

I DIFFUSORI *acustici*

Lo sviluppo dei sistemi di riproduzione digitali audio-video, ha portato dall'Hi-Fi all'Home-Theater ed ha incentivato la realizzazione di sistemi audio multicanale capaci di riproduzioni estremamente realistiche. Ma cos'è un sistema di diffusione sonora? Come è fatto un altoparlante e qual è il suo principio di funzionamento? Come è fatta una cassa acustica o un diffusore e perché? A queste semplici domande cercheremo di dare semplici risposte, basate su pochi concetti fisici e immediate osservazioni pratiche.

Per comprendere correttamente come sia fatto un sistema di diffusione sonora è sufficiente conoscere i rudimenti di acustica. Per comprenderne la progettazione, è invece necessario conoscere diversi concetti di fisica tecnica ed essere in grado di applicarli sotto una veste matematica alla luce, possibilmente, di una non indifferente esperienza tecnico-pratica. In questo articolo non intendiamo certo insegnare la progettazione di un sistema di diffusione sonora, piuttosto cercheremo di riassumere, nella forma più semplice possibile, una serie di concetti fisici ed osservazioni pratiche utili a comprendere cosa sia un sistema di diffusione sonora e come possa essere realizzato. Per questo motivo cercheremo di comprendere cosa sia il suono, come è fatto un altoparlante e quale sia il suo principio di funzionamento, cosa sia un *midrange*, un *tweeter*, un *woofer* e quali le loro caratteristiche, come è fatta una cassa acustica e perché, come è

fatto un diffusore, cos'è un *crossover* e qual è l'influenza dell'ambiente sulla qualità della diffusione sonora.



IL SUONO

Il *suono* (dal latino *sonum*) è l'effetto, percepito dal nostro orecchio, dovuto ad una vibrazione acustica che si propaga in un mezzo elastico come l'aria interposto tra la sorgente della vibrazione e l'orecchio stesso.

Le vibrazioni acustiche della sorgente generano

infatti spostamenti delle particelle del mezzo intorno alla loro posizione di riposo. Si origina, in questo modo, la propagazione di un'onda sonora (o onda acustica) che è evidentemente un'onda longitudinale poiché le particelle del mezzo oscillano nella direzione longitudinale di propagazione. Trattandosi di un meccanismo ondulatorio, il suono è caratterizzato dai fenomeni riflessione, rifrazione e diffrazione, ma non di polarizzazione (che è invece tipico della luce che è un'onda trasversale). Alla luce di ciò, se si trascura l'attenuazione nel mezzo, possiamo dire che l'ampiezza di un'onda sonora di una data frequenza, che si propaga nello spazio libero in direzione x , è esprimibile nella seguente forma analitica:

$$y(x,t) = y_0 \sin \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

dove:

- y : ampiezza dell'oscillazione nel punto x nell'istante t ;
- x : distanza tra il punto in esame e la sorgente sonora;
- t : tempo;
- y_0 : ampiezza dell'oscillazione;
- c : velocità dell'onda;
- ω : pulsazione dell'onda.

x/c è evidentemente il tempo necessario all'onda per percorrere la distanza x . Si tratta di una perturbazione funzione del tempo e dello spazio la cui ampiezza a frequenza f , è legata alla pulsazione dalla relazione:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

L'ampiezza dell'onda nel punto x è fisicamente la differenza tra la pressione del mezzo in assenza di perturbazione e la

Figura 1: Esempi di altoparlanti magnetodinamico circolare ed ellittico



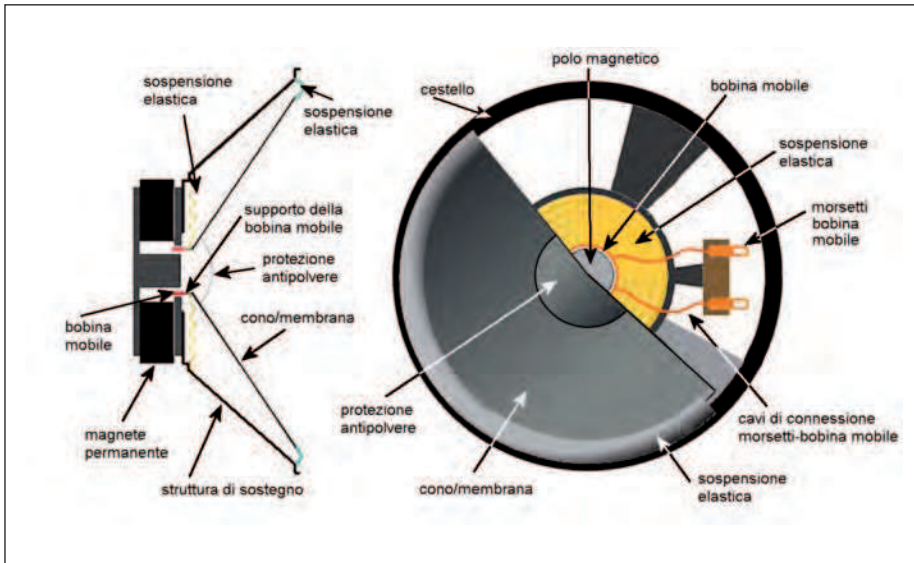


Figura 2: Struttura di un altoparlante magnetodinamico



Figura 4: Esempio di woofer [3]



Figura 6: Esempio di altoparlante Midrange

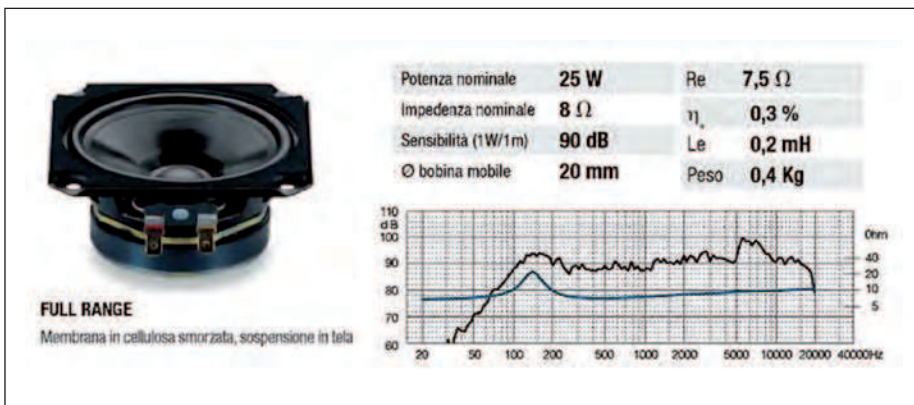


Figura 3: Esempio di altoparlante full-range e relative curve di impedenza e di risposta in frequenza [1]

