

Che cosa è, come funziona

Sistemi di diffusione sonora

Gli altoparlanti

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

1. INTRODUZIONE

Con le nuove tecniche di ripresa e con i nuovi sistemi di editing audio multicanale e surround, da un po' di anni è cambiato anche il modo di diffondere il segnale sonoro in ambienti di vario tipo: dalle sale per conferenza, che sono diventate ormai sale multimediali, a sale da concerto, alle chiese, ai cinema, agli ambienti domestici.

Sono anni ormai che l'utente si fornisce di sistemi di diffusione casalinghi, *home theatre*, composti normalmente di 5 casse acustiche con l'aggiunta di un sub-woofer (e molte volte dispone questi altoparlanti non dove devono essere disposti, ma dove "stanno bene" con l'arredo della stanza).

In questo articolo si vogliono illustrare le caratteristiche tecniche e tecnologiche degli altoparlanti, in modo che si possa avere un ampio ventaglio di conoscenze sull'argomento.

Sommario

Gli altoparlanti sono il mezzo con cui si riesce ad irradiare in un ambiente il lavoro che molte persone, tecnici, cantanti, produttori e quant'altri, hanno voluto realizzare, alcune volte anche con molti sacrifici. Il problema che ci si trova ad affrontare è proprio la scelta delle casse acustiche, sperando di avere sufficiente conoscenza sia tecnica che tecnologica, per poi arrivare a decidere come posizionarle. Molte volte ci si cimenta nella sonorizzazione di una sala senza avere le basi teoriche/tecniche per capire come fare in modo corretto. Non tutti sanno ad esempio che l'altoparlante, oltre ad essere l'ultimo anello della catena fonica, è anche quello più debole, quello che ha maggiore distorsione, maggiore rumore ed è il più complicato da orientare per tener conto delle differenze di fase che si possono creare tra più oggetti in un ambiente. In questo articolo si cerca di chiarire e dare una panoramica sui temi sopra elencati, ponendosi l'obiettivo di fornire le nozioni base per chi si vuole cimentare nella scelta del tipo di diffusione più adatta al contesto in cui deve e vuole lavorare.

* L'articolo è parte delle attività realizzate per la tesi proposta per la laurea specialistica in ingegneria di Alberto Ciprian: "Analisi e studio della diffusione sonora multicanale in ambienti chiusi. Studio e realizzazione di una stanza per l'ascolto surround". Tesi di Laurea Politecnico di Torino, 2010, sviluppata presso Centro Ricerche della Rai. Tutor Rai: dott. Leonardo Scopece.

2. PARAMETRI E GRANDEZZE

2.1 IMPEDENZA

L'impedenza rappresenta la grandezza elettrica assimilabile alla resistenza che complessivamente la bobina (*voice coil*) dell'altoparlante oppone al passaggio della corrente prodotta dall'amplificatore, quindi descrive la reazione elettrica dell'unità all'applicazione del segnale d'ingresso. Questa reazione dipende dalla frequenza del segnale applicato (nel caso di tono puro), oppure dalla frequenza di una certa componente (nel caso di segnale complesso). Conoscere questo parametro permette di rilevare, ad esempio, eventuali incompatibilità di funzionamento con elettroniche di amplificazione, oppure aiuta a scegliere il corretto schema di collegamento nel caso di utilizzo di più unità dello stesso tipo.

L'impedenza è una grandezza complessa, costituita da una parte reale, detta *resistenza*, e da una immaginaria, detta *reattanza*, la quale, a sua volta, è determinata da componenti induttive e capacitive variabili con la frequenza da riprodurre. Una diretta conseguenza dell'impedenza complessa consiste nello sfasamento tra la corrente entrante e la tensione applicata all'unità, che provoca fenomeni quali la *distorsione di fase*, e un funzionamento non ideale dell'amplificatore di potenza a cui l'unità è abbinata.

Sia il modulo dell'impedenza che l'argomento, sono variabili con la frequenza riprodotta e presentano solitamente un picco e un flesso in corrispondenza della frequenza di risonanza del sistema costituito da altoparlante e cassa (figura 1).

2.2 RISPOSTA IN FREQUENZA

La risposta in frequenza corrisponde alla rappresentazione in forma grafica dell'andamento, al variare della frequenza, del livello di pressione sonora emesso dall'unità in un ambiente acusticamente adatto, a seguito dell'applicazione ai terminali dell'unità di un segnale sonoro di livello costante.

Una singola risposta in frequenza, tuttavia, non è sufficiente a descrivere in modo completo le prestazioni di una certa unità (indipendentemente dal fatto che si tratti di un'unità bassi, medi o alti). Infatti, la risposta in frequenza di una medesima unità varia più o meno sensibilmente a seconda della posizione di valutazione considerata, anche lasciando ogni altra condizione inalterata.

2.3 SENSIBILITÀ

La sensibilità può essere definita come il valore del livello del valore efficace della pressione sonora emessa da un'unità a seguito dell'applicazione ai suoi morsetti di un segnale sinusoidale con potenza pari a 1 W e a 1000 Hz.

Di norma, la sensibilità viene espressa in dB_{SPL} (*Sound Pressure Level*) utilizzando come livello di riferimento un valore di pressione sonora standard (20 μPa). La misura viene eseguita in camera anecoica o in campo libero alla distanza di un metro e ponendo lo strumento (normalmente il fonometro) in asse con l'altoparlante. La specifica del segnale è effettuata in termini di tensione e non di potenza conseguentemente al fatto che l'impedenza di un altoparlante non è costante ed è generalmente diversa dal valore

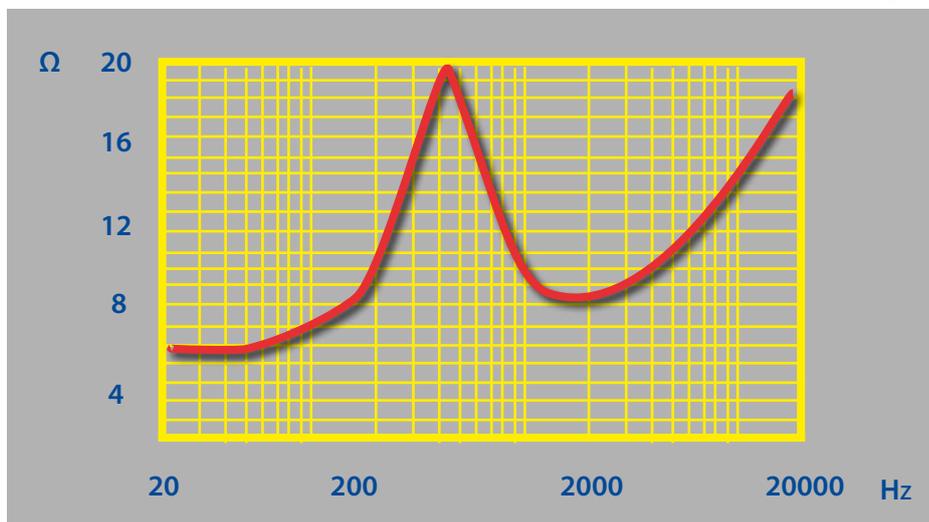


Fig. 1 - Andamento della curva di impedenza.

nominale. Tuttavia, il dato di sensibilità si indica tenendo come riferimento la potenza di 1 W; in tal caso, infatti, si ritiene implicitamente che la tensione di ingresso abbia un valore efficace di $0,35 V_{pp}$.

In genere, secondo le normative internazionali, la sensibilità di una certa unità deve essere rilevata in assenza totale di superfici riflettenti, cioè in condizioni anecoiche o di spazio libero. Il termine inglese più diffuso è *full-space loading*.

2.4 DISTORSIONE

La distorsione è un elemento fondamentale per qualunque tipologia di unità specializzata (*sub-woofer*, *woofer*, *middle*, *tweeter*). Solitamente si dice che un'unità genera distorsione quando confrontando il contenuto del segnale da riprodurre con quello del segnale riprodotto, si notano delle alterazioni.

Le alterazioni possono essere prodotte dalla comparsa di componenti sonore di frequenze non presenti in origine, o anche dalla variazione dei livelli o delle relazioni di fase tra le componenti del segnale da riprodurre. All'origine di questi comportamenti ci sono solitamente fenomeni di non linearità.

In un sistema di altoparlanti si considerano due tipi di distorsione:

- la distorsione armonica totale (THD)
- la distorsione da intermodulazione (IMD)

La distorsione armonica di un segnale comporta l'introduzione di componenti sonore spurie, multipli interi della frequenza della componente del segnale originario. Le componenti spurie vengono definite *armoniche di distorsione*, e a ciascuna di esse viene associato un numero detto *ordine*, che è dettato dal valore del multiplo che la lega alla componente originaria.

