

Che cosa è, come funziona

L'acustica architettonica

Allestimento interno degli ambienti

Parte III

Leonardo **Scopece**,
Alberto **Ciprian**

1. SISTEMI DI DIFFUSIONE E TRATTAMENTO ACUSTICO

Molto spesso nella progettazione acustica di una sala non basta scegliere una pianta irregolare e dimensionare ad hoc i lati per creare le condizioni ottime per l'ascolto, ma è necessario agire in un secondo tempo per introdurre delle correzioni tecniche per veicolare le onde sonore in un certo modo e per equalizzare alcune gamme di frequenza specifiche, perché l'azione più o meno assorbente dei materiali non è sufficiente.

Per questo motivo si ricorre all'utilizzo dei sistemi di diffusione e assorbimento, che possono essere semplici componenti da aggiungere come *bass trap* ("trappola" per le basse frequenze) o *diffusori cilindrici*, oppure vere e proprie realizzazioni costruite appositamente per ricreare sensazioni sonore particolari, come nel caso dei sistemi home theatre o dei sistemi surround professionali.

Sommario

Per poter arrivare ad ottenere un trattamento acustico completo, è necessario collocare nella sala dei componenti acustici. Spesso, tuttavia, si rischia di scegliere la tipologia errata ottenendo un effetto insufficiente o comunque diverso dalle aspettative. Questo è il terzo di tre articoli riguardanti l'acustica architettonica e si occupa della descrizione dei vari tipi di componenti, analizzandone i pregi e i difetti a seconda del tipo di applicazione. Molte volte è necessario effettuare un'analisi teorica, in base alle conoscenze del comportamento fisico delle onde, sul posizionamento degli elementi e confrontare tale analisi con le applicazioni pratiche. Sono anche analizzati i sistemi surround, olofonico e ambisonico. In conclusione sono illustrati esempi di sistemi reali: l'Auditorium della Rai di Torino e la Casa del Suono dell'Università di Parma.

1.1 COMPONENTI

I componenti tecnici per agire sulla propagazione delle onde sonore sono di vario tipo, ma generalmente si possono distinguere in tre categorie:

- diffusori (piani, curvi, di Schröder)
- bass trap
- DAA

Ogni componente, ovviamente, è realizzato con un diverso tipo di materiale a seconda della funzione che deve svolgere. Ad esempio un diffusore curvo sarà costituito da un materiale meno assorbente rispetto a quello di un bass trap che ha il compito di assorbire le basse frequenze.

1.1.1 DIFFUSORI

I diffusori sono componenti acustici basati generalmente sulle leggi fisiche della riflessione delle onde e hanno lo scopo di diffondere il suono in determinate direzioni contribuendo all'aumento della qualità complessiva della stanza.

Ne esistono tre categorie:

- ✓ **diffusori piani:** sono della tipologia più semplice e sono costituiti essenzialmente da un piano di legno. Il loro comportamento è diverso a seconda della frequenza considerata, per questo

motivo vengono definite due frequenze limite f_s e f_r .

Se si considera lo schema in figura 1, allora le frequenze limite valgono:

$$f_s = v \cdot \left[\left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right) + B^2 \cdot \cos^2 \theta \right]^{-1}$$

$$f_r = \left[\left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right) + A^2 \right]^{-1}$$

Alle alte frequenze, superiori a f_s , l'onda è trasmessa in modo speculare e il diffusore si comporta come se fosse di estensione infinita, nell'intervallo compreso tra le due frequenze limite si ha un'attenuazione di 3 dB/ottava, mentre alle basse frequenze, inferiori a f_r , si verifica una diffrazione a causa di un'attenuazione che aumenta di 6 dB/ottava al diminuire della frequenza. Quando si analizzano frequenze superiori a f_s il pannello si comporta come se fosse un piano di larghezza B e di lunghezza A infinita. I valori s e r sono le distanze del pannello dalla sorgente e dal ricevitore, rispettivamente.

- ✓ **diffusori curvi:** sono realizzati utilizzando superfici convesse in legno compensato o truciolato per diffondere il suono con angolo di irradiazione crescente all'aumentare del raggio di curvatura. Questi elementi fungono da assorbitori

Fig. 1 - Diffusore piano.

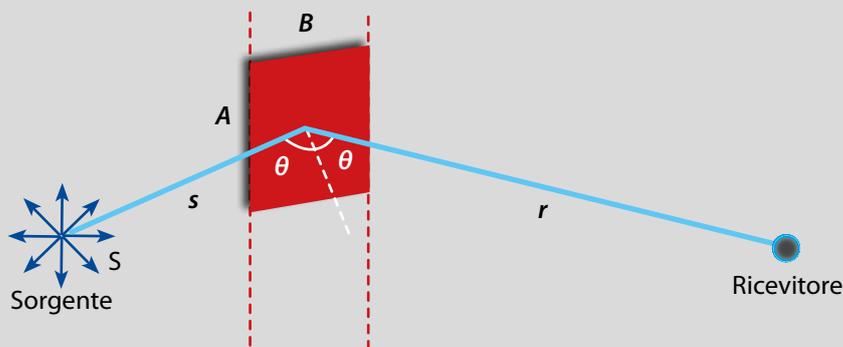
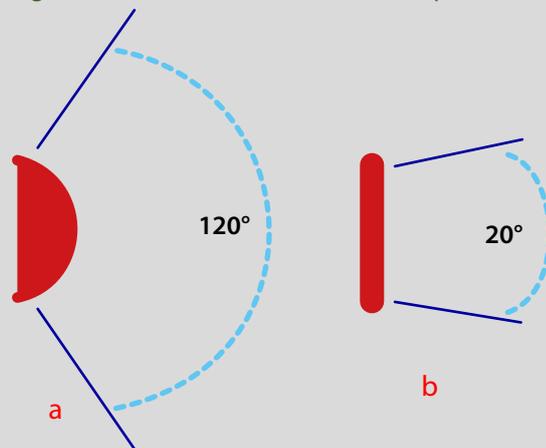


Fig. 2 - a) Diffusore curvo, b) Diffusore piano.



nella gamma delle basse frequenze, mentre la porzione irradiata è praticamente uguale a quella incidente, ad esempio, su un angolo di circa 120° (figura 2a), mentre un diffusore piano irradia il suono con un angolo molto più stretto (circa 20° - figura 2b).