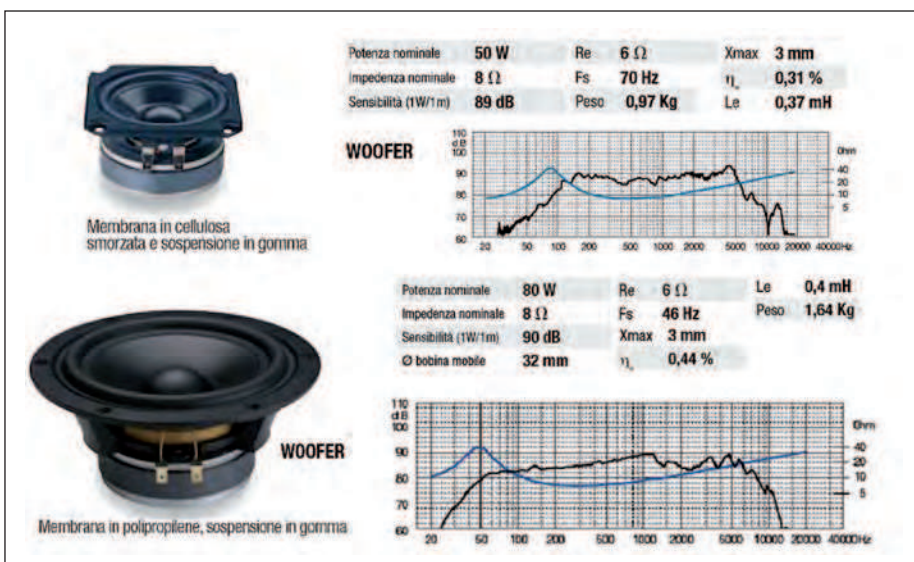


Figura 5: Esempio di woofer e relative caratteristiche tecniche [1]

pressione massima in presenza di perturbazione. Ovviamente, la presenza di un'onda acustica non è detto che venga percepita dall'orecchio umano e non solo a causa di una eventuale insufficiente intensità. Il campo uditivo di una persona si estende infatti da circa 20 Hz fino a 20.000 Hz. Al di sotto dei 20 Hz abbiamo gli infrasuoni, al di sopra dei 20 kHz gli ultrasuoni: sia gli uni che gli altri non sono percepiti dall'orecchio umano che oltretutto non è ugualmente sensibile a tutte le frequenze comprese nel campo audio. Frequenza, lunghezza d'onda e velocità del suono sono ovviamente legate tra loro e la velocità in particolare dipende dalle caratteristiche fisiche del mezzo e principalmente dalla sua elasticità e dalla sua densità e quindi indirettamente anche dalla sua temperatura e dalla sua pressione. Per questo motivo quando si dice che la velocità di propagazione del suono è pari a 344 m/s è necessario specificare che si tratta di propagazione in aria, alla temperatura di 20 °C ed alla pressione atmosferica a livello del mare.

Essa è direttamente proporzionale all'elasticità ed inversamente proporzionale alla densità (circa 1.500 m/s in acqua e 5.000 m/s nel ferro mentre non si ha pro-

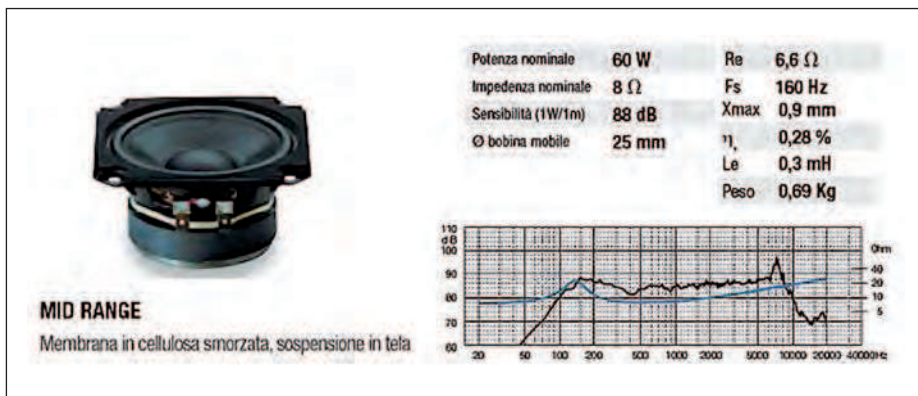


Figura 7: Esempio di midrange e relative caratteristiche tecniche [1]

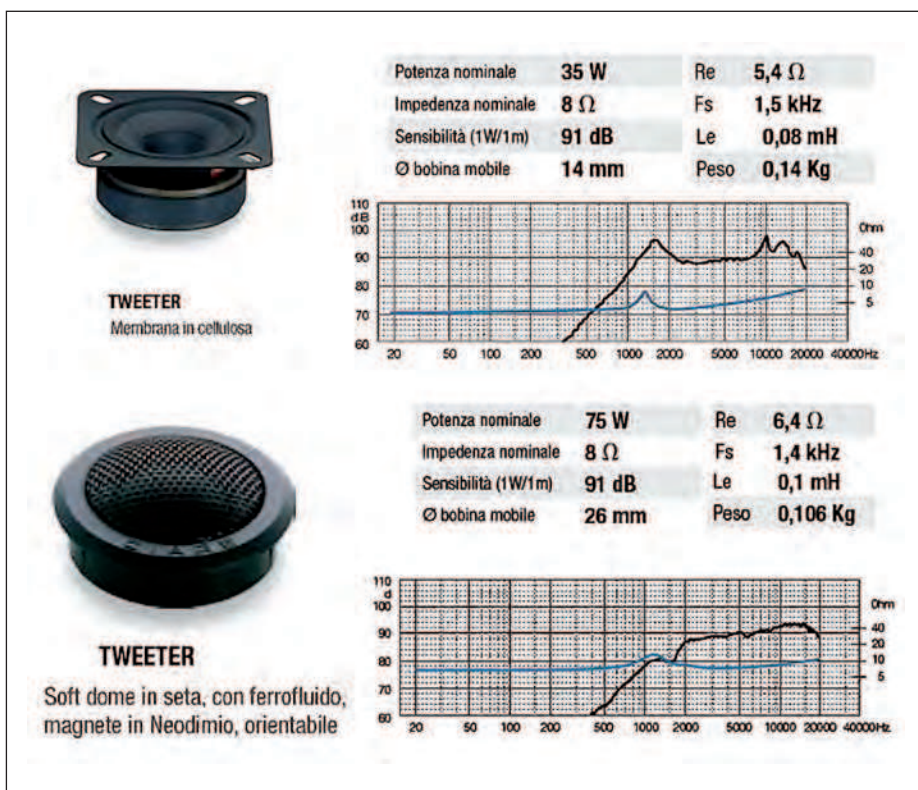


Figura 8: Esempio di tweeter e relative caratteristiche tecniche [1]

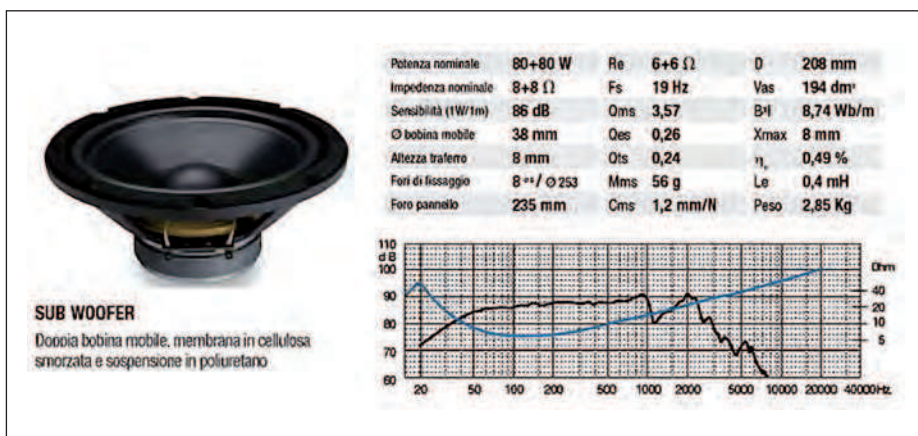


Figura 9: Esempio di subwoofer e relative caratteristiche tecniche [1]

pagazione nel vuoto!). I materiali di elevata densità sono molto spesso caratterizzati anche da elevata elasticità, motivo per cui si è portati a pensare che ad elevata densità corrisponda elevata velocità di propagazione; in realtà le due cose non sono sempre corrispondenti. L'intensità percepita di un suono è in ogni caso determinata dalla pressione che l'onda sonora esercita sul timpano ma la risposta di questo, cioè l'effetto uditivo percepito, non è proporzionale ad essa ma funzione logaritmica di essa ed per questo motivo che la misura dell'intensità di un suono è tipicamente espressa in decibel.

L'orecchio umano ha inoltre una percezione differente del suono in funzione non solo dalla sua intensità ma anche dalla sua frequenza.

