ramsete. Nell'immagine sono rappresentati i grafici per le frequenze di 125 Hz e di 1000 Hz. Il sopracitato programma prevede anche un apposito modulo di elaborazione, finalizzato al calcolo della potenza sonora e del diagramma di direzionalità, a partire da rilievi sperimentali eseguiti con adatta strumentazione di misura.

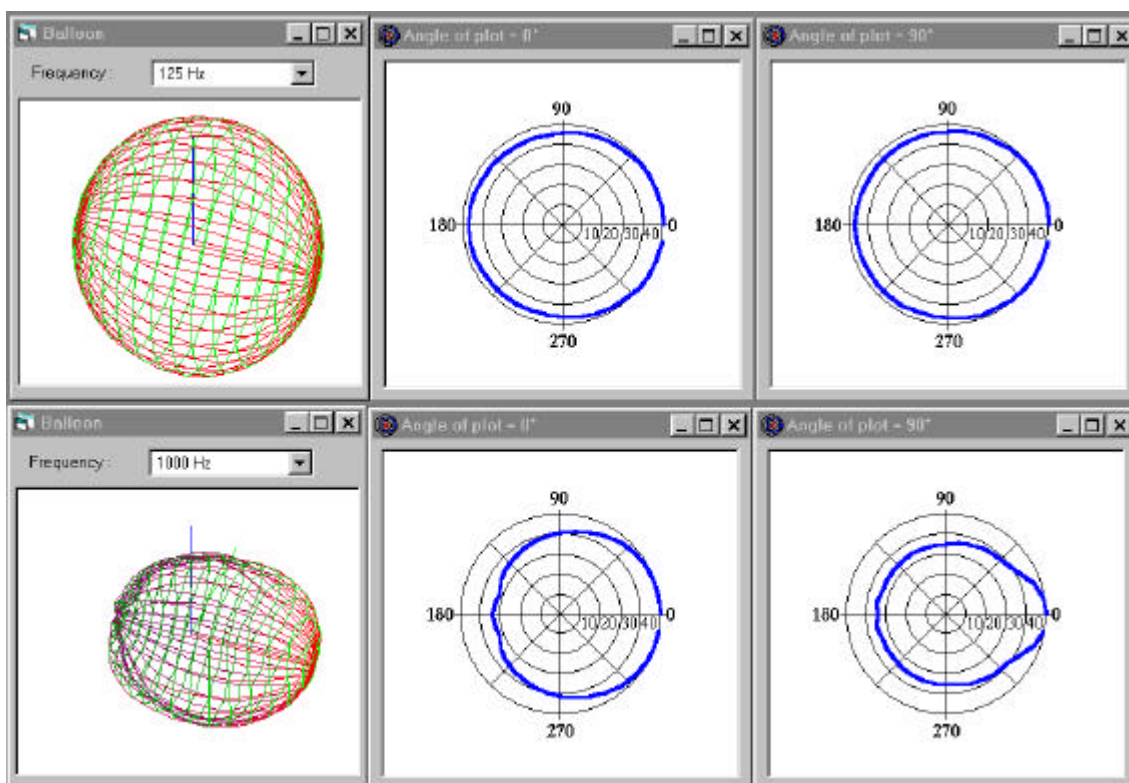


Figura 2: Diagramma di direzionalità di una particolare sorgente. In alto da sinistra sono rappresentati rispettivamente i diagrammi tridimensionale, azimutale e zenitale per la frequenza di 125 Hz. In basso, nello stesso ordine, i diagrammi relativi alla frequenza di 1000 Hz.

Una volta fornite al programma le informazioni relative alla geometria dell'ambiente, ai materiali in esso presenti ed alle sorgenti sonore installate, è possibile procedere con il calcolo di simulazione. Le metodiche di previsione implementate nei programmi di simulazione sonora possono essere di diverso tipo; in letteratura è possibile trovare la descrizione dei diversi algoritmi sviluppati (metodo alle sorgenti immagine, ray tracing, beam tracing, ecc..). Senza entrare nel merito di ogni singolo metodo, ricordiamo che queste categorie di programmi hanno comunque l'obiettivo di prevedere in che modo l'energia acustica emessa dalla sorgente sonora, si distribuisce nell'ambiente studiato, subendo nel suo percorso gli effetti legati alla geometria dell'ambiente stesso ed alle caratteristiche delle superfici incontrate. La quantità di informazioni ricavabile dai programmi di previsione sonora può essere, a seconda del programma utilizzato, più o meno articolata. La figura 3 mostra la risposta all'impulso calcolata da uno di questi programmi, relativa a due punti dell'ambiente. Come è noto, la risposta all'impulso è una funzione legata alla correlazione acustica esistente tra due posizioni di un ambiente; per semplicità si può immaginare quest'ultima come il segnale temporale ricevuto nel punto di ascolto, causato da un impulso applicato nel punto di emissione.