La distorsione da intermodulazione, invece, deriva da un processo di interazione tra coppie di componenti, di frequenza differente, del segnale audio da tradurre in suono. Ogni componente spuria viene denominata *prodotto di intermodulazione*.

2.5 FREQUENZA DI RISONANZA

Quando un sistema elastico viene sottoposto a una sollecitazione oscillatoria, reagisce diversamente a seconda della frequenza della sollecitazione. In particolare, il sistema elastico comincia a oscillare alla stessa frequenza della sollecitazione quando questa è simile alla frequenza di risonanza del sistema. Ogni sistema elastico, infatti, ha una propria frequenza di risonanza.

A questo punto, si può considerare un altoparlante come un sistema elastico, che quindi possiede una propria frequenza di risonanza (ad esempio 40 Hz). Applicando all'altoparlante un segnale elettrico sinusoidale e variando la frequenza del segnale, si nota che fino a quando la frequenza del segnale non si avvicina a quella di risonanza dell'altoparlante, la membrana non è sollecitata. Quando, invece, ci si avvicina ai 40 Hz, la membrana comincia a oscillare alla stessa frequenza ed è possibile udire un suono uscire dall'altoparlante di frequenza pari alla frequenza del segnale elettrico applicato.

2.6 POTENZA ACUSTICA

La potenza rappresenta una grandezza particolarmente importante per quanto riguarda la classificazione commerciale degli altoparlanti. Per questo motivo è possibile distinguere quattro tipologie di potenza:

- **Potenza Media:** calcolata in base alle letture RMS della tensione.
- **Potenza Musicale:** determinata tramite l'utilizzo di un segnale di prova sinusoidale. Tuttavia utilizzare solo questo dato per verificare la compatibilità di un sistema di altoparlanti con un certo amplificatore può portare a un sotto-dimensionamento del sistema stesso.
- **Potenza di Picco:** calcolata basandosi sui valori di picco del segnale applicato. Corrisponde a circa il doppio della potenza media.
- **Potenza Continua:** corrisponde alla potenza che l'unità può sopportare a un tempo indeterminato. Si riferisce al fatto che alcuni standard, come l'AES2, prevedono che il segnale venga applicato per intervalli di tempo determinati.

2.7 TENUTA IN POTENZA

Da un punto di vista operativo, la tenuta in potenza, o *power handling*, è un parametro fondamentale, in quanto rappresenta la capacità di una determinata unità di funzionare senza danneggiarsi ai regimi di amplificazione richiesti.

La procedura che permette di definirla, e riconoscerla a livello internazionale è quella indicata dalla norma EIA (*Electronic Industries Alliance*) RS-426B, soggetta a revisione periodica, nella quale viene specificato l'uso di un segnale di rumore rosa^{Nota 1} limitato nella banda 40 Hz ÷ 1 kHz. Questo segnale viene applicato all'altoparlante in aria libera, privo di cassa acustica, per almeno otto ore e al termine della prova l'altoparlante non deve presentare danni significativi.

2.8 PARAMETRI DI THIELE & SMALL

I parametri di Thiele e Small sono valori elettromeccanici che definiscono le prestazioni a bassa frequenza di un *driver*^{Nota 2}. Normalmente vengono pubblicati sulle schede tecniche, in quanto permettono al progettista di simulare la posizione, la velocità e l'accelerazione del diaframma, oltre che l'impedenza di ingresso e uscita di un sistema composto da altoparlante e *cabinet*^{Nota 3}.

I parametri più importanti sono:

- f_s : è la *frequenza di risonanza* in aria libera dell'altoparlante, espressa in Hz. Le oscillazioni del cono sono massime, se opportunamente eccitato, a questa frequenza. Il valore si può ricavare tramite la seguente relazione:

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_{ms} \cdot M_{ms}}}$$

dove M_{ms} rappresenta la massa totale dell'altoparlante e C_{ms} la cedevolezza delle sospensioni.

- R_e : corrisponde al valore della *resistenza della bobina mobile* in corrente continua, misurabile con un preciso ohmetro, oppure rilevando il valore degli ohm dal modulo dell'impedenza a frequenza zero.

- R_{es} : è la *resistenza elettrica* dovuta agli attriti meccanici delle sospensioni dell'altoparlante.
- Q_{ms} : rappresenta il *fattore di merito meccanico* e si può calcolare tramite la relazione:

$$Q_{ms} = 2\pi \cdot f_s \cdot C_{ms} \cdot R_{es}$$

- Q_{es} : corrisponde al *fattore di merito elettrico* dell'altoparlante in aria libera, alla frequenza di risonanza:

$$Q_{es} = 2\pi \cdot f_s \cdot C_{ms} \cdot R_e$$

- Q_{ts} : è il *fattore di merito totale* dell'altoparlante in aria libera, alla frequenza di risonanza:

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}$$

- Z_{nom} : è l'*impedenza nominale*^{Nota 4}. Rappresenta il valore di impedenza minima raggiunta nella curva caratteristica dell'altoparlante. Tale curva ha andamento irregolare: ha un picco in corrispondenza della frequenza di risonanza f_s , decresce progressivamente e quindi cresce di nuovo con l'aumentare della frequenza. Il valore di impedenza nominale è quello generalmente utilizzato per valutare il carico risultante ai morsetti dell'amplificatore a cui l'altoparlante verrà collegato.
- X_{nom} : corrisponde alla massima escursione lineare che il diaframma è in grado di compiere, senza riprodurre alcuna distorsione.

Nota 1 - rumore rosa, in inglese *pink noise*, è caratterizzato da una densità spettrale di potenza inversamente proporzionale alla frequenza: ad ogni ottava corrisponde l'identica quantità di potenza di rumore.

Nota 2 - Il termine inglese *driver* è utilizzato per individuare un singolo trasduttore, mentre *loudspeaker*, cioè altoparlante, indica il sistema complessivo, che può essere costituito da uno o più driver.

Nota 3 - termine inglese per indicare la cassa, contenitore dell'altoparlante.

Nota 4 - solitamente 4, 8 o 16 Ω .

3. TIPOLOGIE TECNOLOGICHE DI ALTOPARLANTI

3.1 MAGNETODINAMICI

Gli altoparlanti magnetodinamici rappresentano la tipologia maggiormente utilizzata nei sistemi di diffusione sonora. Sono caratterizzati da un magnete permanente che genera un campo magnetico nel quale è immersa una bobina mobile direttamente collegata al cono dell'altoparlante; ad essa viene applicato un segnale elettrico, opportunamente amplificato, il quale la fa muovere permettendo al cono di comprimere l'aria circostante e quindi di produrre un'onda sonora.

FUNZIONAMENTO

Il motore dell'altoparlante, come detto, è formato da un magnete permanente, da un circuito magnetico e da una bobina mobile. Nelle quasi totalità dei trasduttori moderni, il magnete è di forma toroidale ed è posto esternamente rispetto alla bobina mobile. In passato veniva utilizzato come materiale l'Alnico, una lega di alluminio, nichel e cobalto; tuttavia, a causa dell'elevato costo delle leghe metalliche, attualmente si utilizzano magneti ceramici, oppure magneti in neodimio^{Nota 5}.

Il circuito magnetico è costituito da due piastre e da un polo centrale di materiale metallico, con lo scopo di incanalare le linee di forza del campo magnetico e assicurare un'intensa induzione magnetica nel traferro.

La bobina mobile è avvolta su un supporto cilindrico di materiale leggero, rigido e resistente al calore; leggero perché è parte della massa mobile del trasduttore, rigido perché deve trasmettere la forza della bobina alla membrana senza deformarsi,

Nota 5 - metallo appartenente al gruppo delle "terre rare", o lantanidi, presente nella lega chiamata *mischmetal* fino al 18%. Ha un aspetto argenteo e lucente, tuttavia, essendo uno dei lantanidi più reattivi, si ossida rapidamente all'aria coprendosi di una patina di ossido che, desquamandosi, espone all'azione ossidante dell'aria nuovi strati di metallo fresco..

resistente al calore perché è a diretto contatto con la bobina che si riscalda per effetto Joule.

La bobina è composta da un conduttore isolato avvolto sul supporto e saldamente fissato ad esso per mezzo di adesivi ad alte temperature. Può essere realizzata in filo, in rame o alluminio a seconda del peso e delle caratteristiche richieste. Per generare la forza costante al variare della sua posizione nel traferro, deve avere un prodotto $B \cdot l$ costante, dove B rappresenta il campo magnetico e l la lunghezza della bobina. Questo è effetto si può ottenere con due geometrie:

- **Overhung:** in questa configurazione l'altezza della bobina h_{bm} è maggiore di quella del traferro h_{pp} . È il sistema più utilizzato per altoparlanti dedicati alle basse frequenze, perché permette buone escursioni e fattori di forza senza richiedere grandi magneti. In questo caso la massima escursione geometrica X_{max} è data da:

$$\frac{(h_{bm} - h_{pp})}{2}$$

Quindi, a parità di fattore di forza, grandi escursioni richiedono una bobina di altezza maggiore (a scapito della leggerezza).