La sensibilità uditiva di una persona varia, inoltre, nel tempo ed in particolare in funzione dell'età: se a 15 anni si è mediamente in grado di percepire una gamma audio da 20Hz a 20kHz, a trentacinque anni difficilmente si superano i 15 kHz e a 50 anni difficilmente si va oltre i 10kHz. Tutto questo lascia capire come la capacità di apprezzare la qualità di un suono, per quanto esso possa essere ben riprodotto, è in realtà sempre soggetta alla percezione individuale.

GLI ALTOPARLANTI E LORO CLASSIFICAZIONE

La realizzazione e la diffusione degli altoparlanti trae origine dallo sviluppo, nei primi decenni del 900, della radiodiffusione. Diversi tipi di diffusori furono sviluppati fino all'introduzione dell'altoparlante a bobina mobile, detto anche dinamico, la cui tecnologia costruttiva è rimasta di riferimento fino ai giorni nostri tanto da coprire ancora la quasi totalità del mercato.

Gli altoparlanti sono dei trasduttori elettroacustici che da un punto di vista del principio di funzionamento possono essere distinti in:

- **Magnetodinamici:** una bobina mobile collegata al cono dell'altoparlante è immersa nel campo magnetico generato da un magnete permanente; ad essa viene applicato il segnale elettrico, opportunamente amplificato che ne produce la vibrazione, che trasferita ad una membrana causa l'onda acustica e quindi la ri-

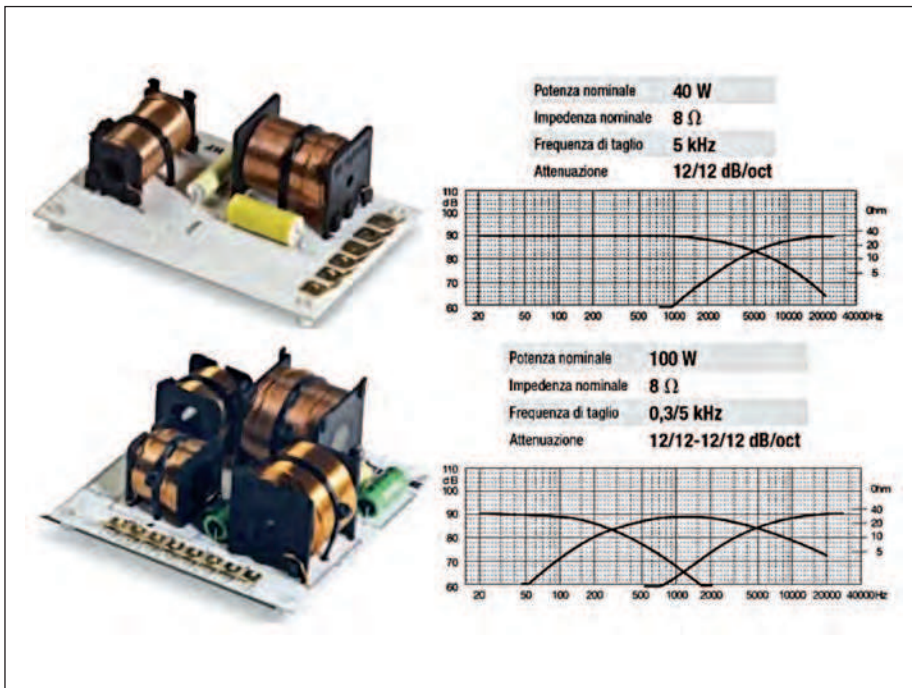


Figura 10: Esempio di crossover passivo a due vie (in alto) e a tre vie (in basso) e relative risposte in frequenza [1]

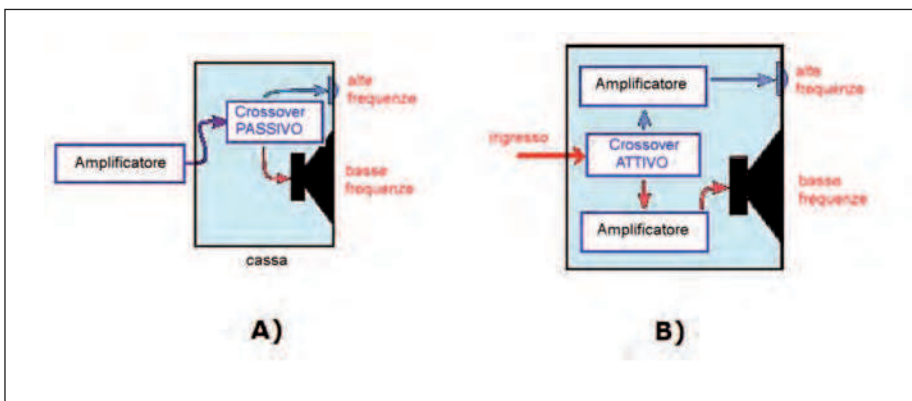


Figura 11: Differenza tra sistema di diffusione/diffusore a due vie con crossover passivo (A) e con crossover attivo (B)

produzione del suono;

- **Elettrodinamici:** è simile ai magnetodinamici, tuttavia il campo magnetico è generato da un solenoide percorso da corrente (si tratta di una soluzione oggi sostanzialmente abbandonata);

- **Elettrostatici:** concettualmente si può immaginare come un condensatore in cui un'armatura non è fissa. Quando sulle armature è presente una carica con la stessa polarità esse, si respingono, nel caso contrario si attraggono. Sfruttando questo principio è possibile riprodurre una vibrazione e quindi il suono. Più precisamente, da un punto di vista costruttivo, sono formati da due griglie alimentate

con un differenza di potenziale e da una membrana avente una superficie conduttiva alimentata dalla tensione del segnale elettrico che contiene l'informazione sonora. La caratteristica fondamentale di una tale struttura risiede nel fatto che la membrana è pilotata uniformemente in ogni suo punto, aspetto da cui deriva un suono, specie per le frequenze medio alte, considerato superiore;

- **Piezoelettrici:** sfruttano la piezoelettricità per convertire il segnale elettrico in onde acustiche. Essendo poco costosi, robusti, efficienti, con elevata impedenza e capaci di riprodurre frequenze altissime, sono utilizzati soprattutto come tweeter sebbene non garantiscano elevata qualità, so-

prattutto in termini di linearità e distorsione. Nel 1969, Jim Winey brevettò un'altra tecnologia detta *isodinamica* che altro non era che una soluzione magnetodinamica in cui si cercava di introdurre l'uniformità della sollecitazione che si origina sulla membrana tipica della tecnologia elettrostatica. In ogni caso gli altoparlanti magnetodinamici erano e restano ampiamente i più diffusi.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ALTOPARLANTI IN BASE ALLA BANDA DI RIPRODUZIONE

Anche se esistono modelli di altoparlanti detti "a gamma intera" che coprono la maggiore estensione possibile di frequenze audio, è in realtà difficile costruire un unico trasduttore elettroacustico capace di riprodurre correttamente l'intera gamma di frequenze udibili dall'orecchio umano. Per la riproduzione di frequenze comprese tra poche decine e alcune centinaia di Hertz occorrono infatti membrane di diametro molto ampio che possano vibrare con ampie oscillazioni, per frequenze di pochi chilohertz invece, occorrono membrane di dimensioni più piccole con equipaggi mobili capaci di vibrare più velocemente e questo aspetto diviene ancora più evidente quando si giunge a frequenze vicine a 20 kHz. Per questo motivo i diffusori integrano spesso più altoparlanti, ciascuno ottimizzato per una porzione specifica della banda udibile. In base alle frequenze riproducibili è possibile classificare gli altoparlanti in:

- **Subwoofer** (frequenze bassissime, normalmente al di sotto dei 120 Hz);
- **Woofer** (frequenze basse – orientativamente da 120 Hz a 2 KHz);
- **Midrange** (frequenze medie – orientativamente fino a 6-10 KHz);
- **Tweeter** (frequenze alte - fino a 15-18 KHz);
- **Super tweeter** (frequenze altissime - oltre 18 KHz);

Le bobine mobili di questi altoparlanti presentano generalmente impedenza nominale pari a 4 o 8 ohm, valore di cui è necessario tener conto quando si deve collegare l'altoparlante all'uscita di un amplificatore audio di potenza (se un ampli-

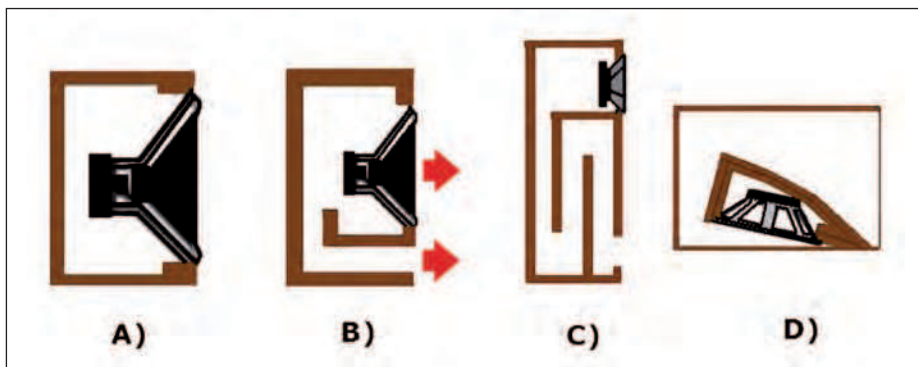


Figura 12: Diversi tipi di caricamento: A) Cassa chiusa o a sospensione pneumatica; B) Cassa Bass-Reflex; C) Cassa a labirinto; D) Cassa a Tromba

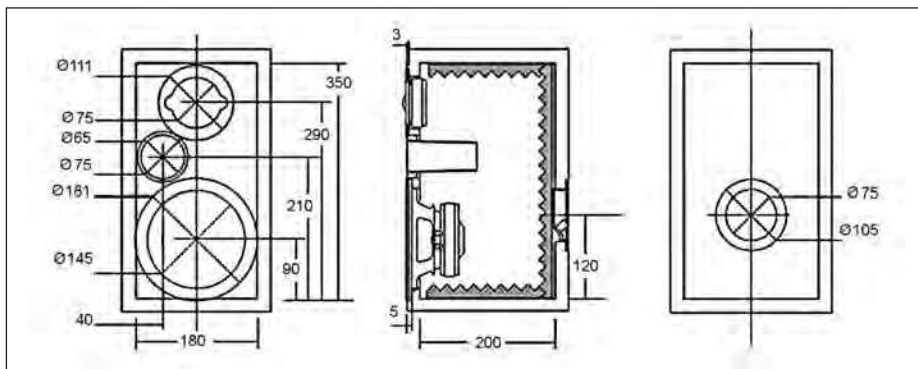


Figura 14: Struttura di una cassa bass-reflex a due vie [1]

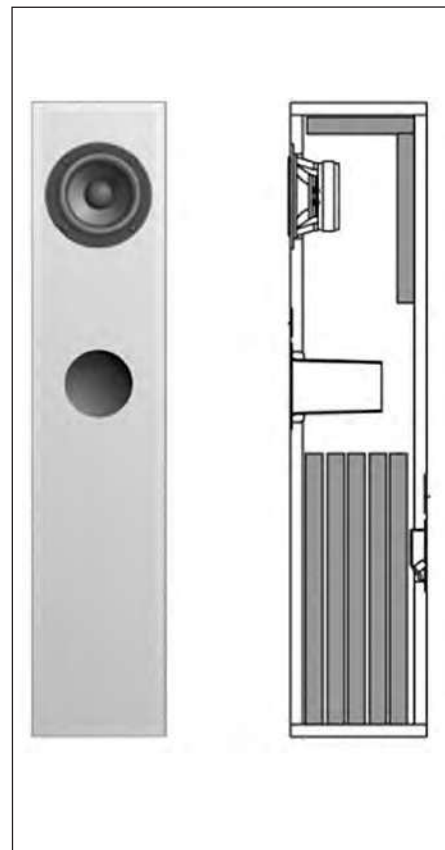


Figura 13: Struttura di una cassa bass-reflex monovia

ficatore richiede un altoparlante di 8 ohm non possiamo collegargli un altoparlante di 4 ohm che lo obbligherebbe ad erogare una potenza eccessiva).

STRUTTURA E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DI UN ALTOPARLANTE MAGNETODINAMICO

La struttura di un altoparlante magnetodinamico si presenta come in **figura 2**. Quest'ultima evidenzia le parti costitutive: cestello, sospensioni elastiche (che mantengono centrata la bobina mobile nel traferro), bobina mobile, morsetti di connessione della bobina mobile, cavi di collegamento tra morsetti e bobina mobile, protezione antipolvere, polo magnetico, struttura di sostegno, magnete permanente (genera il campo magnetico che interagisce con la bobina mobile), membrana (cono), supporto della bobina mobile. L'equipaggio mobile costituito da bobina, supporto e membrana (in passato realizzata in carta, oggi in materiale sintetico) e dalle sospensioni, può traslare mostrando una escursione positiva (allontanamento) o negativa (avvicinamento). Il magnete permanente crea un campo magnetico nel quale

si trova immersa la bobina mobile nella quale circola la corrente che rappresenta, in forma elettrica, il segnale da riprodurre. Quest'ultima genera quindi, a sua volta, un campo magnetico di intensità proporzionale al segnale. L'interazione dei due campi magnetici genera il movimento longitudinale della bobina mobile e quindi la vibrazione della membrana, vibrazione che trasferita al mezzo, determina la trasduzione elettroacustica. È importante osservare che l'altoparlante, nel produrre il suono, provoca delle compressioni delle molecole del mezzo quando sposta in avanti la sua membrana e delle decompressioni quando sposta la stessa all'indietro e che la frequenza riprodotta è pari a quella di dette compressioni/decompressioni. Lo spostamento delle molecole d'aria è quindi locale intorno alla loro posizione di equilibrio, non genera cioè un flusso globale di aria. La forza che insiste sull'equipaggio mobile è proporzionale al campo magnetico B del magnete permanente ed alla *corrente* i della bobina mobile e perpendicolare ad entrambi. Il campo B generato dal magnete e agente in una certa zona della bobina mobile non è tuttavia costante ma funzione del-

la posizione reciproca tra bobina e complesso magnetico. La bobina mobile è inoltre caratterizzata da una resistenza R e da una induttanza L . Nella traslazione dell'equipaggio mobile varia l'induttanza della bobina, cosa che ha poca influenza alle basse frequenze, dove la reattanza è trascurabile rispetto alla resistenza, ma non alle frequenze medie ed alte della gamma audio. La conseguenza macroscopica è che la corrente delle frequenze medio-alte può essere modulata dallo spostamento e da ciò può discendere un effetto di distorsione che può influire sulla qualità della riproduzione sonora. I toni a frequenza maggiore tendono inoltre a subire uno spostamento in frequenza dovuto alla velocità della membrana originata dalla riproduzione dei toni a bassa frequenza e più precisamente un innalzamento quando il cono si muove in uscita verso l'ascoltatore (a causa dei toni bassi) e un abbassamento quando si muove allontanandosi dall'ascoltatore (a causa degli stessi toni bassi). Quanto esposto è sufficiente a comprendere come la progettazione meccanica, elettrica e magnetica di un altoparlante sia piuttosto complessa, soprattutto se l'altoparlante deve ri-

produrre simultaneamente segnali a bassa ed alta frequenza. Questo è uno dei motivi che porta nella pratica ad utilizzare in un diffusore o in un sistema di diffusione, più altoparlanti ciascuno specializzato per la riproduzione di una specifica gamma di frequenze della banda audio.

CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ALTOPARLANTI

Fisicamente le onde ad alta frequenza hanno più energia, a parità di massa d'aria spostata, di quelle a bassa frequenza. Un altoparlante che emette un suono acuto pertanto, non necessita di spostare grossi volumi di aria con la vibrazione della sua membrana, rispetto ad uno che emette un suono grave. In sintesi le onde a bassa frequenza hanno bisogno di ampio volume di spostamento ma lento, quelle ad alta frequenza di piccolo volume di spostamento ma veloce. È evidente che un altoparlante impiegato per le basse frequenze debba presentare una frequenza di risonanza meccanica bassa e quindi che debba essere progettato opportunamente da un punto di vista meccanico (si pensi alla massa mobile del diffusore, alla cedevolezza delle sospensioni ed al materiale di cui è fatta la membrana). Esistono altoparlanti cosiddetti a larga banda o full-range (**figura 3**) che riescono a riprodurre abbastanza bene frequenze comprese tra un centinaio di hertz e 16-17KHz, tuttavia ad un altoparlante del genere è preferibile affiancare un woofer, se si vuole migliorare la qualità globale della riproduzione sonora (una soluzione ancora migliore sarebbe quella di impiegare simultaneamente un woofer, un midrange ed un tweeter).

Il woofer

Un woofer (**figura 4** e **figura 5**) è un altoparlante caratterizzato da un cono di dimensioni rilevanti che vibra più facilmente sulle frequenze delle note basse ed è facilmente riconoscibile dalla maggiore grandezza e peso. Normalmente è impiegato almeno insieme ad un tweeter che riproduce le frequenze alte della gamma audio (si ottiene in questo modo un diffusore cosiddetto a due vie).

Il Midrange

Un midrange (**figura 6** e **figura 7**) è un altoparlante progettato per riprodurre i suoni della gamma di frequenze medie (tipi-

camente da 300 Hz circa fino ad 8-10 kHz in cui è compresa la voce) nei sistemi a tre vie, presenta tipicamente un diametro, un peso ed una potenza intermedia tra quelle di un woofer e quelle di un tweeter.

Il Tweeter ed il Supertweeter

Il tweeter (**figura 8**) è un altoparlante progettato per riprodurre frequenze acute e tipicamente è caratterizzato da un diametro ancora più piccolo rispetto al midrange e da una membrana ed un equipaggio mobile molto leggeri in grado di rispondere velocemente al segnale elettrico applicato. Analogamente il super-tweeter è un altoparlante di dimensioni piccolissime, adatto a riprodurre suoni di frequenza, tipicamente comprese tra circa 18 kHz ed il limite superiore dello spettro udibile.

Il Subwoofer

Il Subwoofer (**figura 9**) è un altoparlante capace di riprodurre le frequenze più basse dell'udibile, tipicamente comprese tra 20 e 150 hertz. Nella maggior parte dei sistemi di diffusione se ne usa un solo sfruttando la caratteristica delle frequenze sonore molto basse di non essere dotate di elevata direttività.

Da quando i CD hanno sostituito la registrazione analogica, sono divenuti sempre più comuni, sistemi di diffusione performanti come il 5.1 in cui il canale ".1" è dedicato al subwoofer. I diametri di questi altoparlanti sono compresi approssimativamente tra i 4 ed i 34 pollici e risultano pari a circa 10-12 pollici nei casi più comuni e 18 pollici circa nei sistemi professionali come quelli impiegati nei concerti.

Diffusori e filtri Crossover

Abbiamo compreso che la gamma di frequenze udibile è riprodotta meglio dall'azione combinata di più altoparlanti, ciascuno specializzato per gamme di frequenza differenti. Un diffusore è quindi normalmente costituito da una cassa acustica che presenta approssimativamente la forma di un parallelepipedo con una delle facce utilizzate per l'alloggiamento degli altoparlanti. Il legno o il materiale che costruisce la cassa, deve essere rigido in modo da non vibrare. Tecnicamente quindi, con il termine cassa acustica si indica l'involucro in cui sono contenuti gli altoparlanti mentre l'intero apparato composto da casse acustiche e altoparlanti

prende il nome di diffusore. Un diffusore è quindi molto spesso caratterizzato da più vie che si dividano le sonorità: al woofer vengono inviate le basse tonalità, al tweeter le tonalità acute, mentre al midrange, qualora sia presente, vengono inviate le frequenze medie. La divisione delle frequenze viene eseguita dal cosiddetto crossover che svolge il ruolo di filtro passivo o attivo multivia. A seconda del numero di vie di cui è caratterizzato il crossover possiamo avere diffusori:

Monovia: Integrano un unico altoparlante capace di riprodurre una gamma audio il più ampia possibile. Meccanicamente l'equipaggio mobile è sufficientemente leggero tanto da poter vibrare anche ad alta frequenza ma allo stesso tempo risulta in grado di spostare volumi importanti di aria per riprodurre correttamente e possibilmente anche frequenze relativamente basse.

Due vie: È costituito da una cassa di risonanza, al cui interno sono presenti filtri elettronici e su cui sono montati esternamente i due altoparlanti, uno di ampio diametro per le basse frequenze (woofer) ed uno con superficie di piccola dimensione e con membrana molto più leggera per la riproduzione delle alte frequenze (tweeter).

Tre vie: È costituito da una cassa acustica e da un altoparlante per i bassi (woofer), uno per i medi (midrange), ed uno per gli alti (tweeter).

Quattro vie: Sono costituiti da una cassa e da un altoparlante sub-woofer, un medio-bassi, un medio-alti ed uno per gli alti.

Nel realizzare un filtro multivia è fondamentale il ruolo svolto dal filtro crossover che risulta composto da più celle: filtro passa-basso, filtro passa-alto e filtro passa-banda nel caso di sistema a tre vie. A seconda di come sono fatti questi ultimi è possibile avere un:

- **crossover passivo** (normalmente interno alla cassa) composto da induttanze, condensatori e resistori e collocato generalmente all'interno della cassa che contiene il diffusore;

- **crossover attivo** che presuppone l'impiego di un amplificatore indipendente per ogni via. Ciascuna via è specializzata per una specifica gamma di frequenze.

In **figura 10** si riportano rispettivamente un crossover passivo a due vie ed un crossover passivo a tre vie con le relative risposte in frequenza. Le curve dei

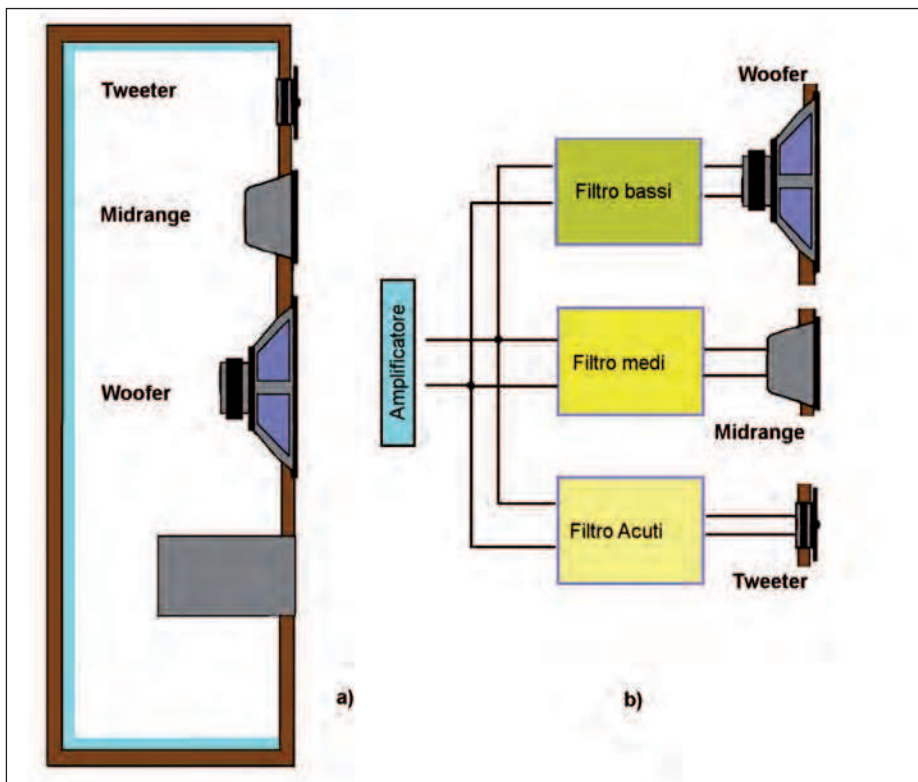


Figura 15: Struttura di una cassa Bass-reflex a tre vie



Figura 16 –Due esempi di sistemi per ascolto domestico impieganti due casse più subwoofer