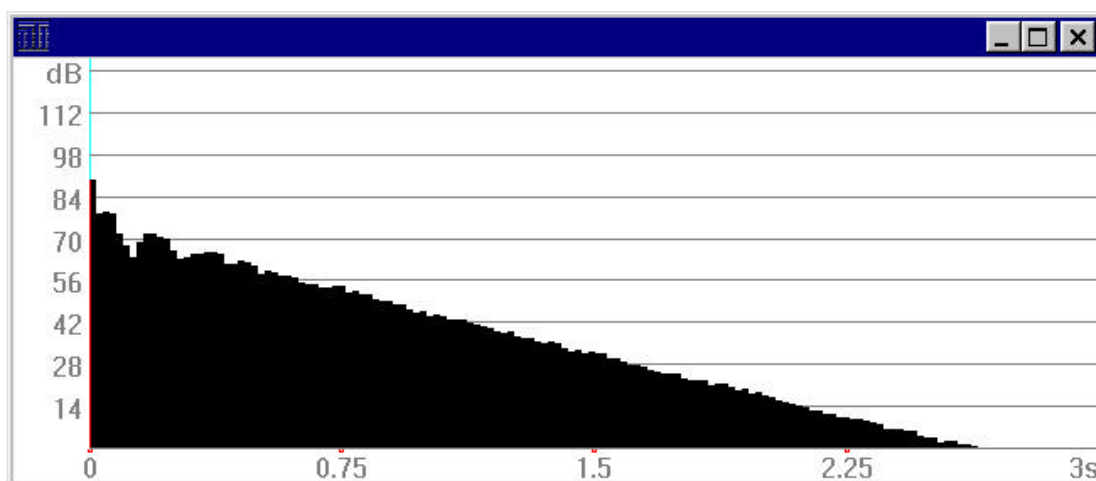


Figura 3: Risposta all'impulso simulata tra due punti di un ambiente. L'ascissa rappresenta il tempo, l'ordinata i decibel.

Un'altra informazione è relativa al tempo di riverberazione: tale dato è di notevole importanza ai fini della validazione del modello realizzato a calcolatore; infatti, il confronto del tempo di riverberazione con la misura sperimentale del medesimo parametro, consente di valutare l'attendibilità del modello realizzato; più precisamente è necessario ricordare come eventuali significativi scostamenti tra i dati ricavati dalla simulazione e i dati ricavati sperimentalmente, devono portare a riconsiderare quanto fornito in ingresso al programma, al fine di individuare e quindi correggere le informazioni errate che hanno condotto ai risultati non conformi. Altre informazioni interessanti sono poi lo Speech Transmission Index (un parametro legato alla bontà della trasmissione del parlato), gli indici di chiarezza, la distribuzione dell'energia diretta e dell'energia riverberata (oltre ovviamente alla

distribuzione complessiva, somma delle due). La figura 4 mostra la distribuzione del livello di pressione sonora globale ponderato 'A', all'interno di una struttura sportiva, dovuta ad un determinato impianto di sonorizzazione, e calcolata per mezzo del programma Ramsete. La mappa cromatica (da 79.5 a 95.5 dBA) indica i livelli di pressione sonora simulati nell'ambiente indagato; il programma consente di rappresentare la stessa informazione di distribuzione dei livelli anche per mezzo di curve di isolivello, con visualizzazione a due oppure a tre dimensioni. Oltre a quanto mostrato nell'immagine, il software utilizzato per l'esempio consente di visualizzare la distribuzione sonora per ogni singola banda di frequenza; inoltre è possibile ottenere agevolmente la medesima informazione per ogni quota richiesta, rispetto al piano di riferimento (ciò è chiaramente importante nel caso in cui si debba studiare un ambiente di altezza elevata in cui gli ascoltatori si possono trovare a diversi livelli). Nel caso specifico si è scelto di non considerare nel calcolo l'isolamento acustico dei materiali; questo spiega il motivo per cui la mappa di distribuzione rappresentata, si estende per tutto il piano di riferimento, invece di essere limitata dalle superfici di confine relative alle gradinate della struttura. Il programma impiegato per la simulazione mostrata può comunque considerare, ai fini della propagazione del suono, l'isolamento, l'assorbimento, la riflessione (speculare e diffusa) e la diffrazione.