- **Underhung:** in questo caso, invece, l'altezza del traferro h_{pp} è maggiore dell'altezza della bobina h_{bm} . È il sistema più utilizzato per altoparlanti destinati alla riproduzione delle alte frequenze, poiché non richiedono alte escursioni. In questo caso, il parametro X_{max} è dato da:

$$\frac{(h_{pp} - h_{bm})}{2}$$

Il vantaggio di questa soluzione consiste nel consentire un rendimento elettroacustico più elevato dato che tutte le spire sono concatenate con il flusso magnetico, tuttavia, presenta anche lo svantaggio di dover utilizzare magneti di grandi dimensioni e quindi il costo per la sua realizzazione risulta più elevato.

3.2 ELETTROSTATICI

Gli altoparlanti elettrostatici sono principalmente caratterizzati dalla possibilità di utilizzare un campo elettrico al posto di quello magnetico. Il funzionamento tipico di questi altoparlanti si basa su una proprietà caratteristica dei condensatori, cioè la variazione di capacità che si ottiene variando la distanza di due lamine. Applicando quindi una tensione di frequenza variabile ai capi dell'altoparlante, la lamina mobile inizia ad essere attratta in funzione del valore di tensione applicato. Questo dispositivo ha anche il vantaggio di fermare la tensione continua di polarizzazione, avendo un'impedenza molto elevata per i segnali che servono a pilotarlo.

FUNZIONAMENTO

Dal punto di vista tecnico, gli altoparlanti elettrostatici sono formati da tre elementi fondamentali, due statori^{Nota 6} e una membrana (figura 2).

La membrana si muove all'interno degli statori sotto l'azione di un campo elettrico generato dagli statori stessi: è necessario, quindi, che gli statori siano di materiale conduttivo e, affinché non ostacolino la fuoriuscita del suono verso l'esterno, devono presentare un'abbondante superficie aperta. Per questo motivo sono in genere realizzati con una lamiera forata o una rete. La membrana è composta da una pellicola di materiale ad alta resistività, elastico, leggero e robusto.

Per valutare i vantaggi dell'utilizzo di un pannello elettrostatico nei confronti di un altoparlante tradizionale è necessario analizzarne il funzionamento. Innanzitutto, considero un sistema formato da uno statore e una membrana (figura 3).

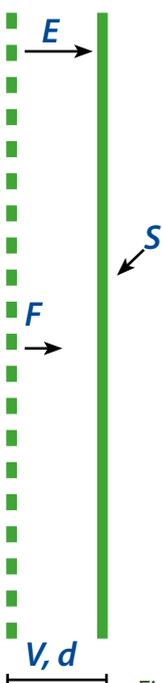


Fig. 3 - Statore e membrana.

dove:

- d è la distanza tra lo statore e la membrana
- S è l'area dello statore (e per ipotesi anche della membrana)
- V è la tensione applicata tra lo statore e la membrana
- q è la densità di carica presente sulla membrana
- F è la densità di forza applicata alla membrana
- E è il campo elettrico presente all'interno dello spazio tra statore e membrana

Lo statore e la membrana costituiscono quindi un condensatore a facce piane e parallele, la cui capacità è data dalla relazione:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$$

dove ϵ_0 corrisponde alla costante dielettrica nel vuoto.

Nota 6 - in una macchina avente parti in movimento, lo statore è l'insieme delle parti fisse.

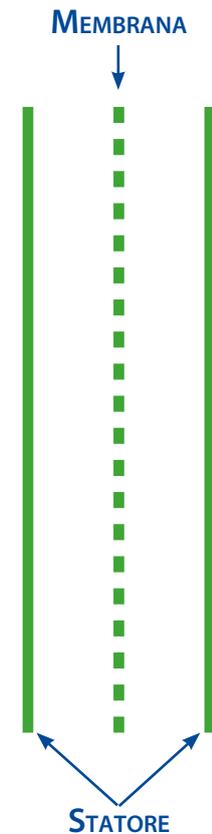


Fig. 2 - Componenti principali di altoparlante elettrostatico.

All'interno di questo condensatore è presente un campo elettrico, la cui intensità è data dal rapporto fra la tensione applicata alle armature e la distanza fra le armature stesse:

$$E = -\frac{V}{d}$$

Il legame tra la carica accumulata nel condensatore e la tensione fra le armature è:

$$Q = C \cdot V = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \cdot V$$

Quindi la densità di carica su ciascuna armatura vale:

$$q = \frac{Q}{S} = \epsilon_0 \cdot \frac{V}{d}$$

Infine, poiché il prodotto fra la carica e l'intensità del campo elettrico in cui è immersa determina l'intensità della forza applicata alla carica stessa, si ha che

$$F = q \cdot E = \epsilon_0 \cdot (V/d)^2$$

q è la densità di carica sulla membrana e F è la densità di forza applicata alla membrana.

Quindi, la forza complessiva agente sulla membrana è data dal prodotto tra la densità di forza e la superficie complessiva della membrana:

$$F_{tot} = F \cdot S$$

Da queste considerazioni emerge un primo elemento importante: la forza che muove la membrana è applicata in modo uniforme su tutta la superficie della membrana stessa, quindi al crescere delle dimensioni aumenta anche la forza.

Tuttavia è da notare che una struttura formata da un pannello elementare, come quella appena descritta, non si può utilizzare in pratica a causa della deformazione della membrana a riposo. E' necessario infatti che la membrana a riposo si trovi in una posizione intermedia che le consenta il massimo spostamento senza però toccare l'armatura. Ma la

posizione della membrana è connessa con il valore della tensione applicata, che dipende dall'elasticità della membrana e che, a sua volta, dipende da quanto viene tesa la pellicola in fase di costruzione.

Inoltre, va considerato il fatto che siccome il campo elettrico si sviluppa soltanto tra la membrana e lo statore, una variazione della distanza ne provoca una forte variazione, provocando un funzionamento non lineare e una forte distorsione del suono riprodotto.

Per questi motivi è necessaria una soluzione basata su un doppio statore. In questo modo, la membrana a riposo si mantiene nella posizione intermedia fra gli statori e la dipendenza del campo elettrico dalla posizione della membrana viene ridotta. Quindi, a riposo ai due statori deve essere applicata la stessa tensione di polarizzazione, e il segnale audio deve agire variando le tensioni sugli statori in quantità uguali e opposte.

Ripetendo l'analisi precedente si ottiene che la densità dei carica depositata sulla membrana vale:

$$q = 2 \epsilon_0 \cdot \frac{V_p}{d}$$

e la densità di forza applicata alla membrana vale:

$$F = q \cdot E_s = 2 \epsilon_0 \cdot \frac{V_p}{d} \cdot \frac{V_s}{d}$$

dove V_p è la tensione di polarizzazione e V_s è la tensione "audio". Queste due tensioni si possono applicare come nello schema di figura 4.

Infine, è da notare che la carica depositata sulla membrana non deve variare durante il movimento della membrana stessa, altrimenti si ottiene un comportamento non lineare

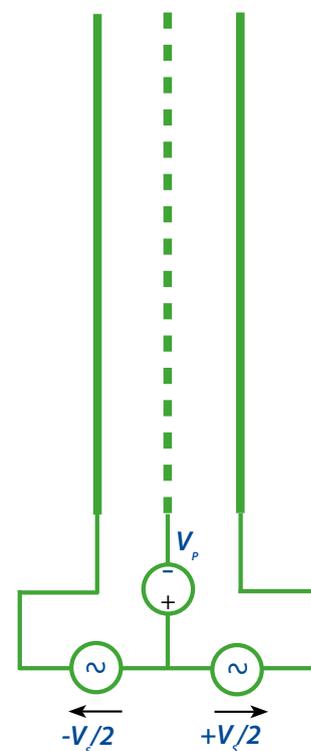


Fig. 4 - Tensioni applicate.

a causa del fatto che il legame tra forza, carica e campo elettrico subisce grandi variazioni durante il passaggio da una posizione all'altra. Per questo motivo, la cosa migliore è che la membrana abbia una resistività elevata.