Figura 17: Due tipici diffusori coassiali [1]

diagrammi rappresentano l'effetto di filtro delle diverse vie; le frequenze in cui tali curve si incontrano sono dette frequenze d'incrocio.

Un filtro crossover passivo a due vie è composto da filtro passa basso e da un filtro passa alto, mentre un crossover a tre vie presenta anche un filtro passa banda per il midrange. Un unico amplificatore fornisce un segnale a gamma intera già amplificato che viene suddiviso in più vie dal crossover passivo ed inviato da questo ai rispettivi altoparlanti a differenza dei crossover attivi in cui si ha una multi-amplificazione (figura 11). Se collegassimo direttamente in parallelo woofer, midrange e tweeter sull'uscita di un amplificatore audio di potenza, questo vedrebbe sulla sua uscita una impedenza abbattuta, si rischierebbe di rovinare l'amplificatore o per esempio il tweeter che riceverebbe

anche frequenze troppo basse che non è in grado di riprodurre e si aumenterebbe il rischio di ottenere distorsione.

Il crossover, invece, fa giungere ad ogni altoparlante le sole frequenze che esso è in grado di riprodurre e adatta l'amplificatore al carico. In generale i diffusori possono anche essere suddivisi in attivi e passivi. Quelli attivi sono costituiti da una cassa dotata di altoparlanti e amplificatore. I piccoli diffusori audio per personal computer, per esempio, sono di questo tipo. I diffusori passivi invece ricevono il segnale da riprodurre e diffondere direttamente in forma amplificata.

Casse acustiche: sospensione pneumatica e bass-reflex

Le casse acustiche servono principalmente ad esaltare le frequenze basse dove il nostro orecchio è poco sensibile. In un altoparlante in aria libera, l'emissione anteriore e quella posteriore, provocate dal movimento della membrana, tendono a distruggersi da un punto di vista sonoro essendo i due movimenti, che originano le perturbazioni sonore, in opposizione di fase tra loro.

Per bilanciare questo fenomeno è pos-

sibile adottare diverse tecniche che vanno sotto il nome di caricamento e che portano alla realizzazione delle cosiddette casse acustiche. In realtà la soluzione più semplice a questo problema sarebbe fisicamente costituita dal cosiddetto dipolo. Si tratta di realizzare un pannello sul quale viene fissato l'altoparlante. Il pannello separa l'emissione anteriore da quella posteriore, impedendo che i due movimenti in opposizione di fase, si annullino da un punto di vista sonoro. Affinché la soluzione sia efficace, le dimensioni del pannello devono tuttavia essere notevoli soprattutto alle frequenze più basse.

Per questo motivo è preferibile utilizzare una cosiddetta cassa chiusa o a sospensione pneumatica (figura 12A). L'altoparlante è montato su una cassa chiusa ed impermeabile al passaggio dell'aria. L'emissione posteriore del diaframma comprime l'aria contenuta nella cassa e questa tende a riportare la membrana nella sua posizione di equilibrio. Le due emissioni non interferiscono su nessuna frequenza, esattamente come accade nella soluzione a dipolo. L'aria esercita una *sospensione pneumatica* sul cono da cui il nome dato a questo tipo di cassa. L'ef-

fetto è rilevante soprattutto alle basse frequenze alle quali vi è maggiore spostamento del cono e alle quali la cassa chiusa presenta una sua frequenza di risonanza che aumenta man mano che se ne riduce il volume. Al suo interno, la cassa viene ricoperta di materiale fibroso capace di assorbire le onde sonore posteriori dell'altoparlante.

Tipicamente, quando un altoparlante è montato in una cassa acustica chiusa, cambiano fisicamente le proprietà di risonanza meccanica della bobina mobile rispetto al funzionamento in aria libera e di conseguenza anche la curva di impedenza si modifica. Tipicamente, il picco di impedenza si abbassa e la frequenza di risonanza tende ad aumentare. Un'altra tecnica che consente di ottenere risultati simili a quelli della sospensione pneumatica, è quella che prevede l'impiego di una cosiddetta cassa aperta o bass-reflex (**figura 12B**) la quale consente il recupero in fase dell'onda acustica posteriore dell'altoparlante. Infatti, nei diffusori a sospensione pneumatica la pressione acustica dell'emissione posteriore del cono dell'altoparlante, viene sostanzialmente dissipata all'interno del materiale fonoassorbente. Nel bass-reflex invece l'emissione posteriore del diaframma, anziché essere completamente assorbita dal materiale fonoassorbente, viene convogliata in un condotto comunicante con l'esterno in modo che la sua energia sia sommata in fase alla emissione principale anteriore. Le dimensioni del condotto (sezione e lunghezza) e il volume del box determinano la frequenza alla quale si verifica la somma delle emissioni (frequenza di accordo) ed è proprio su questa frequenza che il reflex dà il massimo contributo all'emissione sonora. Il diffusore bass-reflex comporta quindi, a parità di altoparlante, rispetto ad uno a sospensione pneumatica e a parità di potenza elettrica del segnale, un suono più intenso specie alle basse frequenze. Se si vogliono esaltare i bassi quindi è opportuno preferire casse bass-reflex a quelle chiuse.

ALTRI TIPI DI CARICAMENTO

La cosiddetta cassa a labirinto (**figura 12C**) è un'altra soluzione che sfrutta l'emissione posteriore del diaframma facendo in modo che essa venga convogliata in un condotto di sezione e di lun-

ghezza tale per cui all'uscita si ripresenti in fase con quella anteriore.

Nei sistemi a tromba invece (**figura 12D**) l'altoparlante emette il suono in un condotto a sezione crescente (tromba) cosa che conferisce al diffusore elevata efficienza e direzionalità. Altri carichi acustici dove la radiazione in ambiente non è prodotta direttamente dal diaframma dell'altoparlante, sono i sistemi passa banda.

Esistono poi diffusori acustici a linee di suono, impiegate per esempio nella diffusione sonora del parlato nelle chiese e composti da un certo numero di altoparlanti che si susseguono verticalmente e che accentuano la direzionalità.

STRUTTURA FISICA DI UN DIFFUSORE

È chiaro che sulla stessa cassa acustica possono essere montati più diffusori, per esempio, woofer, midrange e tweeter. In questo caso è tipico che il midrange sia chiuso posteriormente in modo che la sua membrana sia protetta dalla pressione esercitata internamente alla cassa dal woofer. Nelle **figure 13, 14 e 15** è riportata, per una migliore comprensione, la struttura tipica di una cassa bass-reflex rispettivamente monovia, a due vie e a tre vie.