Tutto ciò fa capire come generalmente si preferiscano i diffusori curvi sia nei piccoli che nei grandi ambienti. Le dimensioni del diffusore vanno sempre rapportate alla lunghezza d'onda del suono.

✓ **diffusore di Schroeder**: sono sistemi acustici passivi^{Nota 1} molto efficienti, costituiti da superfici sagomate "a greca" con una profondità proporzionale alla lunghezza d'onda di progetto (figura 3), mentre le fessure devono avere una larghezza minore della metà della minima lunghezza d'onda d'interesse.

Nota 1 - cioè, non contengono sistemi di altoparlanti.

Il modello matematico su cui si basa l'idea di questi diffusori è quello della serie di residui quadratici, che si ottiene scegliendo un numero primo N , elevando al quadrato i numeri compresi tra 0 e $N-1$ e dividendo il valore ottenuto per N . La serie dei resti di ogni divisione costituisce la serie di residui quadratici.

Per progettare un diffusore di Schroeder si devono seguire alcuni passi:

1. si sceglie il campo di frequenza in cui si desidera lavorare per ottenere una diffusione uniforme definendo una frequenza inferiore f_i e una frequenza superiore f_s ;
2. si calcola il periodo da assegnare alla sequenza di fessure pari al numero primo più vicino al rapporto delle frequenze scelte in precedenza, quindi:

$$N = \frac{f_s}{f_i}$$

3. si definisce una lunghezza d'onda di progetto λ_s come la massima da diffondere:

$$\lambda_s = \frac{v}{f_i} = \frac{340}{f_i}$$

4. si calcola la larghezza w delle fessure come:

$$w = \frac{v}{2f_s} = \frac{340}{2f_s}$$

5. infine si calcola profondità:

$$d_n = \frac{\lambda_s \cdot S_n}{2N}$$

dove S_n indica il valore n-esimo della sequenza di residui quadratici.

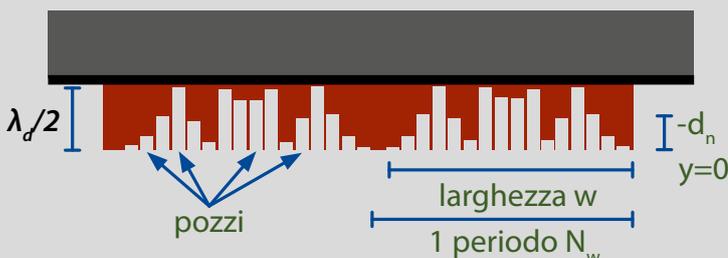


Fig. 3 - Schema e immagine del diffusore di Schroeder.



Fig. 4 - Esempio di bass traps angolari.



Fig. 5 - Possibile collocazione in una sala prove.



Fig. 6 - DAAD.

1.1.2 BASS TRAP

I bass trap (figura 4) sono classificate come assorbitori acustici e sono utilizzati per ridurre in modo efficiente l'energia delle componenti del suono alle basse frequenze e per contrastare le risonanze.

Come tutti i dispositivi di assorbimento acustico, anche i bass trap lavorano dissipando l'energia sonora in calore per effetto dell'attrito. Grazie alla loro funzione vengono utilizzate soprattutto in ambienti in cui è necessario mantenere un suono chiaro e di ottima qualità, come ad esempio gli studi di registrazione e le regie audio. Generalmente vengono collocate in punti in cui si prevede la formazione di risonanze come gli angoli (figura 5).

1.1.3 DAAD

I DAAD^{Nota 2} (figura 6) sono dei sistemi acustici passivi (che non hanno quindi un'amplificazione interna) che permettono di equilibrare il suono in base all'utilizzo scelto per la sala e al tipo di resa acustica che si vuole ottenere.

Ciò è reso possibile dal fatto che ogni DAAD è formato da un lobo diffondente, mentre gli altri sono tutti assorbenti. In questo modo è possibile ruotare il dispositivo al fine di ottenere particolari effetti e un miglior controllo del suono alle varie frequenze senza dover ricorrere ad altri sistemi di trattamento acustico. Questi sistemi possono quindi considerarsi come un'evoluzione e un miglioramento di sistemi come i bass trap.

Il loro rendimento è dovuto in gran parte alla tipologia di materiali di cui sono composti: la superficie esterna è formata da lastre di lamierino microforato, in modo tale da permettere alle onde sonore di entrare all'interno del dispositivo, in cui incontrano del materiale fonoassorbente.

Il funzionamento è basato sulla differenza di pressione che si crea tra l'interno e l'esterno del dispositivo nel momento in cui all'interno dell'ambiente in cui è posto il DAAD viene riprodotto un suono. Questa differenza, a sua volta, provoca uno spostamento d'aria all'interno del DAAD e, a causa dell'attrito prodotto dai materiali resistivi, viene ridotta l'energia sonora.

Nota 2 - Diffusion Absorption Acoustic Devices.

Ne esistono tre tipologie differenti (DAAD 2, DAAD 3, DAAD 4), che si differenziano in base alla gamma di frequenze che trattano e alla loro dimensione. In particolare: i DAAD 2 funzionano per risonanze superiori a 120 Hz, i DAAD 3 per risonanze superiori a 70 Hz e i DAAD 4 per risonanze superiori a 50 Hz.

Un altro aspetto che non deve essere trascurato è il posizionamento all'interno dell'ambiente. Infatti, essi agiscono sulla pressione sonora, quindi vanno collocati nei punti in cui la pressione stessa assume valori molto alti, come, ad esempio negli angoli e vicino a componenti come un subwoofer. Normalmente, per un ambiente di medie dimensioni ne servono almeno 10÷12, montati a colonna negli angoli. Ovviamente, volendo realizzare un trattamento ancora più efficace, ma molto più costoso, è possibile disporre un certo numero lungo le pareti, sempre controllandoli in punti in cui si concentra la pressione, perché se da un lato il grande vantaggio dei DAAD è quello di non colorare il suono, è anche vero che un errato posizionamento provoca un trattamento di scarsa qualità che ha come unico risultato un peggioramento della resa acustica.