3.3 PIEZOELETTRICI

Questo tipo di altoparlante sfrutta la proprietà di alcuni materiali di entrare in vibrazione quando vengono percorsi da corrente elettrica. La piezoelettricità viene quindi utilizzata per convertire il segnale elettrico in onde acustiche. La frequenza della vibrazione è correlata alla frequenza della corrente applicata e in questo modo viene riprodotto il suono trasportato dal segnale elettrico.

La struttura è rappresentata in figura 5.

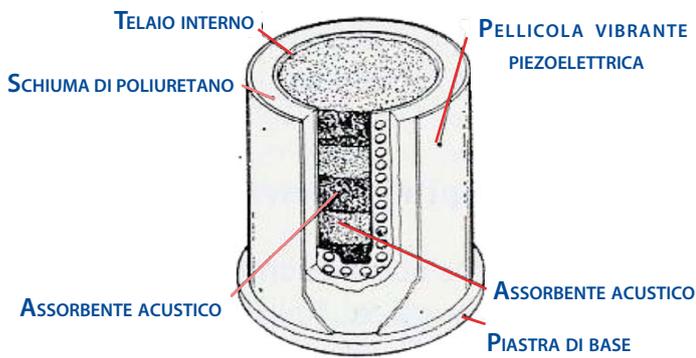


Fig. 5 - Struttura.

Questi altoparlanti sono caratterizzati da un'elevata efficienza e impedenza. Per questo motivo, sono adatti per la realizzazione di matrici di altoparlanti composte da un elevato numero di elementi che, collegati in parallelo, offrono in blocco un'efficienza analoga a quella dei comuni altoparlanti elettrodinamici. Inoltre, gli altoparlanti piezoelettrici sono in grado di riprodurre frequenze molto elevate e per questo vengono impiegati soprattutto come tweeter.

Alcuni materiali piezoelettrici utilizzabili come "motore" di un altoparlante sono:

- Sale di Rochelle
- Titanato di Bario
- Zirconato di Piombo
- Film polimerici

4. UNITÀ SPECIALIZZATE:

GAMMA DI FREQUENZE DEDICATA

In un sistema di altoparlanti le unità specializzate rappresentano una parte fondamentale, in quanto sono in grado di fornire prestazioni soddisfacenti limitatamente alla riproduzione dei suoni appartenenti a una specifica gamma di frequenze.

Le unità specializzate si possono classificare in tre categorie:

- **woofer**: specializzati nella riproduzione di suoni di bassa frequenza, dal limite inferiore della banda udibile (20 Hz) fino a frequenze di poche centinaia di hertz
- **mid-range**: specializzati nella riproduzione di suoni di media frequenza, da qualche centinaia di hertz fino a un limite superiore di poche migliaia di hertz
- **tweeter**: specializzati nella riproduzione di suoni di alta frequenza, da poche migliaia di hertz fino al limite superiore della banda udibile (20 kHz)

Tuttavia, è da sottolineare che queste tre categorie possono essere estese per i componenti in grado di riprodurre suoni sotto i 20 Hz e sopra i 20 kHz; si aggiungono quindi anche i subwoofer e i super-tweeter.

4.1 COMPOSIZIONE DELLE UNITÀ SPECIALIZZATE

L'elemento centrale di ogni unità specializzata è l'altoparlante. Ogni altoparlante riceve in ingresso un segnale audio amplificato e il conseguente movimento del diaframma determina variazioni istantanee della pressione circostante, che l'orecchio percepisce come suono.

Tutte le unità sono caratterizzate anche da un secondo elemento che non si può considerare come secondario: la cassa. Il suo ruolo è legato all'esigenza di ottenere risultati precisi in termini di risposta elettroacustica dell'unità specializzata. Ad esempio, in un'unità con altoparlante magnetodinamico montato in una cassa chiusa ermeticamente (figura 6), il mobile, che contiene all'interno materiale fibroso, ha la funzione di assorbire al meglio la radiazione posteriore del driver, al fine di prevenire il *cortocircuito acustico*^{Nota 7}. Un'unità specializzata che prevede un simile abbinamento driver-cassa viene definita a sospensione pneumatica, o *closed box*.

Un altro possibile abbinamento driver-cassa prevede che la cassa non sia completamente chiusa e che, invece, presenti una o più aperture per il recupero in fase di una porzione di interesse della radiazione posteriore dell'altoparlante (figura 7).

Le due possibili configurazioni descritte fanno parte della categoria dei sistemi di trasduzione a *radiazione diretta*, poiché la membrana del driver si affaccia direttamente sull'ambiente da sonorizzare.

Nota 7 -fenomeno che provoca un drastico peggioramento delle prestazioni alle frequenze più basse.

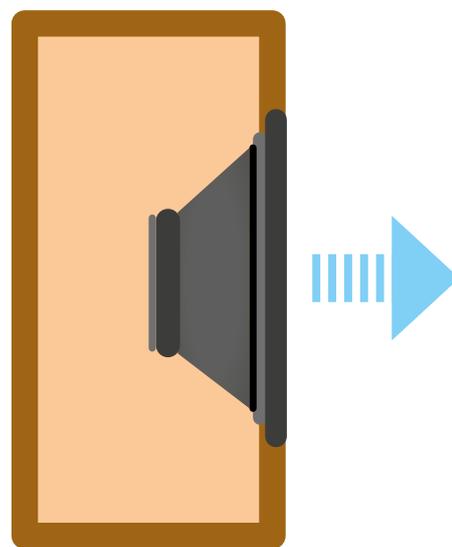


Fig. 6 - Struttura driver mobile a cassa chiusa.

Da qui si deduce, quindi, che i sistemi a *radiazione indiretta* prevedono, invece, una sorta di anticamera tra altoparlante e ambiente da sonorizzare. Un esempio di questa categoria è l'unità bassi di tipo *passabanda* (figura 8), nella quale il woofer è montato internamente al mobile su una parete che delimita due camere che possono essere entrambe aperte ed eventualmente dotate di un "condotto di accordo"; in questo caso si parla di unità *a doppio carico reflex*.

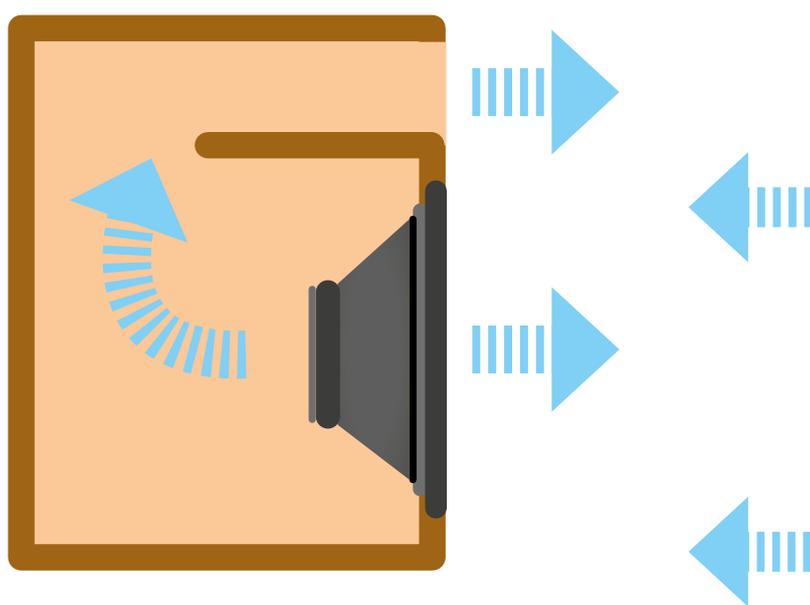


Fig. 7 - Struttura driver mobile a cassa aperta.

