

## **Segnali audio digitali**

La maggior parte dei fenomeni fisici del mondo che ci circonda, inclusi i suoni, hanno luogo in un dominio continuo (anche detto analogico). I trasduttori utilizzati per convertire il suono in segnali elettrici (microfoni) e viceversa (altoparlanti) sono anch'essi analogici. Un microfono produce un segnale elettrico continuo con un numero infinito di possibili valori di ampiezza. Il segnale analogico può poi essere ulteriormente amplificato ad un livello adeguato per poter essere processato da dispositivi di mixaggio, registrazione, trasmissione e riproduzione. La catena di dispositivi utilizzati per amplificare, processare e trasmettere il segnale elettrico dalla sorgente (microfono) alla destinazione (altoparlanti), e i cavi che li connettono, possono essere considerati come un unico mezzo (medium). Sfortunatamente tali dispositivi introducono delle alterazioni sul segnale (distorsioni lineari, nonlineari, rumore) che degradano la qualità del segnale. Le degradazioni sono in generale di natura additiva, cioè tendono ad accumularsi. Perciò, il numero e le caratteristiche specifiche dei dispositivi lungo il mezzo determinano la qualità complessiva. Ciò impone un limite sul numero e la qualità dei dispositivi attraverso i quali il segnale audio analogico può passare prima che il livello di degradazione divenga inaccettabile.

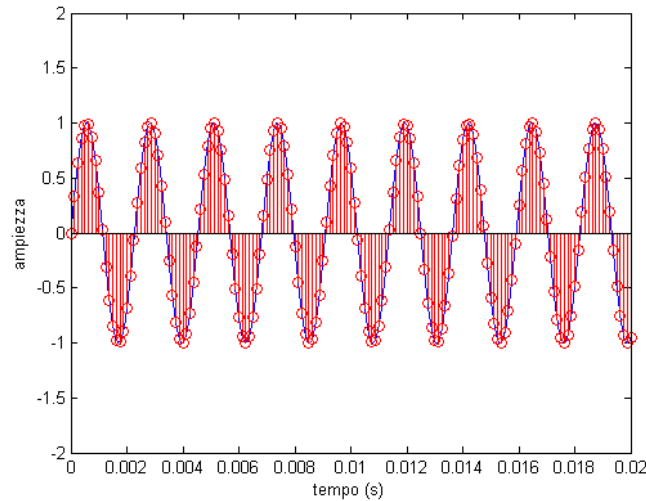
Tuttavia è possibile eliminare molti dei problemi di degradazione del segnale causati dalla erronea trasmissione del segnale audio analogico convertendo lo stesso in formato digitale, prima che questo venga inviato sul mezzo. I sistemi di audio digitale convertono il segnale analogico in un segnale numerico di tipo binario, caratterizzato da due stati ben definiti: zero e uno. Il deterioramento del segnale elettrico ha effetto anche sul segnale numerico, ma quest'ultimo tende ad essere molto più robusto, preservando l'integrità dell'informazione contenuta nello stesso. Tali sistemi introducono distorsioni solamente nei processi di conversione analogico/digitale (ADC – analogue/digital converter) e digitale/analogico (DAC – digital/analogue converter). Il mezzo non introduce errori sul segnale numerico purchè il rumore additivo sulla linea di trasmissione sia inferiore ad una soglia linearmente dipendente dalla potenza del segnale numerico, in particolare la trasmissione non introduce errori se il rapporto tra la potenza del segnale e la potenza del rumore (SNR – Signal-to-Noise Ratio) sia superiore ad una certa soglia. Se ciò non avviene anche il sistema digitale è soggetto ad errori ed in questo caso la degradazione è repentina e spesso inaccettabile.

Nel seguito vengono analizzati i concetti fondamentali utilizzati nella conversione da analogico a digitale: campionamento e quantizzazione.