1.2 POSIZIONAMENTO DEI COMPONENTI IN BASE ALLE SORGENTI VIRTUALI

Il posizionamento dei vari componenti, i DAAD, nella stanza può essere studiato considerando, insieme ai metodi visti in precedenza, anche la teoria delle sorgenti virtuali.

Secondo questa teoria è possibile localizzare in modo abbastanza preciso quali zone delle pareti di una stanza sono interessate dalle onde propagate dalle sorgenti. Questo dato è molto importante per capire sia dove posizionare i componenti, ma anche per avere idea del numero di componenti necessari.

Il principio che sta alla base della teoria sostiene di considerare ogni parete come un asse di simmetria, in modo tale da riflettere ogni sorgente rispetto a tutte le pareti. Successivamente si traccia una linea di collegamento verso il punto di ascolto e si considera la copertura. Effettuando lo stesso procedimento per tutte le sorgenti virtuali si ottiene la copertura generale sulle pareti. In figura 7 è rappresentato l'esempio di una stanza in cui è stato realizzato un sistema di diffusione multicanale. I rettangoli al centro rappresentano la zona d'ascolto attorno alla quale sono collocati gli altoparlanti reali. Le zone colorate sulle pareti indicano i punti in cui vanno collocati i componenti (distanziati tra loro di circa 40 cm), il numero di componenti è indicato nella legenda.

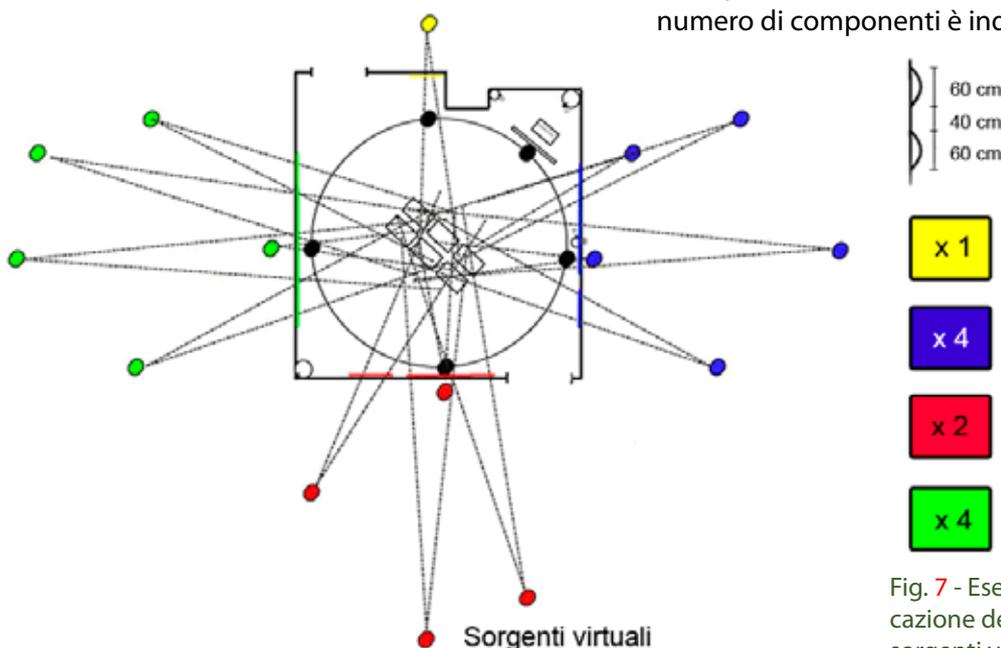


Fig. 7 - Esempio di applicazione della teoria delle sorgenti virtuali.

1.3 SISTEMI SURROUND

Rappresentano l'evoluzione dei sistemi di diffusione stereo, i quali sono in grado di riprodurre soltanto due canali (destro e sinistro). I normali sistemi stereo lasciano un "buco" al centro del fronte sonoro, che viene però ricostruito virtualmente dal cervello dando un'immagine fantasma. È però da notare che essendo un fenomeno psicoacustico, l'immagine fantasma tende a spostarsi in funzione della posizione dell'ascoltatore. Per ovviare a questo inconveniente e per fare in modo di ricreare una scena sonora il più possibile immersiva, sono stati sviluppati sistemi surround, cioè tecnologie in grado di distribuire il suono attorno all'ascoltatore utilizzando un certo numero di altoparlanti a seconda del formato. I formati più diffusi sono il 5.1 e il 7.1, dove il primo numero indica la quantità di altoparlanti, mentre il numero dopo il punto indica la presenza di un elemento dedicato alla riproduzione delle basse frequenze (il subwoofer).

In questo modo è possibile inviare diversi tipi di segnale alle varie casse. Ad esempio, la riproduzione di film prevede la presenza di segnali corrispondenti a dialoghi principali, che vengono inviati al canale centrale, segnali legati alla musica ed effetti particolari, che vengono inviati alle casse laterali, e segnali corrispondenti a effetti secondari e rumori, che vengono inviati anche ai canali posteriori. Tutte le componenti a bassa frequenza (<110 Hz) vengono riprodotte dal canale LFE^{Nota 3}. Nel caso della riproduzione di eventi reali registrati, questi

sistemi permettono una totale immersione nella scena, tutto dipende in realtà anche dalla qualità della registrazione (ottima nei casi di utilizzo ad esempio di una sonda VMS 3D^{Nota 4} o un microfono per l'olofonia).

Il posizionamento delle casse, la loro distanza dall'ascoltatore e la loro altezza non è casuale, ma è standardizzata dalla norma ITU-R BS 775:

- ✓ l'altezza della cassa deve essere di 1.20 m in modo da essere all'incirca coplanare con le orecchie dell'ascoltatore;
- ✓ la distanza dall'ascoltatore può essere scelta tra due opzioni: 2.4 m (casse anteriori) e 1.8 m (casse posteriori), oppure 3.5 m (casse anteriori) e 2.4 m (casse posteriori);
- ✓ gli angoli con cui orientare le casse sono invece schematizzati in figura 8^{Nota 5}.

Nota 3 - *Low Frequencies Emitter*.

Nota 4 - *Virtual Microphone System 3D*. Sonda formata da 32 capsule disposte su una sfera, equispaziate dal centro e posizionate secondo un certo valore di azimuth ed elevazione. I segnali acquisiti dalle capsule vengono pre-amplificati, codificati, multiplexati ed infine inviati tramite un cavo ethernet a un'interfaccia collegata a un computer al fine di sintetizzare più microfoni virtuali, i quali in fase di post-produzione possono essere modificati al fine di aumentarne la direttività.