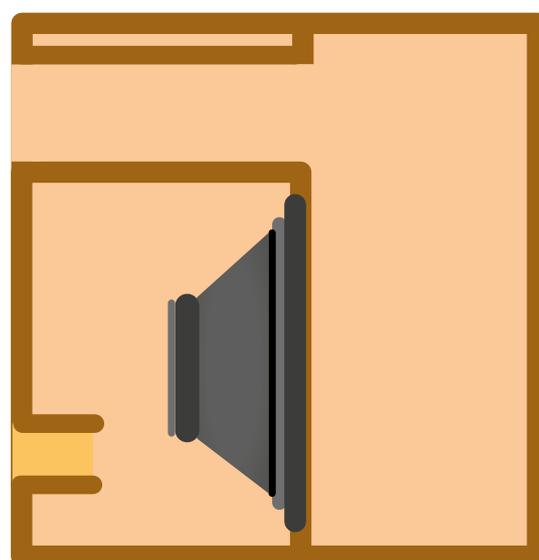


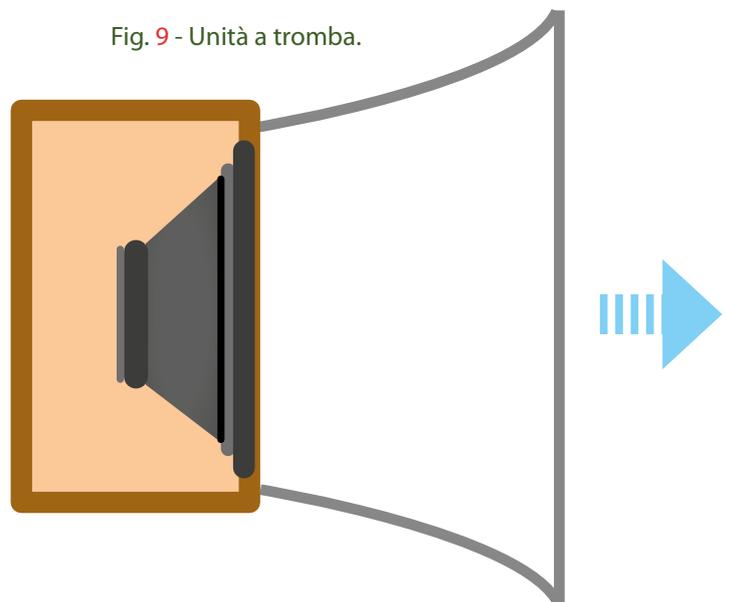
Fig. 8 - Unità in cassa passa-banda o a doppio carico reflex.

Un altro esempio di sistema a radiazione indiretta è l'unità a tromba (figura 9), in cui la radiazione frontale del driver viene guidata verso l'ambiente da sonorizzare da un condotto a sezione crescente, detto tromba, mentre la radiazione posteriore arriva in un volume chiuso in modo da essere annullata.

Un'unità specializzata può prevedere anche l'impiego di più driver dello stesso tipo e può contenere all'interno una rete di filtraggio passiva, costituita da induttori e condensatori, interposta tra altoparlanti e ingresso dell'unità specializzata. Le reti di filtraggio utilizzate sono:

- **filtri passa-basso:** consentono il transito con una minima attenuazione dei componenti di segnale di frequenze inferiori alla frequenza di taglio
- **filtri passa-alto:** consentono il transito con una minima attenuazione dei componenti di frequenza superiori alla frequenza di taglio
- **filtri passa-banda:** consentono il transito con una minima attenuazione dei componenti di frequenza appartenenti a un certo intervallo di frequenze delimitato inferiormente dalla frequenza di taglio inferiore e superiormente dalla frequenza di taglio superiore

Fig. 9 - Unità a tromba.



4.2 IL CIRCUITO DI CROSSOVER

Il circuito di crossover rappresenta un componente necessario in sistemi che utilizzano vari tipi di unità a seconda della frequenza. Sono composti da filtri che hanno il compito di suddividere il segnale in ingresso in più segnali che coprono, ognuno, una banda di frequenza. Ad esempio, un circuito di crossover a tre vie (figura 10) genera tre segnali: uno contenente le basse frequenze per il woofer, uno le medie frequenze per il mid-range, e uno le alte frequenze per il tweeter.

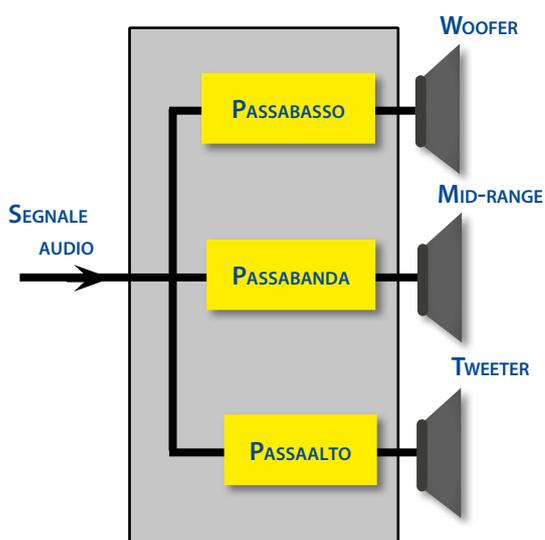


Fig. 10 - Crossover a tre vie.

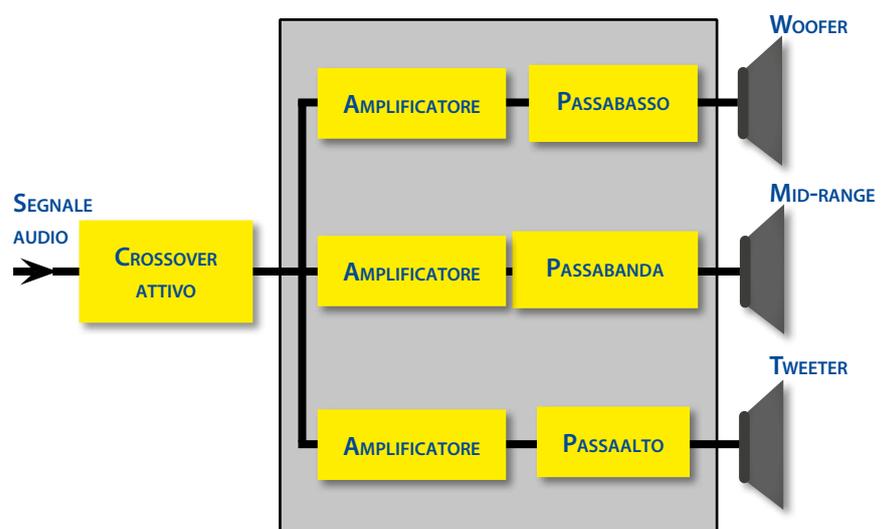
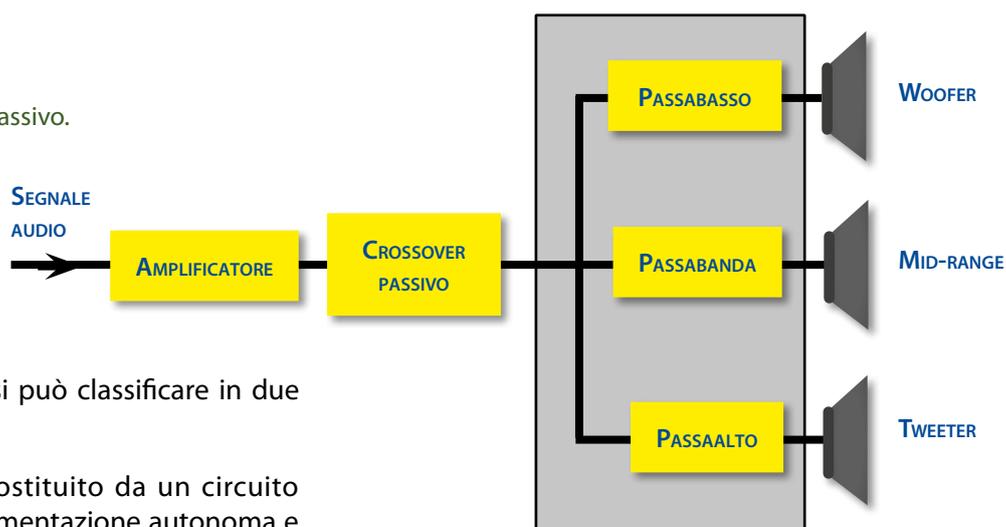


Fig. 11 - Crossover attivo.

Fig. 12 - Crossover passivo.



Un circuito di crossover si può classificare in due categorie:

- **crossover attivo:** è costituito da un circuito attivo dotato di un'alimentazione autonoma e interviene sul segnale prima che questo venga amplificato. In questo modo, all'uscita si hanno tre segnali (nel caso di crossover a tre vie), ognuno dei quali con la propria composizione in banda, che verranno successivamente amplificati separatamente (figura 11).
- **crossover passivo:** in questo caso il segnale arriva al crossover dopo essere stato amplificato (figura 12). Usando un solo amplificatore, il crossover non ha la necessità di essere alimentato. Questa soluzione è la più economica, ma presenta lo svantaggio di offrire una qualità minore in quanto presuppone l'uso di un solo amplificatore per l'intera banda dello spettro udibile e, quindi, anche un'amplificazione approssimativa del segnale.

5. UNITÀ PER LA GAMMA DI FREQUENZA BASSA

L'unità bassi è un sistema elettroacustico specializzato nella riproduzione di suoni di bassa frequenza nell'ambito di un intervallo compreso da un limite inferiore di 20÷50 Hz fino a un limite superiore di poche centinaia di hertz, e può essere costituito da uno o più altoparlanti accoppiati posteriormente a un volume aperto o chiuso, con una struttura a radiazione diretta o indiretta.