### **Campionamento**

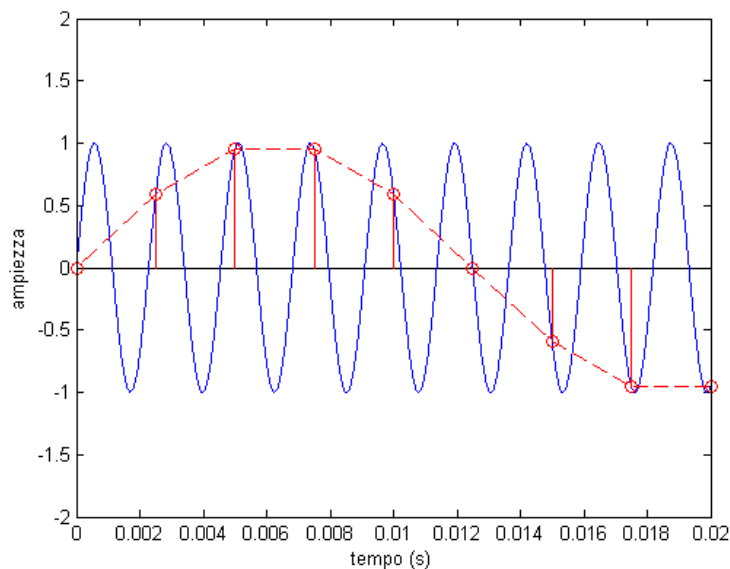
Il campionamento è il primo passo che consente di convertire un segnale audio da analogico a digitale. Il processo di campionamento consiste nel misurare l'ampiezza del segnale analogico a intervalli regolari,  $T_c$ , detti istanti di campionamento. Il problema principale consiste nel rappresentare il segnale originale con sufficiente precisione. La precisione dipende dalla frequenza con la quale vengono misurate le ampiezze. Il teorema del campionamento di Shannon afferma che la frequenza di campionamento ( $F_c = 1/T_c$ ) debba essere almeno due volte la massima frequenza contenuta nel segnale audio che deve essere campionato.

La Figura 1 mostra il segnale analogico corrispondente alla nota LA ( $F = 440$  Hz) campionato con una frequenza di campionamento pari a  $F_c = 8$  kHz. Poichè  $F_c > 2F$  è possibile ricostruire il segnale originale a partire dai campioni.



**Figura 1 – Segnale analogico a 440 Hz campionato alla frequenza di campionamento  $F_c = 8\text{kHz}$**

La Figura 2 mostra lo stesso segnale analogico, questa volta però campionato con una frequenza di campionamento pari a  $F_c = 400\text{ Hz}$ . Poichè la condizione  $F_c > 2F$  non viene rispettata, il segnale ricostruito a partire dai campioni (mostrato con la linea rossa tratteggiata) sarà in generale diverso dal segnale di partenza. In questo caso verrebbe ricostruita una sinusoide avente la frequenza pari a  $F - F_c = 40\text{ Hz}$ . Questo fenomeno è noto con il nome di aliasing. Un esempio appartenente all'esperienza comune del fenomeno di aliasing quello della ruota di un'automobile che sembra girare al contrario (e ad una velocità inferiore) quando visualizzata da un televisore. Quest'ultimo infatti campiona il segnale con una frequenza pari a 50Hz. Se la ruota gira troppo velocemente si verifica aliasing.