Nota 5 - per semplificare la rappresentazione grafica le casse vengono disposte attorno a una circonferenza.

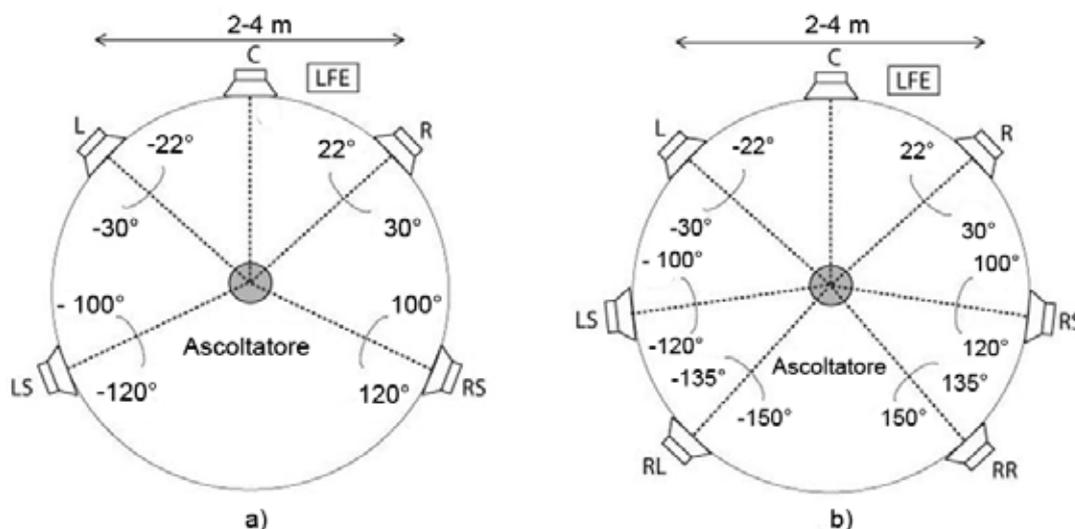


Fig. 8 - Orientamento delle casse nei sistemi 5.1 (a) e 7.1 (b).

1.4 SISTEMA DI DIFFUSIONE AMBISONICS

Il sistema Ambisonic^{Nota 6} consiste in una metodica di spazializzazione sonora, che comprende sia tecniche di ripresa e registrazione del suono che procedure di mixaggio e riproduzione. Si basa sulla creazione, nella zona di ascolto, di un campo sonoro il più possibile uguale a quello originale e in grado di riprodurre le stesse sensazioni psicoacustiche (ambiente, distanza, posizione e timbrica) che si ha ascoltando direttamente l'evento originale. Conoscendo infatti le informazioni relative alla pressione e alla velocità delle particelle d'aria in un determinato punto, è possibile ricostruire fedelmente il campo.

Le caratteristiche direzionali del campo acustico vengono ricostruite sommando le componenti armoniche sferiche del campo stesso, ognuna delle quali viene acquisita tramite un microfono con uguali caratteristiche di direttività.

A questo scopo esistono diverse tecnologie di acquisizione del segnale, tra cui: le sonde microfoniche Soundfield, Tetramic e più recentemente anche la sonda VMS 3D.

Dalla teoria psicoacustica si ricava che per frequenze minori di 700 Hz il meccanismo dominante di localizzazione sonora è la differenza di fase tra i segnali alle due orecchie, mentre alle frequenze medio-alte (700 Hz ÷ 5 kHz) è dominante la loro differenza energetica. Le informazioni sulla spazialità del campo acustico sono codificate, in fase di ripresa, tramite i segnali corrispondenti alla pressione e alla velocità delle particelle d'aria nel punto in cui è posta la sonda acustica. Per una ricostruzione solamente bidimensionale sono necessari almeno tre altoparlanti, mentre una riproduzione tridimensionale ne richiede almeno quattro. Le configurazioni di ascolto possono essere di diverso tipo con, ad esempio, quattro altoparlanti disposti ai vertici di un quadrato centrato sulla posizione d'ascolto (per una resa bidimensionale), oppure otto sistemati ai vertici di un cubo (per una restituzione tridimensionale).

In linea teorica la posizione ottimale dell'ascoltatore non è ristretta ad un punto, ma risulta essere estesa a una determinata porzione di spazio.

PRO:

- ☺ semplice sistema di registrazione^{Nota 7};
- ☺ indipendenza del sistema di codifica da quello di decodifica (riproduzione) con array di altoparlanti.

CONTRO:

- ☹ le sorgenti irradiano soltanto onde piane;
- ☹ gli altoparlanti devono essere sufficientemente lontani dall'ascoltatore (questo è un problema non trascurabile in ambienti di piccole dimensioni).

1.5 LA RESTITUZIONE AMBISONIC

La restituzione del segnale codificato B-format viene effettuata eseguendo apposite operazioni algebriche dei canali W, X, Y e Z, che sono ricavate in base ai principi generali della teoria della localizzazione sonora per ciascuna configurazione di riascolto. Un esempio può essere sviluppato considerando un insieme di otto altoparlanti disposti ai vertici di un cubo e diretti verso l'ascoltatore posizionato al centro della struttura (figura 9).

Nota 6 - Non esiste una vera spiegazione del termine Ambisonic. Dal punto di vista etimologico si potrebbe pensare come l'unione dei termini latini ambo (ambipolare) e sonus (suono), facendo quindi pensare alla possibilità del sistema di basarsi sulle teorie legate alla psicoacustica e alla spazializzazione del suono. Tuttavia ambo può anche far pensare al termine inglese ambient (ambiente), rimandando nuovamente all'idea della ricreazione del campo sonoro. Sempre ambo può far riferimento ai due parametri su cui si fonda la teoria: pressione e velocità delle particelle d'aria.

Nota 7 - una possibile soluzione consiste nell'utilizzare più microfoni (minimo quattro) disposti nello stesso punto, posizionati al centro della scena acustica.