A causa della particolare collocazione in frequenza, in relazione alle caratteristiche percettive del sistema uditivo, a queste unità è richiesto di produrre elevate pressioni sonore per poter avere un livello di ascolto in linea con quello delle unità destinate alle medie e alte frequenze, alle quali ne bastano di meno.

5.1 WOOFER

Un woofer (figura 13) è un tipo di altoparlante destinato alla riproduzione delle basse frequenze, tipicamente tra 40 Hz e pochi kHz. Solitamente la struttura corrisponde a quella di un driver elettrodinamico, con la caratteristica principale di avere peso e dimensioni superiori alle altre tipologie di altoparlante.

Dal punto di vista tecnico, la struttura interna è costituita da un cono di diametro sufficientemente largo, da una bobina in filo di rame e da un grande magnete in grado di fornire il flusso magnetico necessario per gli spostamenti assiali della bobina solidale al cono.

Il cono può essere realizzato con diverse tipologie di materiale, come: carta, resine plastiche o leghe metalliche.



Fig. 13 - Woofer.

5.2 SUBWOOFER

Il subwoofer (figura 14) è il componente destinato alla riproduzione dei suoni a bassissima frequenza, appartenenti cioè a una gamma di frequenze compresa tra 20 Hz e 200 Hz. A causa della gamma di frequenze limitata, la maggior parte dei subwoofer viene usata per aumentare la produzione degli altoparlanti che coprono le bande di frequenza più alte.

A livello tecnico, i subwoofer, utilizzano coni di 10-12 pollici di diametro e la necessità di queste dimensioni deriva dal fatto che le basse frequenze implicano un grande spostamento d'aria. L'alimentazione arriva tramite un amplificatore e la frequenza a loro dedicata viene tagliata dal circuito di crossover che assicura il fatto che le medie e le alte frequenze non arrivino al subwoofer stesso.

6. UNITÀ PER LA GAMMA DI FREQUENZA MEDIO-ALTA

L'unità per la riproduzione della gamma di frequenza medio-alta è un sistema elettroacustico specializzato nella riproduzione di suoni di frequenza nell'intervallo compreso da un limite qualche centinaia di hertz fino al limite superiore della banda dell'udito che corrisponde a 20 kHz. Un'unità di questa categoria è comunemente formata da almeno una coppia di altoparlanti: uno destinato alla riproduzione della gamma media, il mid-range, e uno destinato alla riproduzione della gamma acuta, il tweeter.



Fig. 15 - Mid-range.



Fig. 14 - Subwoofer.

6.1 MID-RANGE

I mid-range (figura 15) sono i componenti in grado di riprodurre una gamma di frequenze compresa tra 300 Hz e 8 kHz (intervallo in cui è compresa la voce umana), e si presentano generalmente con struttura a cono o cupola.

I materiali più utilizzati per la realizzazione sono, ad esempio, il tessuto Kevlar, le fibre di carbonio e le leghe di metalli leggeri a base di alluminio, magnesio e titanio. La superficie radiante di un mid-range a cupola è, in genere, una sezione di 90 gradi di una sfera, realizzata in metallo o film plastico, con la sospensione e la co-bobina situata sul bordo esterno della cupola.

6.2 TWEETER

Il tweeter è un componente dedicato alla riproduzione delle alte frequenze, solitamente dai 5÷8 kHz ai 20 kHz (alcuni sono in grado di arrivare fino a 45 kHz).

Dal punto di vista tecnico sono dispositivi elettrodinamici formati da una bobina sospesa in un campo magnetico. Elettrificando la bobina è possibile generare un campo magnetico variabile, che lavora in opposizione al campo magnetico fisso, costringendo la bobina e il diaframma ad essa collegato a muoversi. Siccome la bobina e il diaframma sono collegati insieme, i movimenti producono movimenti d'aria che permettono di riprodurre i suoni acuti.

I tweeter moderni si differenziano abbastanza rispetto alle versioni precedenti, le quali erano di solito piccole versioni di woofer, e ovviamente anche i componenti interni si sono sviluppati notevolmente. Ad esempio i diaframmi di molti tweeter a cupola sono termoforati da film di poliestere impregnati con una resina polimerica.

Per quanto riguarda i materiali, vengono maggiormente utilizzati l'alluminio, il titanio, il magnesio e il berillio, essendo leggeri e rigidi, ma con basso smorzamento. Inoltre presentano una risonanza sopra i 20 kHz. Talvolta, vengono utilizzati materiali meno diffusi come, ad esempio, il diamante sintetico, avendo un'estrema rigidità, ma anche fogli di polietilene e tessuti di seta.

Esistono diverse tipologie di tweeter, di seguito vengono descritte le principali.

TWEETER A CUPOLA

I tweeter a cupola (figura 16) sono realizzati collegando una bobina a una cupola, realizzata con un metallo sottile, agganciata ad un magnete e presentano una piastra frontale. Normalmente vengono classificati in base al diametro della bobina, che varia tra 19 mm e 38 mm (la tipologia più diffusa misura 25 mm).

TWEETER A CONO

La struttura di questo tipo di tweeter è molto simile a quella di un woofer, ma ottimizzata per lavorare alle alte frequenze (figura 17). Le caratteristiche principali consistono in un cono piccolo e leggero, in modo da potersi muovere velocemente, e in sospensioni più rigide, in quanto per riprodurre le alte frequenze è necessaria una rigidità maggiore. I materiali utilizzati sono abbastanza rigidi (come la ceramica) e presentato uno smorzamento buono.

TWEETER PIEZOELETTRICO

Questa tipologia di tweeter (figura 18) è caratterizzata dal fatto di contenere un cristallo piezoelettrico accoppiato a un diaframma meccanico. Se si applica un segnale audio al cristallo, questo risponde flettendosi in modo proporzionale alla tensione applicata alle superfici del cristallo. L'elemento attivo è il cuore del trasduttore, in quanto serve a convertire l'energia elettrica in energia acustica, ed è costituito da un materiale polarizzato, con elettrodi collegati a due delle facce opposte. Applicando un campo elettrico, le molecole polarizzate si allineano con esso, con la conseguente induzione dei dipoli all'interno della struttura molecolare, o cristallina, del materiale. Inoltre, viene aggiunto un materiale permanentemente polarizzato, come il titanato di Bario (BaTiO_3), che produce un campo elettrico quando cambiano le dimensioni del materiale a seguito di una forza meccanica. Questo è quello che viene definito effetto piezoelettrico.



Fig. 16 - Tweeter a cupola.



Fig. 17 - Tweeter a cono.



Fig. 18 - Tweeter piezoelettrico.

TWEETER A NASTRO

I tweeter a nastro (figura 19) utilizzano una membrana sottile (come l'alluminio), che supporta una bobina planare sospesa in un campo magnetico per riprodurre le alte frequenze. Il nastro è composto di materiale molto leggero e quindi capace di accelerazioni molto forti e di una risposta in frequenza elevata. I nastri solitamente non hanno un grande rendimento, tuttavia le versioni di tweeter con potenza elevata stanno diventando comuni in sistemi di amplificazione con struttura *line-array*.

TWEETER A TROMBA

Questi tweeter (figura 20) sono realizzati utilizzando una delle tipologie di tweeter precedentemente illustrata agganciata a una struttura a tromba. Quest'ultima permette, infatti, di controllare la dispersione e aumentare l'efficienza. Più è grande la tromba e minore è la frequenza con cui si può lavorare.



Fig. 19 - Tweeter a nastro.



Fig. 20 - Tweeter a tromba.

PLASMA TWEETER

Il tweeter al plasma invece di impiegare una membrana mobile (come i classici altoparlanti), diffonde delle onde di pressione generando un plasma mediante una scarica che attraversa l'aria. Il plasma generato dalla scarica è composto da ioni ed è caratterizzato da una massa e una densità diversa da quella dell'aria fredda che circonda la scarica: modulando le dimensioni della scarica, si ottiene lo spostamento del fronte fra aria fredda e plasma. In virtù della differenza di densità, lo spostamento del confine aria-plasma provoca uno spostamento della stessa aria e, di conseguenza, si originano le onde di pressione responsabili della diffusione del suono.

Questo è il tweeter dalla tipologia più complessa e offre il vantaggio di realizzare un diaframma molto sensibile al segnale d'ingresso. Tuttavia presenta due svantaggi: ha un rendimento piuttosto basso nel caso in cui non venga accoppiato a una tromba e produce ozono, che è un gas tossico.