**Figura 2 - Segnale analogico a 440 Hz campionato alla frequenza di campionamento  $F_c = 400\text{ Hz}$**

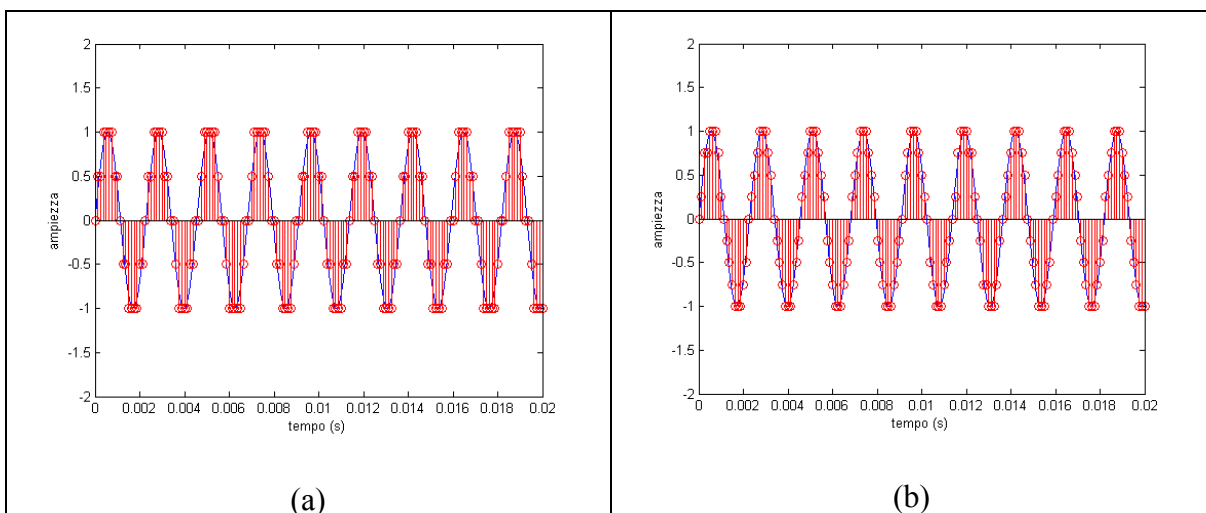
Tornando ad esaminare segnali di tipo audio, il segnale trasmesso sulle linee telefoniche ha una frequenza massima di circa 3,4kHz. Quando tale segnale viene convertito in digitale, la frequenza di campionamento scelta è tipicamente di 8kHz.

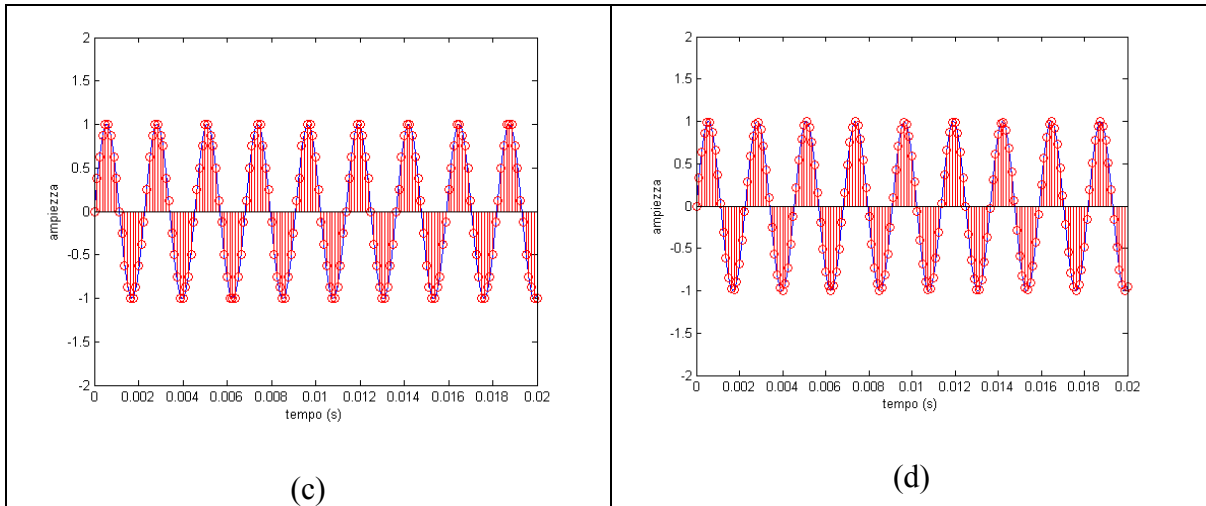
Per ragioni di carattere storico, le registrazioni su CD utilizzano una frequenza di campionamento pari a 44.1kHz. Negli studi di registrazione spesso si ricorre ad una frequenza di campionamento pari a 48kHz. Si può osservare come tale frequenza sia abbondantemente maggiore del doppio della massima frequenza che può essere udita dall'orecchio umano, sensibile nell'intervallo 20 Hz – 20kHz.