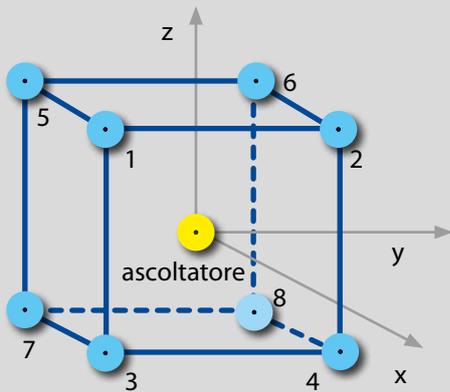


Fig. 9 - Configurazione minima per l'ascolto 3D.

Per questa configurazione le formule algebriche sono le seguenti:

$$Sgn1 = G_w \cdot W + G_x \cdot X + G_y \cdot Y + G_z \cdot Z$$

$$Sgn2 = G_w \cdot W + G_x \cdot X - G_y \cdot Y + G_z \cdot Z$$

$$Sgn3 = G_w \cdot W + G_x \cdot X + G_y \cdot Y - G_z \cdot Z$$

...

$$Sgn8 = G_w \cdot W - G_x \cdot X - G_y \cdot Y - G_z \cdot Z$$

dove G_w, G_x, G_y, G_z sono termini di guadagno introdotti per ottimizzare la resa del sistema.

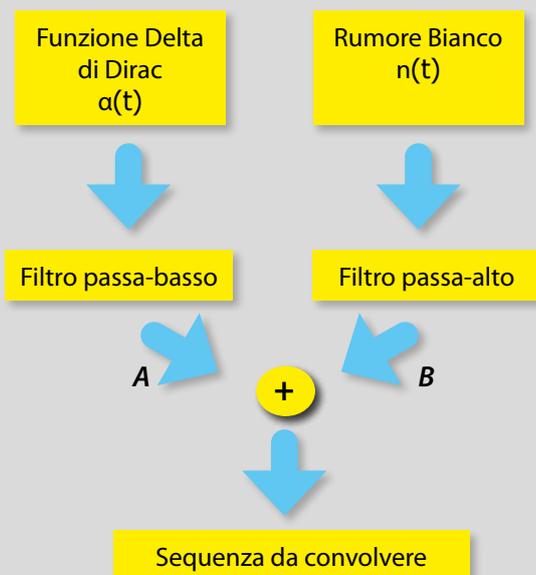


Fig. 10 - Schema della creazione dei segnali.

Nonostante l'uso di tali coefficienti, le immagini sonore prodotte appaiono inizialmente piuttosto instabili e la zona d'ascolto molto limitata nei pressi del centro del cubo.

Queste disomogeneità vengono attribuite ad interferenze e conseguenti cancellazioni in determinate porzioni della zona d'ascolto, dovute in gran parte alla parziale coerenza dei segnali provenienti dagli altoparlanti che sono sempre somme algebriche di W, X, Y e Z .

Per rimuovere questo inconveniente si è deciso di rendere casuali le fasi dei segnali che alimentano le casse, per far sì che, nella zona d'ascolto, l'energia risultante sia equivalente alla somma algebrica dei segnali. Questa operazione però riguarda solo lo spettro delle medie e alte frequenze (sopra i 700 Hz), poichè a frequenze inferiori è proprio la fase a stabilire la localizzazione e pertanto non deve essere alterata. Per garantire gli effetti desiderati vengono creati otto segnali differenti secondo lo schema in figura 10.

Ciascuno di questi segnali consiste nella somma degli altri due: il primo (**A**) contiene solo le frequenze inferiori a 700 Hz, mentre il secondo (**B**) contiene solo le frequenze maggiori. In particolare, il segnale **B** si ottiene filtrando con un filtro passa-alto un breve segmento di rumore bianco e possiede, in virtù delle proprietà del rumore bianco, valori di fase casuali. Il segnale **A**, invece, si ottiene filtrando con un filtro passa-basso una funzione impulsiva (la delta di Dirac) e ha fase costante sotto i 700 Hz. Ciascuno degli otto segnali ottenuti viene convoluto con una delle tracce di restituzione e questo comporta un significativo aumento della focalizzazione e localizzazione delle immagini sonore, lasciando inalterata la zona utile d'ascolto.

1.5.1 POSIZIONAMENTO DEGLI ALTOPARLANTI

Uno dei maggiori vantaggi dell'Ambisonic consiste nel fatto che la parte di codifica è assolutamente indipendente dalla fase di ripresa; questo consente quindi una grande libertà di scelta sul numero di altoparlanti da utilizzare. Gli effetti che possono variare aumentando o diminuendo il numero di altoparlanti sono principalmente due: il senso di im-

mersione nella scena sonora (che aumenta quanto più è fedele e precisa la registrazione) e l'ampiezza dell'area d'ascolto (l'uso di molti altoparlanti garantisce un ascolto più realistico dovuto all'impressione di avere un'unica sorgente distribuita spazialmente).

Questi due parametri sono fondamentali per un sistema come Ambisonic, il quale ha come obiettivo la ricreazione tridimensionale della scena sonora. Come detto il numero di altoparlanti varia molto in funzione del tipo di resa sonora che si vuole ottenere e soprattutto alle dimensioni della stanza in cui effettuare la riproduzione. Questo ultimo punto rappresenta un elemento molto importante soprattutto quando si considerano stanze di piccole dimensioni e quindi quando è necessario valutare attentamente il comportamento acustico dell'ambiente in termini di riflessioni e risonanze. Per una buona resa gli altoparlanti devono essere collocati a distanza adeguata dalla posizione in cui si trova l'ascoltatore (circa 2 m).

Nel caso si voglia ottenere un effetto 2D il numero minimo di altoparlanti è quattro, mentre nel caso si voglia un effetto 3D il numero minimo di altoparlanti è otto, considerando l'ascoltatore al centro di un cubo con gli altoparlanti posizionati in prossimità degli otto vertici (figura 11). Risulta inoltre molto vantaggioso agganciare (e non fissare) gli altoparlanti al muro, soprattutto in situazioni sperimentali in cui è necessario modificare in tempo reale la configurazione della stanza per effettuare misurazioni e test.

1.6 L'OLOFONIA

L'olofonia è una tecnica di registrazione e riproduzione sonora eseguita tramite un microfono, olofonico, il quale permette di riprodurre un suono in modo molto fedele rispetto all'originale. In fase di riproduzione il suono viene percepito nelle esatte coordinate spaziali di registrazione. In questo modo è possibile localizzare la provenienza di un suono in tutto lo spazio tridimensionale in modo accurato.