6.3 SUPER TWEETER

Il super-tweeter è il componente dedicato alla riproduzione delle frequenze superiori alla gamma di frequenze riprodotte da un normale tweeter. Viene utilizzato per ricreare un campo sonoro realistico, integrando il suono del tweeter e riproducendo le frequenze che il tweeter può riprodurre soltanto con una forte distorsione.

Un Super-Tweeter è generalmente destinato a rispondere bene alle frequenze fino ai 20 kHz, che rappresentano il limite superiore della gamma di frequenze percepite dall'orecchio umano, arrivando fino a 100 kHz.

7. ALTOPARLANTI PER APPLICAZIONI PARTICOLARI

Spesso capita di trovarsi in situazioni in cui è richiesta una particolare tipologia di diffusione sonora legata a standard specifici o più semplicemente alla volontà di ottenere risultati soddisfacenti in termini di copertura, pressione sonora e di emissione in direzioni desiderate. Per questi motivi, esistono sul mercato altoparlanti specifici per la quasi totalità delle applicazioni.

7.1 CINEMA

La realizzazione dell'impianto di diffusione acustica nelle sale cinematografiche è regolata dalla normativa ISO-SMPTE 2969, che prevede l'utilizzo di tre diverse unità di altoparlanti: un'unità full-range a due/tre vie per i canali retroschermo, un subwoofer per la riproduzione delle basse frequenze e un'unità full-range a una/due vie per l'effetto surround.



Fig. 21 - Unità retroschermo a tre vie.

La prima unità è realizzata accoppiando un'unità di medio-bassi a radiazione diretta con un'unità a tromba (figura 21). Solitamente viene posizionata molto vicino a un pannello collocato dietro lo schermo, in modo da confinare l'emissione lungo una sola direzione.

Per quanto riguarda il subwoofer, il suo compito consiste nella riproduzione degli effetti a bassa frequenza, arrivando, in termini di banda passante, fino a 120 Hz e riproducendo le frequenze al limite della gamma audio con un adeguato livello di pressione sonora.

Per quanto riguarda le unità full-range dedicate al surround, bisogna evidenziare il fatto che nei normali sistemi surround analogici^{Nota 8} il segnale è inviato al canale surround a banda ristretta fino a 7 kHz, mentre in quelli digitali^{Nota 9} la gamma del canale surround è intera, quindi le unità altoparlanti per il surround sono realizzate utilizzando un sistema a due vie a radiazione diretta anche per il tweeter, che solitamente è a cupola.

7.2 STUDI E REGIE

Le unità altoparlanti utilizzate negli studi di registrazione e nelle regie audio, dette monitor, si distinguono dalle altre tipologie grazie alla caratteristica di avere una risposta in frequenza costante su tutta l'estensione della gamma audio e avere una bassa distorsione, anche in presenza di livelli alti di pressione sonora.

Dal punto di vista costruttivo, i monitor sono caratterizzati dalla possibilità di includere l'amplificazione. Vengono, quindi, definite "unità attive". Inoltre, il fatto di avere l'amplificazione interna, garantisce anche un'ottimizzazione del rendimento energetico del sistema consentendo il raggiungimento di pressioni sonore elevate.

7.3 GRANDI SONORIZZAZIONI

Il trattamento acustico dei grandi ambienti, come palazzetti o aree outdoor, necessita di una strumentazione particolare e soprattutto di una configurazione ad hoc dei singoli componenti in base al tipo di applicazione.

In questi casi, solitamente, si utilizzano le cosiddette unità *Line Array* (figura 22), costituite da schiere verticali di altoparlanti, seguendo, con le dovute proporzioni, il modello dei diffusori verticali presenti in ambienti come le chiese.

La direttività di ogni altoparlante varia in base alla frequenza, ad esempio, un altoparlante da 15" alle basse frequenze si comporta come omnidirezionale e la sua direttività aumenta in modo proporzionale con la frequenza. Posizionando gli altoparlanti uno sopra l'altro e pilotandoli con lo stesso segnale, si ottiene un particolare tipo di direttività: si creano infatti due tipi di zone, una in asse, dove si verifica un'interferenza costruttiva favorendo anche l'aumento di pressione sonora di 6 dB, e una fuori asse che provoca la cancellazione con la conseguente diminuzione della pressione sonora. L'interferenza distruttiva prende il nome di *combining*^{Nota 10}, in quanto le cancellazioni si verificano in modo regolare lungo l'asse delle frequenze.

Nota 8 - Dolby Stereo.

Nota 9 - Dolby SR-D, DTS.

Nota 10 - da comb, pettine in inglese.



Fig. 22 - Esempio di Line Array.

La struttura *Line Array* fa in modo che le interferenze costruttive si verifichino dentro l'asse della schiera, mentre quelle distruttive siano rivolte verso i lati. E' da notare che in questo tipo di struttura, il *combing* non viene considerato come un elemento negativo, in quanto viene sfruttato per ottenere direttività di emissione sul piano verticale. Quindi si ottiene una diffusione maggiormente direttiva in verticale, mentre sul piano orizzontale l'apertura rimane la stessa di ciascun diffusore.

La forma del fronte d'onda si può quindi considerare come una porzione di cilindro. Questo, presenta il vantaggio di diffondere l'energia in maniera molto più direttiva, su una superficie ridotta rispetto a un fronte d'onda sferico. Infatti, un'onda a porzione sferica risponde alla legge del quadrato inverso, secondo cui la pressione sonora diminuisce di 6 dB per ogni raddoppio della distanza percorsa. Invece, l'onda cilindrica perde soltanto 3 dB di pressione acustica fino a che rimane a una certa distanza dal punto di emissione detta campo vicino, o zona di Fresnel, oltre entra in campo lontano, o zona di Fraunhofer, all'interno del quale l'onda diventa sferica e inizia a perdere 6 dB per la legge citata in precedenza. Il passaggio tra le due zone dipende da due parametri: la lunghezza della schiera e la frequenza riprodotta. La relazione che consente di calcolare la distanza di transizione tra le due zone è:

$$d = \frac{3}{2} \cdot l^2 \cdot f \sqrt{1 - \frac{1}{3 \cdot l \cdot f}}$$

dove l è la lunghezza dell'array e f la frequenza.

Un altro parametro da considerare è la distanza tra gli altoparlanti affinché il *Line Array* funzioni. La distanza massima fra i centri acustici degli altoparlanti non dovrebbe superare la lunghezza d'onda della frequenza più alta che si vuole direzionare. Il risultato migliore si ottiene però considerando come distanza un quarto della lunghezza d'onda, ma spesso ci sono limiti di tipo costruttivo.

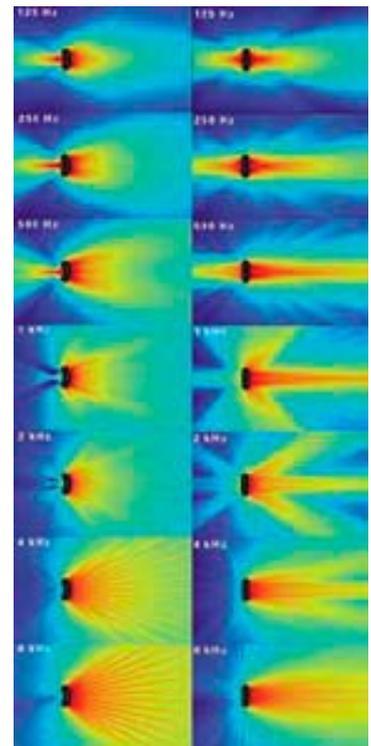


Fig. 23 - Direttività dei Line Array.

V-DOSC

Il sistema V-DOSC, di Christian Heil, ha rappresentato un notevole passo avanti per questo tipo di struttura, in quanto ha contribuito a risolvere il problema della riproduzione delle alte frequenze; creando un *line-array* valido per il *sound reinforcement*. Nella relazione presentata alla *Convention AES* nel 1992, venivano evidenziati i due principi su cui basava la *Wavefront Sculpture Technology (WST)*, studiata sin dal 1988 da Heil insieme al Marcel Urban: un insieme di sorgenti sonore individuali disposte con passo regolare su una superficie continua, piana o curva, è equivalente a una singola sorgente sonora avente le stesse dimensioni del totale dell'insieme se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- i fronti d'onda generati da sorgenti individuali sono planari e la superficie della sorgente sonora occupa almeno l'80% dell'intera superficie
- lo *step*, parola inglese corrispondente a passo, definito come la distanza fra i centri acustici delle sorgenti individuali, è più piccolo di metà della lunghezza d'onda di tutte le frequenze sopra la larghezza di banda a cui si opera

La parte più importante dell'impianto è proprio la guida d'onda in grado di creare un'onda cilindrica anche sulle alte frequenze, cosa impossibile da ottenere col semplice accoppiamento dei driver. La guida d'onda (figura 24) è formata da un condotto che separa-raccoglie le onde prodotte da un driver a compressione da 1,4" e, dopo un preciso percorso, le diffonde perfettamente in fase tramite una stretta fessura rettangolare, simulando in pratica il comportamento di un driver a nastro. Questa guida d'onda fa sì che la diffusione delle alte frequenze soddisfi la prima delle condizioni del WST.