## Quantizzazione

Il passo successivo nella conversione da analogico a digitale è il processo di quantizzazione. A valle del campionamento, i campioni estratti rappresentano le ampiezze con una precisione arbitraria, che può essere rappresentata utilizzando numeri reali. Per poter essere processato da un calcolatore, il valore dell'ampiezza deve essere espresso tramite un numero finito di bit. L'operazione di quantizzazione suddivide l'intervallo dei valori di tensione che possono essere assunti dal segnale audio analogico in  $2^n$  intervalli, dove  $n$  è il numero di bit per campione. Ad esempio, un sistema a 8 bit può identificare  $2^8 = 256$  valori discreti delle ampiezze.

La Figura 3 mostra il segnale campionato a 8kHz e quantizzato utilizzando 2 bit (●), 3 bit (●), 4 bit (●), 8 bit (●) per campione. Il segnale quantizzato rappresenta un'approssimazione del segnale di partenza. Tale approssimazione sarà tanto più accurata quanto maggiore sarà il numero di bit assegnato ad ogni campione. In altre parole è possibile dire che l'operazione di quantizzazione introduce un rumore, che risulta udibile quando il rapporto segnale-rumore scende al di sotto di una certa soglia.





**Figura 3 – Quantizzazione con (a) 2 bit, (b) 3 bit, (c) 4 bit, (d) 8 bit**

Nei dispositivi di tipo CD,  $n = 16$  bit (65.536 intervalli) per campione. I dispositivi professionali utilizzati negli studi di registrazione tendono ad utilizzare un numero maggiore di intervalli,  $n = 20$  bit (1.048.576 intervalli) o 24 bit (16.777.215 intervalli).

# Trasduttori acusto-elettrici

## Microfoni

Come è noto la funzione di un microfono è quella di “catturare” i suoni per poterli amplificare, registrare o trasmettere.

Il microfono è quindi un trasduttore acustico-elettrico, ossia trasforma l'energia acustica in energia meccanica e questa in energia elettrica. Sin da ora possiamo dunque riconoscere in un microfono la funzione inversa rispetto all'altoparlante: mentre in un microfono si trasformano le variazioni di pressione acustica in segnale elettrico, gli altoparlanti trasformano i segnali elettrici in onde acustiche. Un altoparlante, in alcune situazioni, può fare le funzioni di microfono, ad esempio nei *walkie-talkie* economici.

I microfoni si differenziano fra di loro per il diverso modo in cui generano da un'onda sonora un segnale audio analogico. Prevalentemente usati nello spettacolo sono i microfoni *dinamici* e quelli a *condensatore*. Vi sono poi microfoni *a carbone*, *piezoelettrici* e *a nastro* dei quali tratteremo brevemente.

## Microfoni dinamici (o a bobina mobile)

Come abbiamo detto sono strutturalmente molto simili agli altoparlanti dinamici. Sono composti da un magnete permanente, dotato di una feritoia circolare, denominata **traferro**, nella quale può muoversi una bobina mobile a cui è solidale un diaframma sensibile alle onde sonore. Il movimento della bobina generato dalla pressione acustica sviluppa in essa per induzione un segnale elettrico, il cui valore è proporzionale alle onde sonore incidenti.

Il microfono dinamico ha buone prestazioni, è sufficientemente robusto ed economico. È particolarmente adatto a captare suoni di forte intensità.