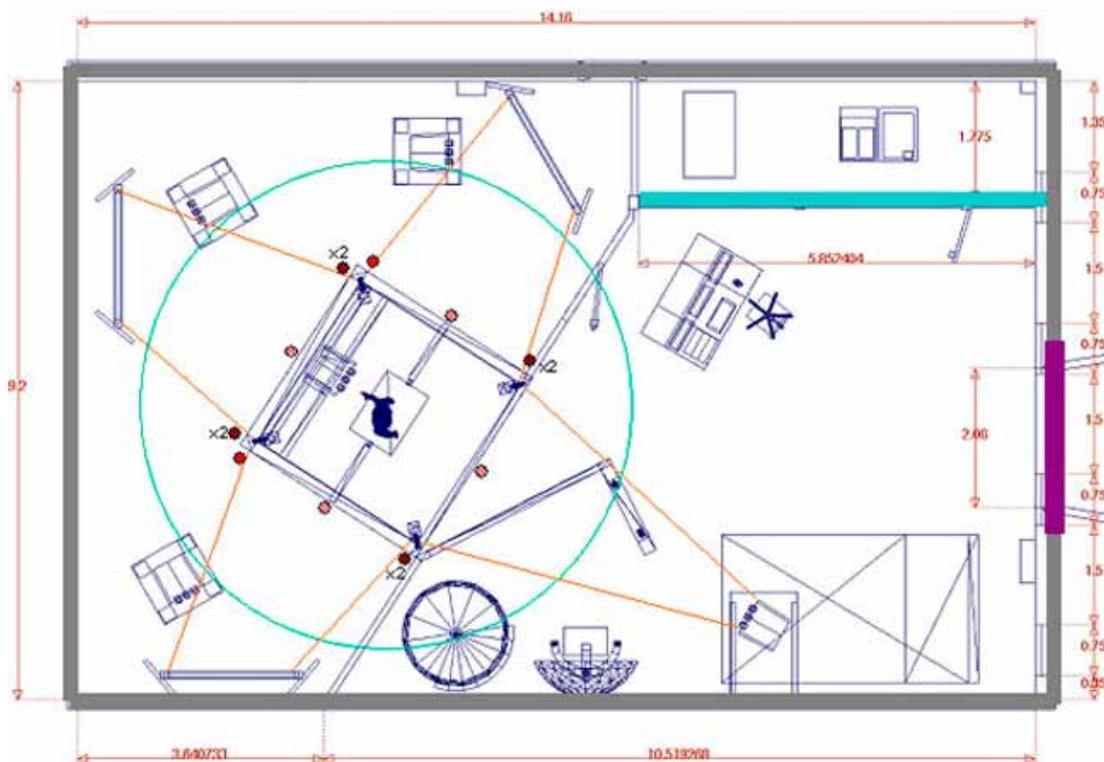


Fig. 11 - Possibile configurazione.

La ripresa viene effettuata tramite un microfono olofonico^{Nota 8} il quale è formato da sette capsule localizzate esternamente sul perimetro del supporto (la testa) più una capsula interna in grado di catturare le basse frequenze, ottenendo sistemi 5.1, 6.1 o 7.1.

In uscita un Holophone ha otto cavi bilanciati organizzati come in tabella:

Canale	Microfono
1	Left
2	Right
3	Center
4	LFE
5	Left Surround
6	Right Surround
7	Top
8	Center Rear

Bisogna fare attenzione a distinguere un sistema surround da un sistema olofonico: un sistema surround non è in grado di far giungere all'ascoltatore i suoni provenienti da qualsiasi punto dello spazio tridimensionale, cosa che invece un sistema olofonico riesce a fare.

È da notare, tuttavia, come in commercio sia ancora difficile trovare casse acustiche in grado di riprodurre in modo fedele l'olofonia (solo ultimamente si stanno diffondendo), perciò l'ascolto si può fare quasi esclusivamente tramite l'utilizzo di cuffie.

Nota 8 - il microfono considerato è l'H2 PRO della Holophone.

2 CASI DI STUDIO

2.1 AUDITORIUM RAI - TORINO

L'Auditorium Rai (figura 12) rappresenta uno dei luoghi di riferimento di Torino per quanto riguarda la riproduzione della musica sinfonica, e non solo, grazie sia al contributo dell'Orchestra Sinfonica Nazionale della Rai, ma anche grazie alla qualità dell'ascolto che è possibile percepire all'interno della sala.

Durante la ripresa audio/video delle prove generali di un concerto di musica sinfonica, tenutasi il 13 maggio 2010 presso l'Auditorium, è stato possibile osservare la struttura interna e valutare realmente la qualità dell'ascolto. Come si può notare dall'immagine di figura 13 il palco è diviso in due parti sfasate in altezza. Nella parte inferiore è presente l'orchestra, mentre in quella superiore viene collocato, a seconda delle occasioni, il coro. Questa disposizione non è casuale, infatti, collocare nella parte superiore il coro permette di fare in modo che il suono prodotto dall'insieme degli strumenti non mascheri quello del coro. Da notare è la disposizione di una serie di diffusori in legno collocata posteriormente all'orchestra che permette di aumentare la diffusione del suono nell'ambiente senza disturbare la percezione del suono per i musicisti.



Fig. 12 - Auditorium Rai - Torino.



Fig. 13 - Ripresa senza coro.

Inoltre, sopra il palco, appesi al soffitto, sono stati posizionati sedici diffusori arcuati, disposti in due file da sei e una da quattro (figura 14). Questa disposizione ha una duplice funzione:

- dividere lo spazio tra il pavimento e il soffitto in modo da evitare l'effetto eco, che, come detto, si crea se c'è uno spazio maggiore di 17 m;
- permettere la diffusione omogenea del suono verso il pubblico posto nelle balconate e al fondo della sala.

Per quanto riguarda la scelta dei materiali per la progettazione acustica, sono stati utilizzati materiali in grado di favorire al massimo la diffusione, cercando di evitare, soprattutto sul palco, un alto assorbimento del suono. Per le sale da concerto è necessario ottenere una certa quantità di risonanza, che ovviamente varia a seconda del genere musicale. Sul palco sono stati, quindi scelti materiali come il legno, per il pavimento e la parete retrostante l'orchestra, e l'intonaco per i muri perimetrali dell'intero Auditorium.