CARATTERISTICHE TECNICHE DI UN DIFFUSORE

Tra le caratteristiche di un altoparlante o di un diffusore è necessario ricordare:

- **Risposta in frequenza:** da un punto di vista concettuale possiamo fare il seguente ragionamento: immaginiamo di collegare il diffusore ad un amplificatore di 1W di potenza ad una certa frequenza audio, e di ascoltare ad un metro di distanza; il diffusore genera una certa pressione sonora. Se ripetiamo l'esperimento per tutte le frequenze della banda audio e diagrammiamo quanto ottenuto, si ottiene la cosiddetta curva di risposta in frequenza. Stessa cosa può essere ripetuta per un singolo altoparlante.

Evidentemente, quando osserviamo il diagramma di risposta in frequenza di un altoparlante (vedi esempi riportati nelle **figure 3, 5, 7, 8, 9**) dovremmo anche chiederci, a rigore, in quali condizioni la curva è stata rilevata, cioè se in aria libera oppure montato in una specifica cassa (la risposta in frequenza di un diffusore è

infatti dipendente non solo dall'altoparlante ma anche dalla cassa acustica!).

- **Sensibilità:** esprime la pressione sonora, misurata alla distanza di un metro, dovuta al diffusore quando al suo ingresso viene applicata la potenza di 1 watt. È espressa in Decibel SPL (Sound Pressure Level). Rappresenta un indice dell'efficienza generale del diffusore. Evidentemente, se si desidera ottenere una determinata intensità sonora con un diffusore avente sensibilità più bassa, è necessario utilizzare più diffusori e spendere maggiore potenza.

- **Potenza massima applicabile:** è la potenza di picco o RMS (Root Mean Square) che l'altoparlante può sopportare senza danneggiarsi;

- **Impedenza:** l'impedenza nominale di un altoparlante, è il valore preso come riferimento nei calcoli, tuttavia l'impedenza di un altoparlante nelle reali condizioni di funzionamento non è mai pari esattamente a quella nominale, anzi varia in funzione della frequenza e a seconda delle escursioni della bobina mobile. La curva di impedenza espressa in funzione della frequenza è normalmente riferita al funzionamento in "aria libera". Essa è fondamentale nel definire la compatibilità o incompatibilità del diffusore con l'amplificatore finale e nell'ottimizzazione della rete di filtraggio passiva (crossover). La curva di impedenza, generalmente, presenta un tratto crescente fino ad un picco che individua la cosiddetta frequenza di risonanza cui segue un tratto decrescente che raggiunge un minimo per poi risalire. Risposta in frequenza e curva di impedenza sono spesso riunite in un unico grafico con una doppia scala (**figure 3, 5, 7, 8, 9**).

- **Frequenza di risonanza:** definisce la capacità dell'altoparlante di vibrare efficacemente.

- **Direttività:** espressa spesso attraverso un apposito diagramma polare. In generale, quando la lunghezza d'onda è più grande delle dimensioni dell'altoparlante (basse frequenze), l'emissione tende ad essere omnidirezionale, viceversa quando la lunghezza d'onda è più piccola del-



Figura 18: Esempi di diffusori a tromba per installazione da esterno [2]

l'altoparlante l'emissione tende ad essere direttiva.

IL RENDIMENTO DI UN DIFFUSORE

Un altoparlante non genera potenza, piuttosto trasforma potenza elettrica in meccanica e quindi in acustica con un certo rendimento. La potenza di un altoparlante, è la massima potenza che ad esso può essere applicata prima che il componente si rompa. Essa è di conseguenza legata sia ad aspetti meccanici che riguardano l'equipaggiamento mobile, sia elettrici riguardanti il calore che la bobina mobile può smaltire efficacemente. L'efficienza di questa trasformazione è quantificata dal rendimento esprimibile come: $\eta = \frac{W_r}{W_e}$ dove W_r è la potenza acustica irradiata e W_e è la potenza elettrica fornita dall'amplificatore di potenza al diffusore. L'impiego di coni pesanti, per esempio, necessari ad ottenere una frequenza di risonanza bassa, porta rendimenti anch'essi bassi. La caratteristica di avere rendimenti bassi è comunque comune a tutti gli altoparlanti magnetodinamici che sono trasduttori molto inefficienti. L'efficienza tipica di un altoparlante è infatti compresa tra l'1% e il 5% per cui il resto dell'energia fornita dall'amplificatore viene sostanzialmente dissipata in calore e differisce da quella del diffusore in cui l'altoparlante è inserito, a causa del caricamento. Per rendersi conto di come il rendimento possa variare da un woofer ad un tweeter è possibile osservare i dati tecnici contenuti nelle **figure 3, 5, 7, 8, 9**.

AMBIENTE, ALTA FEDELITÀ E RICERCA DEL REALISMO

Il termine Alta fedeltà (Hi-Fi dall'inglese *High Fidelity*) è nato per indicare prodotti audio e video di qualità superiore che hanno cominciato a diffondersi solo dopo l'avvento della stereofonia. Quando la

diffusione era monofonica, infatti, la possibilità di ricercare una riproduzione realistica, di un concerto, per esempio, era davvero molto limitata.

L'evoluzione dei sistemi di riproduzione e diffusione sonora ha portato nel tempo alla maturità dei sistemi digitali e dell'*Home Theater* i quali hanno dato impulso alla diffusione di sistemi multicanale tesi all'ottenimento di un sempre maggior realismo della riproduzione audio praticamente su tutto lo spettro dell'udibile. Un sistema di diffusione sonora ha tuttavia una resa fortemente dipendente anche dall'ambiente in cui avviene la diffusione. Forma e dimensione della stanza, occupazione degli spazi, posizione d'ascolto, materiali e spessori delle murature, hanno molta importanza sulla qualità della riproduzione. Fisicamente infatti le onde sonore prima di arrivare al nostro orecchio rimbalzano anche più volte sulle pareti. Basti pensare all'effetto che percepiamo quando ascoltiamo parlare una persona all'interno di una chiesa, specie se ricca di marmi e di ampie dimensioni come una cattedrale: difficilmente si ascoltano suoni ben nitidi. Un ambiente che produce molte riflessioni è causa infatti di un suono poco intelligibile anche se operiamo con un ottimo impianto Hi-Fi. Materiali come stoffa, legno, plastica sono infatti fonoassorbenti e quindi generano poche onde riflesse, al contrario materiali come marmo, ceramica, vetro, metalli sono poco assorbenti e generano molto più facilmente riflessioni e quindi echi e riverberi. Un impianto di diffusione progettato accuratamente, dovrebbe tenere conto di tutti questi fattori. Per questo motivo occorre prima di tutto distinguere impianti in grado semplicemente di riprodurre un suono potente da impianti dedicati a creare un suono che possiamo definire spaziale e teso al realismo.

Sul mercato esistono di sistemi di casse audio pensate sia per la musica che per l'home-theatre attraverso le quali si cerca di riprodurre un effetto di spazialità che consente di ascoltare il suono in qualunque posizione, quasi come se esso stesse arrivando anche dal muro di fronte e non solo dal diffusore.

Possiamo ascoltare musica con due casse acustiche frontali ma se vogliamo trasformare il nostro salotto in un piccolo cinema privato, dovremo ricorrere al si-

PER approfondire...

- [1] Datasheet e documenti vari di fonte Ciare
- [2] Datasheet e documenti vari di fonte Rcf
- [3] Pioneer
- [4] <http://www.helium-audio.com>
- [5] <http://it.wikipedia.org> (articoli vari)
- [6] <http://www.altoparlanti.info/altoparlanti-per-auto.html>

stema 5.1 che prevede 5 piccole casse satelliti distribuite opportunamente nella stanza (generalmente una al centro, due ai lati frontalmente e due ai lati posteriormente) e una cassa acustica ben più grande, poggiata sul pavimento, cui è affidata la riproduzione delle basse frequenze. Si può però anche ricorrere ad una soluzione intermedia che impieghi 3 soli diffusori, cioè due casse piccole da libreria ed un subwoofer per i bassi (**figura 16**).