Il principale limite dei microfoni dinamici è rappresentato dalla massa relativamente notevole dell'*equipaggiamento mobile* (membrana e bobina mobile), che è causa di una certa inerzia. Per questo motivo tali microfoni non sono molto indicati per captare suoni di debole intensità e di frequenza particolarmente elevata.

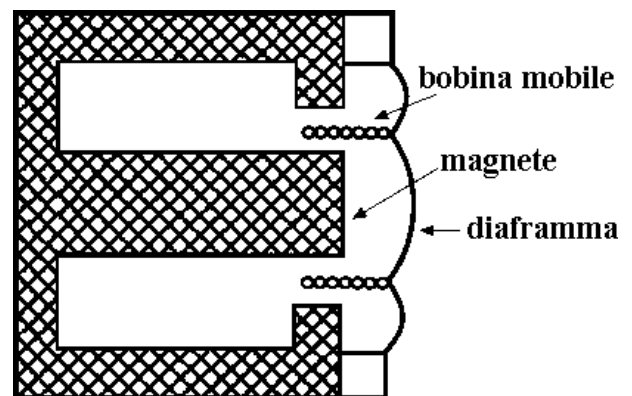


Figura 4 - schema di un microfono dinamico

## Microfoni a condensatore

In questo tipo di microfono il diaframma sensibile alle onde sonore è una sottilissima lamina metallica; questa è sospesa parallelamente e a distanza ravvicinata con una piastra rigida metallica. Questi due elementi costituiscono le *armature* di un *condensatore piano* avente l'aria come *dielettrico*.

La lamina metallica sollecitata dalle onde sonore, si flette facendo così variare la distanza fra le armature e, in proporzione, la capacità del condensatore. Per fare in modo che tale variazione di capacità determini una variazione di tensione, e quindi un segnale audio analogico, occorre *polarizzare* le armature del condensatore, ossia applicare ad esse una tensione

continua. Questo può essere fatto mediante una o più pile inserite nel corpo del microfono, oppure tramite una apposita *alimentazione phantom* che giunge al microfono attraverso il cavo di collegamento.

L'alimentazione phantom viene fornita ai microfoni a condensatore da appositi alimentatori, o direttamente dal mixer o dal preamplificatore. Essa deve arrivare al microfono senza naturalmente interferire minimamente col segnale analogico in uscita. Questo si realizza sfruttando i tre conduttori della linea bilanciata con cui il microfono è collegato.

Il microfono a condensatore, grazie alla limitata massa del suo equipaggiamento mobile, riesce a superare i problemi tipici dei microfoni dinamici, per cui risulta particolarmente indicato per suoni di debole intensità, riprese a distanza, e per i suoni di alta frequenza e ricchi di armoniche. Questo tipo di microfono può essere messo in crisi da suoni di elevata intensità, in quanto può verificarsi che, per un eccessivo spostamento, le armature vengano in contatto. Per questo motivo sui suoni di alta intensità o di bassa frequenza si preferisce usare dei microfoni dinamici. Per usare microfoni a condensatore anche in queste situazioni occorre rivolgersi ai modelli a diaframma largo.

Un buon microfono a condensatore è generalmente molto più costoso di un microfono dinamico, tuttavia le case produttrici tendono ad offrire prodotti a prezzi sempre più accessibili, per cui i microfoni a condensatore si stanno diffondendo in misura sempre maggiore.

Un tipo particolare di microfono a condensatore è quello denominato **electret**, o a *polarizzazione permanente*. Mediante l'uso di particolari materiali e di particolari tecniche costruttive si riesce a realizzare un microfono molto economico e molto piccolo, che trova vaste applicazioni ove non sia richiesta un'alta qualità di ripresa (ad esempio nei telefoni cellulari).