Per la platea e balconate sono stati utilizzati materiali come il velluto sulle poltrone, che permette di assorbire in quantità adeguata il suono prodotto. Infatti, nella progettazione acustica e nella scelta del

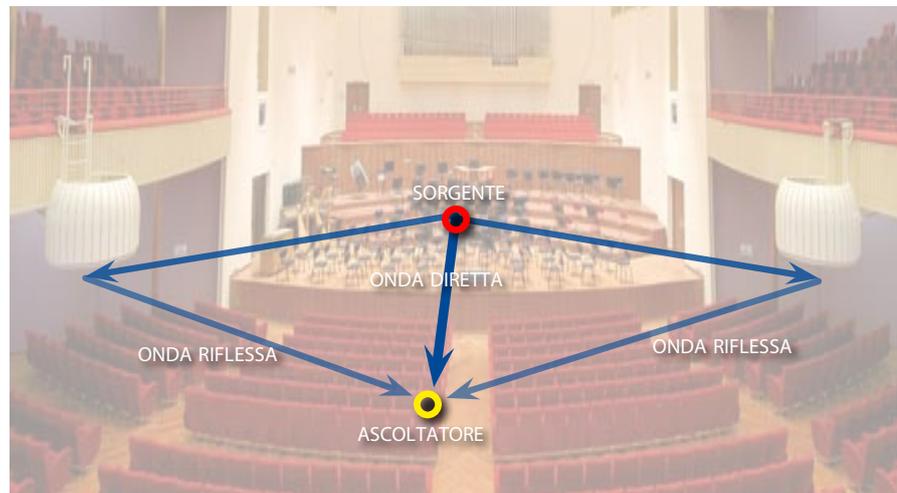


Fig. 15 - Riflessioni centrali

tipo di materiali per ambienti di questo tipo, risulta fondamentale considerare il tempo di riverberazione "a vuoto" della sala, ma anche con il pubblico all'interno, in quanto ogni persona contribuisce ad aumentare l'assorbimento acustico totale della sala.

Per valutare la qualità dell'ascolto durante la riproduzione dei brani musicali è stato utile spostarsi in due punti precisi della platea: al centro e a lato.

Come è facile prevedere, il punto in cui la qualità dell'ascolto risulta migliore è al centro, in quanto il ritardo tra l'onda diretta e le riflessioni laterali (che arrivano in contemporanea e con lo stesso valore di attenuazione) è minimo (figura 15).



Fig. 14 - Diffusori sospesi.



Fig. 16 - Riflessioni laterali

Lateralmente, invece, la sensazione acustica varia leggermente e il suono appare più cupo. Questo fondamentalmente per il fatto che la fila laterale si trova sotto la balconata e vicino a dei pilastri; in questo modo l'energia dell'onda diretta si somma a quella dell'onda riflessa e diffratta alle basse frequenze, creando quindi un raddoppio dell'energia stessa, e provocando la sensazione di un suono più cupo (figura 16).



Fig. 17 - Casa del suono.



Fig. 18 - Il lampadario sonoro.

L'onda che viene riflessa dalla parete più lontana deve compiere un percorso nettamente più lungo di quella riflessa dalla parete opposta, oltre al fatto che viene attenuata quasi completamente prima di arrivare al punto di ascolto (soprattutto nel caso in cui la sala sia piena).

2.2 CASA DELLA SUONO – PARMA

La Casa del Suono di Parma (figura 17) è un ambiente realizzato all'interno dell'ex chiesa di Santa Elisabetta con l'intento di essere sia museo, sia progetto multidisciplinare che la Casa della Musica dirige in collabora-

zione con l'Università di Parma. Al suo interno, oltre a contenere una collezione di strumenti di diffusione dagli anni '20 fino a oggi, offre la possibilità di effettuare delle prove di ascolto utilizzando sistemi di diffusione innovativi quali il lampadario sonoro e la sala bianca, allestita con un sistema di diffusione surround basato sulla Wave Field Synthesis (WFS)^{Nota 9}.

Nota 9 - tecnica che permette di creare ambienti acustici virtuali. Si producono fronti d'onda artificiali sintetizzando un certo numero di altoparlanti. A differenza di altre tecniche la localizzazione delle sorgenti virtuali non dipende dalla posizione dell'ascoltatore.

Il lampadario sonoro (figura 18) è un'installazione che permette di creare sorgenti virtuali in movimento sopra l'ascoltatore attraverso l'uso della Wave Field Synthesis, formata da 224 altoparlanti disposti in 64 gruppi alimentati da 64 canali audio. Il sistema è gestito da un elaboratore centrale che usa un software creato ad hoc, da un'interfaccia audio che consente di utilizzare 64 canali audio digitali in uscita, 8 convertitori digitale/analogico da 8 canali ciascuno e da altrettanti amplificatori a 8 canali, per un totale di 64 canali analogici finali. Camminando al di sotto del lampadario è effettivamente possibile percepire l'ampiezza del cono sonoro e discriminare le varie sorgenti, ottenendo come effetto complessivo una buona sensazione di immersione nella scena sonora. È da notare come questa sensazione sia favorita dal fatto di posizionare gli altoparlanti con un angolo di curvatura tale da fare in modo che il punto di intersezione delle onde si crei al di sopra della testa dell'ascoltatore, ponendo l'ascoltatore stesso completamente all'interno del cono sonoro.

La sala bianca, (figura 19) è un ambiente che ospita un sistema surround avanzato basato anch'esso sulla Wave Field Synthesis e gestito da un software apposito per questa applicazione. Questo sistema permette di ricreare un campo sonoro sfruttando un anello di 189 altoparlanti full-range disposti lungo il perimetro della stanza a 1.50 m di altezza.