Le frequenze basse e medio-alte vengono invece riprodotte con l'applicazione della seconda condizione, infatti, lo step fra i due altoparlanti 15" è di 75 cm. con un taglio di crossover a 200 Hz, mentre i centri dei due 7" distano 17 cm e sono tagliati a 1300 Hz; le frequenze dai 1300 Hz in su sono poi riprodotte dalla guida d'onda.

7.4 AMBIENTI ALTAMENTE RIVERBERANTI

La realizzazione di sistemi di diffusione in ambienti molto riverberanti risulta spesso molto difficile. Questo a causa del fatto che in questo tipo di ambienti vanno considerati due elementi principali: la geometria delle strutture che li compongono e la tipologia di materiali, i quali incidono su un fattore fondamentale come l'intelligibilità. Basti pensare a luoghi come chiese e palestre, in cui spesso non viene effettuato un corretto trattamento acustico in fase di progettazione e il più delle volte l'intelligibilità del parlato è scarsa.

L'intelligibilità del segnale dipende dalla differenza in livello sonoro del segnale e il rumore di fondo ambientale a ciascuna frequenza dello spettro da 250 Hz e 4 kHz. Quando in una gamma di frequenze

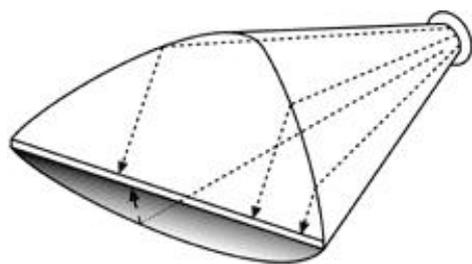


Fig. 24 - Guida d'onda.

il livello sonoro viene sommerso dal rumore ambientale di fondo, per l'ascoltatore inizia la confusione! Per un ascolto corretto è necessario che il segnale arrivi in un tempo massimo di 50 ms, per cui il suono riflesso dalle superfici deve arrivare all'incirca con 30 ms di ritardo dal segnale diretto all'ascoltatore stesso (ritardi maggiori o uguali a 50 ms provocano una sensazione negativa di isolamento).

ESEMPIO: LE CHIESE

Le chiese rappresentano un caso tipico di ambiente altamente riverberante. Per la loro progettazione acustica quindi è necessario tener conto inizialmente delle caratteristiche di assorbimento dei materiali interni. I materiali più utilizzati sono principalmente marmi e intonaci, i quali presentano un coefficiente di assorbimento molto basso, favorendo quindi le riflessioni. Inoltre, è opportuno considerare anche la struttura e le dimensioni dell'ambiente, che molto spesso provoca lunghi percorsi delle onde sonore riflesse, le quali, giungendo all'ascoltatore con grande ritardo, possiedono ancora molta energia, provocando un notevole campo riverberato.

Il sistema di diffusione sonora gioca quindi un ruolo fondamentale e quindi è opportuno scegliere in modo corretto i diffusori, poiché da essi dipende la modalità di formazione del campo sonoro. In base alla struttura dell'ambiente, gli altoparlanti più utilizzati sono i diffusori in linea (detti più comunemente diffusori a colonna - figura 25).

L'elevata direttività permette di massimizzare il rapporto tra suono diretto e riverberato, mentre la forma allungata verticalmente consente la collocazione lungo le colonne. Diffusori adatti a questi scopi sono i modelli digitali, che possono essere controllati da



Fig. 25 - Esempio di diffusore verticale.

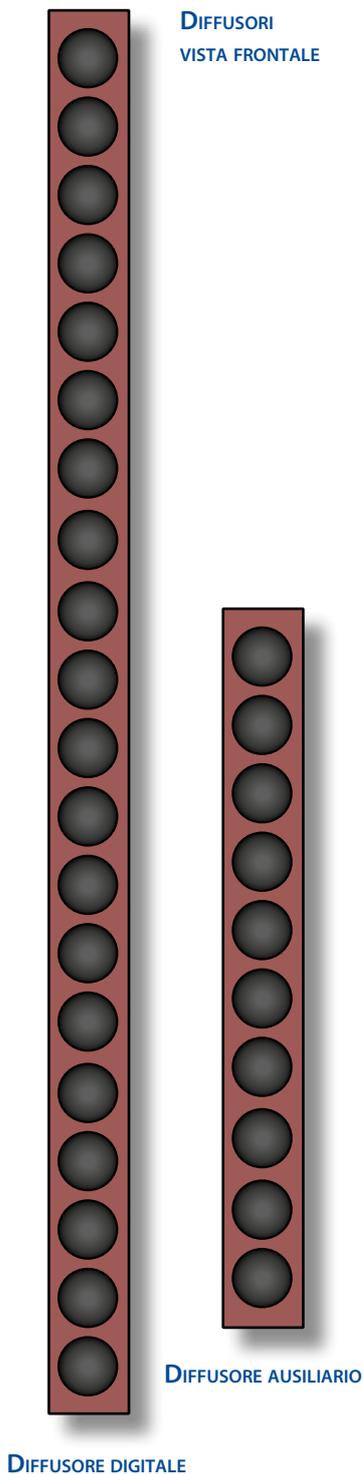


Fig. 26 - Schema del diffusore.

un mixer. Questi possiedono un certo numero di altoparlanti in linea (figura 26) pilotati internamente da un DSP (*Digital Signal Processor*) che permette di controllare il campo sonoro generato in modo da adattarlo alle caratteristiche acustiche dell'ambiente. Il controllo digitale di questi sistemi favorisce anche il controllo della direttività orientando l'emissione sonora senza dover inclinare il diffusore, garantendo una grande area di copertura. In questo modo è possibile sonorizzare grandi ambienti utilizzando un numero ridotto di diffusori collocati in posizione verticali e integrati con l'architettura. Grazie alla gestione digitale della direttività, l'energia sonora emessa dal diffusore viene concentrata sull'area di ascolto estendendo la profondità di copertura e riducendo il riverbero.

Tuttavia, per una corretta progettazione è necessario considerare anche il posizionamento e la scelta dei microfoni, che oltre ad essere poco sensibili, devono possedere alta direzionalità per ridurre l'accoppiamento con il campo riverberato. Tra le funzioni di elaborazione del segnale è anche necessario un dispositivo per la soppressione delle risonanze dovute all'accoppiamento tra diffusori e microfoni (*effetto Larsen*^{Nota 11}).

In questo tipo di ambienti risulta fondamentale il calcolo del tempo di riverberazione T_{60} . Nel caso di una chiesa, il coefficiente di assorbimento medio dei materiali equivale solitamente a 0,05 per le frequenze comprese tra 125 Hz e 1 kHz, mentre per le frequenze superiori vale circa 0,1.

In base alle precedenti considerazioni, è opportuno limitare al minimo l'energia nella direzione del soffitto e delle pareti, concentrandola invece sul piano di ascolto. In questo modo, il rapporto tra campo diretto e campo riverberato risulta massimizzato, consentendo un ascolto chiaro anche in condizioni acustiche difficoltose.

Nota 11 - L'effetto Larsen è il tipico fischio stridente che si sviluppa quando i suoni emessi da un altoparlante ritornano ad essere captati con sufficiente "potenza di innesco" da un microfono e da questo rimandato al medesimo altoparlante, in un circuito chiuso. L'effetto si innesca solitamente quando il microfono è troppo vicino all'altoparlante e capta una frequenza emessa da quest'ultimo, in un dato momento più forte delle altre, che quindi viene amplificata e riprodotta a sua volta con ampiezza via via crescente, virtualmente illimitata, se non fosse che l'amplificatore va in overdrive.

BIBLIOGRAFIA

- 📖 M. Masoero, R. Furlan: "Appunti di teoria - Caratteristiche ad applicazioni degli altoparlanti", Politecnico di Torino, 2008
- 📖 U. Nicolao: "Teoria dei sistemi di altoparlanti per il Sound Reinforcement: dal Subwoofer al Cluster", Milano, Editrice il Rostro, 1999
- 📖 U. Nicolao: "La caratterizzazione degli altoparlanti dinamici" Milano, Editrice il Rostro, 2003.
- 📖 M. Hull: "Amplificatori e altoparlanti Hi-Fi", Bologna, Edizioni C.E.L.I., 1973.