## Altri tipi di microfono

### Microfono a carbone

È costituito da una scatoletta cilindrica riempita con granuli di carbone, dotata di un coperchio superiore a lamina cedevole e di un fondo di metallo rigido. Il suono colpisce la lamina superiore,

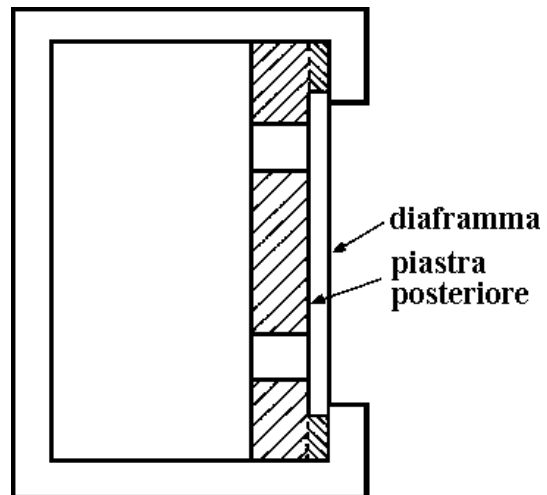


Figura 5 - schema di un microfono a condensatore

trasmettendo una pressione variabile, che comprime i granuli di carbone sottostanti, i quali fanno variare a loro volta la resistenza elettrica del microfono.

Il microfono quindi non è in grado di generare autonomamente un segnale audio, ma si comporta come un elemento a resistenza elettrica variabile. Per questo motivo deve essere inserito in un circuito a corrente continua.

Questo tipo di microfono viene utilizzato esclusivamente negli apparecchi telefonici domestici e nei citofoni. La qualità audio è piuttosto scarsa.

### Microfono piezoelettrico (a cristallo)

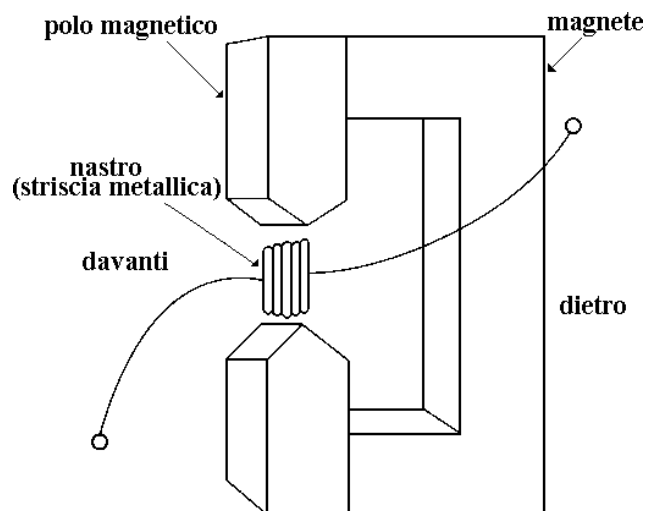
In questo microfono viene sfruttata la caratteristica di alcuni solidi cristallini di generare differenze di potenziale in presenza di azioni torsionali o di compressione. In pratica la membrana posta in vibrazione dalle onde sonore agisce meccanicamente sul cristallo, il quale genera una tensione proporzionale alla sollecitazione ricevuta.

Questo tipo di microfono produce un segnale audio di grande ampiezza, ma con una qualità molto bassa. Al giorno d'oggi non è quasi più usato.

### Microfono a nastro

In questi microfoni una sottile e leggera striscia metallica (nastro), sensibile alle onde sonore, è sospeso fra le espansioni polari di un magnete permanente. Al vibrare di questa lamina, si genera, per induzione, ai suoi estremi, una corrente elettrica di intensità proporzionale alla pressione sonora.

I microfoni a nastro hanno un'ottima qualità, ma a causa della complessità della costruzione sono molto costosi e sono inoltre estremamente fragili. È impensabile il loro uso durante uno spettacolo dal vivo, ed anche in studio occorre trattarli con estrema delicatezza.