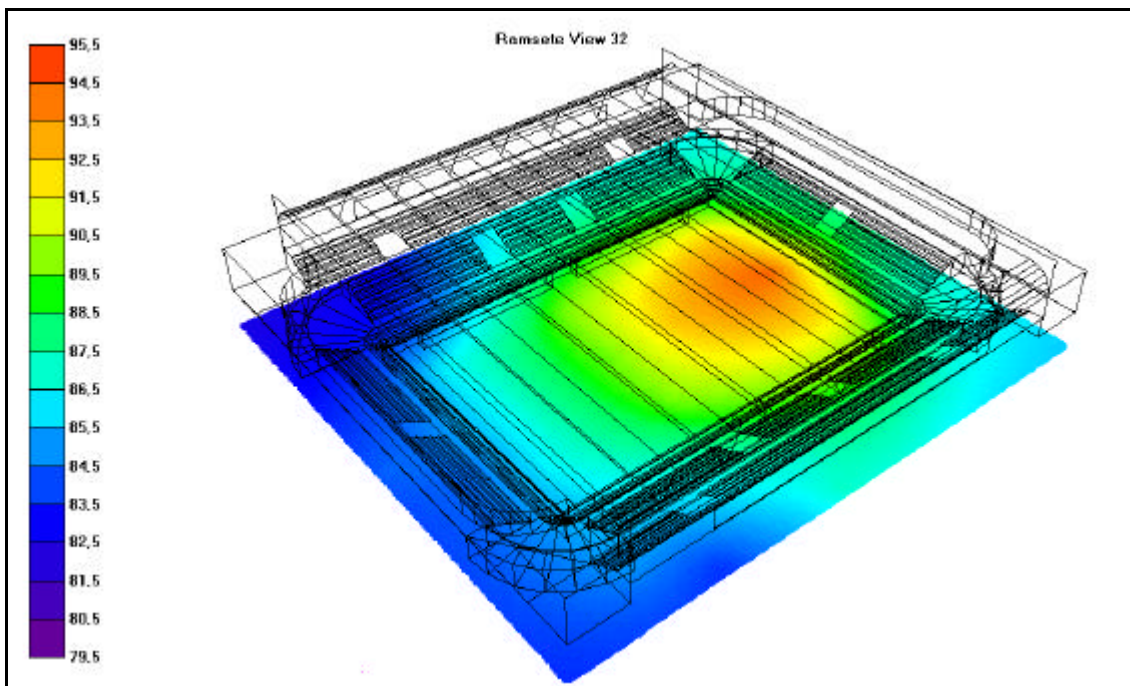


Figura 4: Distribuzione del suono all'interno di una struttura sportiva, dovuta ad un particolare sistema di sonorizzazione, calcolata dal programma Ramsete.

E' palese come, una volta realizzato un modello matematico affidabile e quindi rappresentativo dell'ambiente considerato, sia possibile simulare a calcolatore eventuali modifiche quali l'introduzione di altri materiali oppure il cambiamento del tipo di diffusori o della loro posizione, al fine di prevedere come queste variazioni influenzeranno il campo sonoro. Oltre alla rappresentazione numerica e grafica dei parametri calcolati, alcuni programmi di previsione consentono anche l'esportazione della risposta all'impulso, opportunamente adattata, verso altri programmi, i quali consentono di eseguire il processo di auralizzazione. Con questo termine viene indicata la possibilità di ascoltare la simulazione sonora in cuffia, relativa a come un suono immesso in un determinato punto dell'ambiente, verrebbe percepito in una posizione di ascolto prescelta. Da quanto finora esposto emerge chiaramente come la tecnologia, grazie soprattutto alla sempre maggiore potenza di calcolo dei computer di larga diffusione, ha consentito la realizzazione di strumenti di calcolo sempre più potenti che, se usati in maniera corretta, consentono la valutazione preventiva di diversi aspetti dell'acustica di un ambiente, rendendone quindi più agevole la successiva ottimizzazione.

Bibliografia:

F. Alton Everest, Manuale di Acustica, Hoepli 1996

A. Farina, 'A new pyramid tracer for medium and large scale acoustic problems', Euronoise '95

A. Cerniglia, 'Simulazioni acustiche in ambiente', RCI anno XXV n. 9, Tecniche Nuove

Spectra technical internet home page, <http://www.spectra.it/docum.htm>