DIFFUSORI COASSIALI

Uno dei problemi che inficia una riproduzione di qualità da parte di una coppia di altoparlanti, è dato dalla non coincidenza dei centri di emissione, cosa che produce interferenze dannose dipendenti dall'angolazione di ascolto e della frequenza. Generalmente si cerca di avvicinare il più possibile i centri di emissione dei diversi altoparlanti che compongono un diffusore tanto che alcuni costruttori hanno pensato di ottenere questo risultato realizzando i cosiddetti altoparlanti coassiali caratterizzati da una struttura in cui si pone un altoparlante dentro l'altro sfruttando la cavità della bobina mobile e riunendo coassialmente sullo stesso cestello, woofer e tweeter (**figura 17**).

Ne consegue che per ogni angolo intorno al diffusore si hanno uguali percorsi delle onde sonore emesse dai due altoparlanti.

ALCUNI CASI RICORRENTI DI DIFFUSIONE SONORA

A parte le applicazioni che rientrano nell'ambito musicale professionale e dell'Home-Theatre esistono campi applicativi più comuni della diffusione sonora in cui spes-

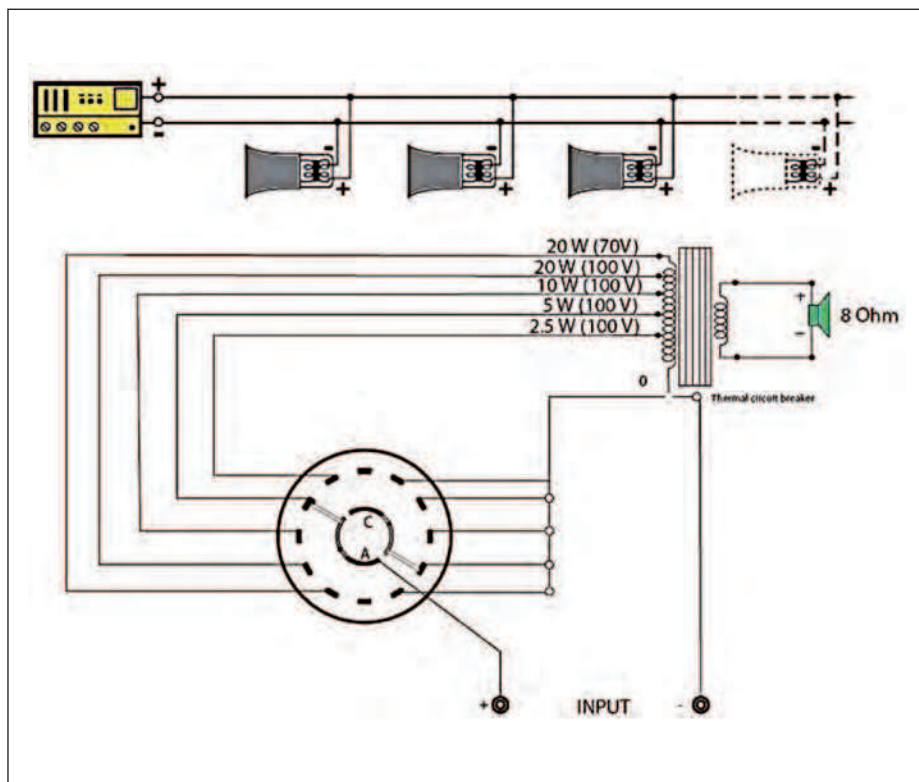


Figura 19: Tipico impiego delle trombe acustiche per diffusione da esterno e connessioni elettriche interne del diffusore [2]

so non è richiesta una qualità eccelsa di riproduzione.

Per diffusioni sonore in ambienti aperti ampi come stazioni ferroviarie o parcheggi è possibile, per esempio, utilizzare diffusori a tromba in alluminio pressofuso (figura 18) che consentono di privilegiare la pressione acustica e la direttività piuttosto che la qualità della riproduzione e l'ampiezza di banda.

Normalmente si tratta di diffusori con banda compresa tra 200-300Hz e 7-10 kHz, max SPL 120-130 dB, potenze da 20-30W a 50-70W RMS, alimentati da amplificatori con uscite a 70/100V e che generalmente integrano un apposito trasformatore adattatore che permette loro di accettare tale segnale. A seconda dei morsetti di ingresso utilizzati è possibile adattare la tromba per diversi valori di potenza (figura 19).

Un'altra applicazione comune ma completamente differente, è quella degli impianti audio delle automobili che generalmente integrano woofer midrange, tweeter e microtweeter (questi ultimi generalmente collocati nella parte laterale alta del cruscotto) ed eventualmente un

subwoofer installato nel bagagliaio. Il tutto dovrebbe essere teso ad ottenere una fedeltà del suono quanto più elevata possibile, compatibilmente con le caratteristiche dell'autoradio e dell'abitacolo, tuttavia, in alcuni casi si finisce soprattutto per produrre un'altissima pressione sonora nell'abitacolo piuttosto che una buona fedeltà del suono.

Un cenno meritano infine gli auricolari e le cuffie che sono di fatto dei piccoli altoparlanti. Solo in linea di massima vale la relazione impedenza più bassa (a parità di potenza erogata) = volume più alto = suono meno definito. Generalmente presentano valori d'impedenza maggiori o uguali a 32 ohm.

ALCUNE OSSERVAZIONI PRATICHE E CONCLUSIONI

Come il lettore avrà potuto osservare, l'esposizione è stata tenuta il più possibile lontana da formalismi di natura matematica e vicina a considerazioni di carattere fisico e tecnico-pratico nell'intento di fornire, specie a coloro che non hanno alcuna conoscenza diretta in merito, le basi sull'argomento. Chi intende appropofon-

dire, non dovrebbe trovare difficoltà a reperire datasheet e application-notes di diffusori e apparecchiature audio direttamente sui siti dei costruttori.

Ritengo utile concludere con alcune spunti pratici che possono essere di ispirazione per successivi approfondimenti da parte del lettore:

1. Quando si collega un altoparlante ad un amplificatore è necessario rispettare le polarità. Se non si riesce ad individuarla è sufficiente collegare una pila da 4,5V allo stesso altoparlante. Se la membrana si sposta verso l'esterno, il polo positivo della pila individua il positivo dell'altoparlante, diversamente il polo positivo è l'altro. La polarità deve poi essere rispettata da tutte le casse. Infatti, se si collegano due casse con polarità invertite tra loro, quando l'altoparlante del canale destro sposta la sua membrana in avanti, quello del canale sinistro la sposta indietro, per cui l'effetto sonoro dovuto alla compressione di una membrana tende ad essere annullata dall'effetto della decompressione dell'altra (le due casse lavorano in opposizione di fase ed il suono risultante tende ad attenuarsi, effetto non trascurabile tanto da essere normalmente percepibile ad orecchio).

2. A parità di finale di potenza al crescere dell'impedenza dell'altoparlante, diminuisce la potenza ad esso trasferita e quindi la pressione sonora irradiata.

3. In un impianto di diffusione in cui l'origine del segnale è costituito da un microfono, è necessario porre particolare attenzione all'effetto Larsen cioè quel fastidioso fischio prodotto dai diffusori quando li si avvicina al microfono, cosa che determina la formazione di un loop acustico da cui l'innescò.

Per evitare questo problema, sebbene esistano filtri elettronici anti-Larsen, è necessario curare in modo particolare la posizione, l'orientamento dei diffusori, le loro caratteristiche di direttività, i volumi in funzione della conformazione architettonica dell'ambiente e dei materiali che lo occupano.

4. Un equalizzatore può esaltare o attenuare specifiche gamme di frequenze compensando eventuali problemi legati all'assorbimento o alla riflessione dell'ambientale. □