**Figura 6 - schema di un microfono a nastro**

## **Uso dei diversi microfoni**

Senza avere la presunzione di esaurire in queste poche righe un argomento quale la scelta del microfono, che rappresenta un fattore determinante per la riuscita del lavoro, e che spesso è una prerogativa personale del fonico, alla luce delle sue conoscenze, ma soprattutto delle sue esperienze, consideriamo semplicisticamente diverse situazioni e vediamo di attribuire il tipo di microfono che può apparire il più adatto:

- Voce, cantante rock dal vivo: *microfono dinamico o specifico<sup>1</sup> a condensatore*
- Voce, cantante rock in studio: *microfono a condensatore con diaframma largo*
- Voce, cantante lirico uomo o donna: *microfono a condensatore con ripresa a distanza<sup>2</sup>*
- Voce recitante, attore con voce impostata: *microfono dinamico o specifico a condensatore*
- Voce, conferenza, persona con voce non impostata: *microfono a condensatore*
- Batteria, cassa, rullante, tom e timpano: *microfono dinamico*
- Batteria, charleston e piatti: *microfono a condensatore*
- Batteria jazz, ripresa panoramica con un solo microfono: *microfono a condensatore*
- Percussioni, ripresa ravvicinata: *microfono dinamico*
- Percussioni, ripresa panoramica: *microfono a condensatore*
- Amplificatore di una chitarra elettrica: *microfono dinamico*
- Chitarra classica o acustica: *microfono a condensatore*
- Strumenti a corda pizzicata, arpa, clavicembalo: *microfono a condensatore*
- Pianoforte: *microfono dinamico o a condensatore oppure microfono a zona di pressione*
- Violino, viola: *microfono a condensatore*
- Violoncello: *microfono dinamico o a condensatore*
- Contrabbasso: *microfono dinamico o a condensatore con diaframma largo*
- Sassofono: *microfono dinamico*
- Tromba: *microfono dinamico o a condensatore con diaframma largo*
- Trombone, corno, basso tuba: *microfono dinamico*
- Flauto, ottavino: *microfono dinamico*
- Oboe, corno inglese, fagotto: *microfono a condensatore*
- Clarinetto<sup>3</sup>, clarinetto basso: *microfono dinamico o a condensatore*
- Coro, ripresa panoramica: *microfono a condensatore con diaframma largo*
- Orchestra, ripresa panoramica: *microfono a condensatore con diaframma largo*
- Scena teatrale, ripresa panoramica: *microfono a condensatore*

In questa scelta si è optato per microfoni a condensatore in tutte le riprese panoramiche e a distanza, ed in tutti quei casi in cui gli strumenti avessero un'emissione di intensità non elevata, o che presentassero un'emissione verso la parte acuta dello spettro o comunque un suono ricco di armoniche. Il microfono dinamico è consigliato per emissioni di forte intensità o di timbro grave.

Come abbiamo già detto l'esperienza di un bravo fonico può portare a scelte anche molto differenti da quelle sopra illustrate.

---

<sup>1</sup> Per quanto riguarda la voce rock in esibizioni dal vivo, fino a qualche tempo fa era di rigore la ripresa con microfono dinamico. Attualmente sono in commercio dei microfoni a condensatore specificatamente concepiti per questo impiego, e che forniscono prestazioni superiori ai modelli dinamici.

<sup>2</sup> Distanza di ripresa di circa 60 centimetri

<sup>3</sup> Nel jazz: microfono dinamico



## Caratteristiche direzionali dei microfoni

I microfoni possono essere classificati a seconda della maniera in cui rispondono ai suoni provenienti da diverse direzioni. Alcuni rispondono allo stesso modo a suoni provenienti da qualunque direzione, altri hanno diversi livelli di uscita a seconda della diversa angolazione delle sorgenti attorno ad essi.

Chiameremo **omnidirezionale** il microfono che è sensibile in maniera uguale ai suoni provenienti da qualunque direzione.

Quei microfoni che presentano una sensibilità accentuata verso i suoni provenienti da una specifica direzione si dicono **direzionali**. Possiamo in particolare denominare **cardioidi** i microfoni a bassa direzionalità, **supercardioidi** quelli a media direzionalità, **ipercardioidi** quelli ad alta direzionalità.