Dagli ascolti effettuati all'interno si è potuto verificare come sia possibile ricreare una sensazione di campo tridimensionale, pur avendo sorgenti registrate in modo statico. Questa sensazione viene ricreata anche grazie alla funzionalità offerta dal software di simulare le sorgenti a diverse distanze dal punto di ascolto, che in questo caso è la sala stessa. La figura 20 corrisponde alla rappresentazione offerta dal software di simulazione: il rettangolo centrale è la stanza e le circonferenze simulano lo spazio di ascolto nell'ipotesi di uno spazio aperto. Le sorgenti sonore virtuali sono allocate in modo tale che movimento della sorgenti, loro intensità e distanza dall'osservatore simuli le condizioni di ascolto tridimensionale. L'effetto può essere estremamente realistico: la registrazione dell'abbaiare di un cane fermo in una posizione, ad esempio, può dare origine alla sensazione, da parte di un ascoltatore, di essere circondato da un intero branco di cani.

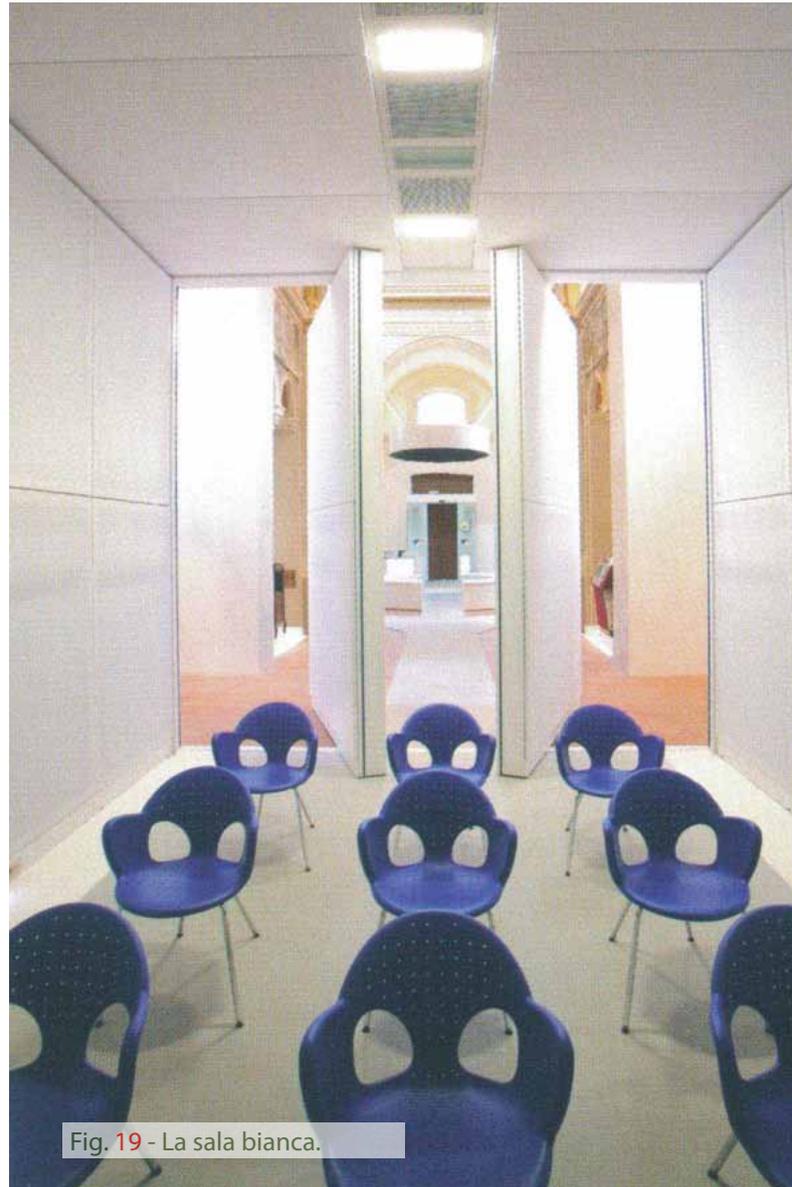
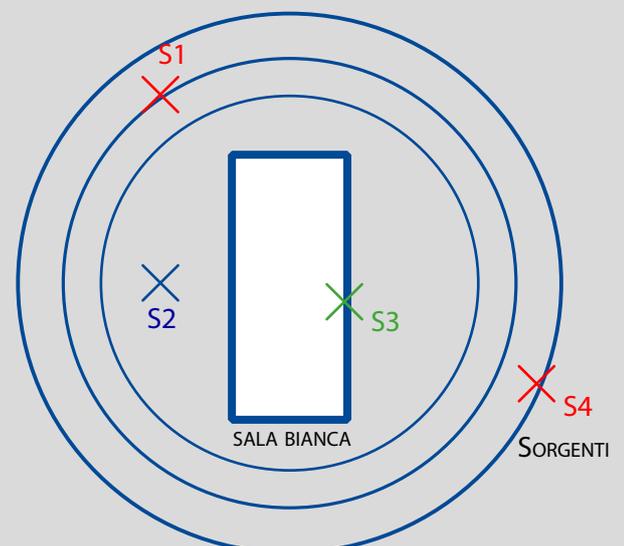


Fig. 19 - La sala bianca.

Fig. 20 - Gestione delle sorgenti virtuali via software.



In questo modo l'unione di elementi come la distanza delle sorgenti, il loro movimento e la loro altezza permettono di creare la sensazione di profondità del campo sonoro nell'ascoltatore.

Grazie al software è inoltre possibile simulare il riverbero tipico di diversi tipi di ambiente. Ciò è possibile registrando con dei microfoni Ambisonic le componenti di pressione e velocità tipiche di alcuni ambienti e successivamente applicandole ai vari segnali sonori. Come prova è stato ascoltato un brano di musica sinfonica a cui, in tempo reale, sono stati applicati i riverberi di una stanza di piccole dimensioni, del Teatro Farnese e di una cattedrale.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano in particolare l'Ing. Angelo Farina e l'Ing. Andrea Capra dell'Università degli Studi di Parma per le informazioni fornite in occasione della visita della Casa del Suono e per la gentile disponibilità.

BIBLIOGRAFIA

-  L. Scopece: "L'audio per la televisione", Roma, Gremese, 2009
-  Everest F. Alton: "Manuale di acustica", Milano, Hoepli, 1996.
-  S. Cingolani, R. Spagnolo, *Acustica musicale e architettonica*, Milano, Città degli studi, 2007
-  R. Spagnolo: "Manuale di acustica applicata", Milano, Città degli studi, 2008.
-  V. Lombardo, A. Valle: "Audio e multimedia", Milano, Apogeo, 2005