Vi sono poi microfoni che presentano una sensibilità alta dalla parte anteriore e da quella posteriore, mentre hanno una sensibilità nulla per i suoni provenienti lateralmente. Tali microfoni prendono il nome di **bidirezionali**, o anche di **figura a 8**.

La caratteristica direzionale di un microfono è rappresentata in diagrammi detti diagrammi polari: si mostra la potenza elettrica corrispondente all'incisione di un'onda acustica di predeterminata potenza al variare dell'angolo di incisione.

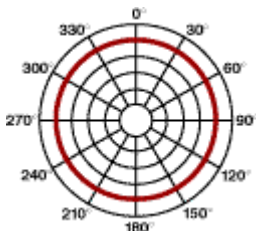


Figura 9 - microfono omnidirezionale

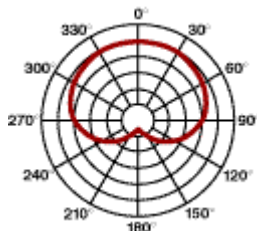


Figura 10 - microfono cardiode

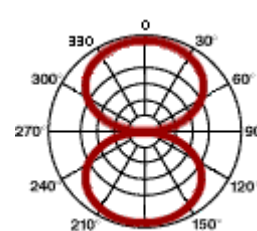


Figura 11 - microfono bidirezionale

Come è facilmente immaginabile la caratteristica direzionale di un microfono ha una grande importanza in relazione all'uso che se ne deve fare. Nello spettacolo sono usati soprattutto i microfoni direzionali, in particolar modo quando il suono deve essere amplificato, e questo allo scopo di ridurre il rientro nel microfono del suono emesso dagli altoparlanti, catturato dal microfono stesso, che causerebbe il fastidioso fischio che si sente quando si avvicina il microfono all'altoparlante, noto come effetto Larsen.

Quanto più la sorgente del suono da captare è distante, maggiormente il microfono deve essere direzionale. Esistono dei microfoni particolari, denominati **fucili**, o **shotgun**, estremamente direzionali, studiati appositamente per la ripresa di sorgenti sonore lontane. Questi microfoni sono del tipo *a condensatore*, dovendo riprendere suoni di bassa intensità.

L'uso di microfoni omnidirezionali nello spettacolo è piuttosto limitato. Questi trovano applicazione soprattutto quando sia necessario evitare l'**effetto di prossimità**, ossia quella caratteristica, propria dei microfoni direzionali, di accentuare le basse frequenze quanto più è vicina

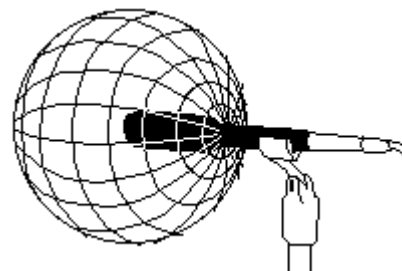


Figura 7 - microfono omnidirezionale

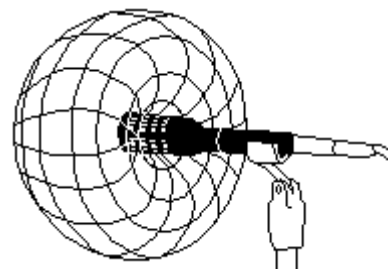


Figura 8 - microfono cardiode

la fonte del suono. Questo effetto può essere sfruttato creativamente dai cantanti che possono variare il timbro della propria voce avvicinandosi o allontanandosi dal microfono. Un uso tipico di un microfono con caratteristica polare bidirezionale (figura a 8), si ha negli studi delle emittenti radiofoniche in cui ad un tavolo sopra il quale è sospeso un microfono di questo tipo siedono, uno di fronte all'altro, due speaker che si alternano nel parlare. È il caso di osservare che dal momento che in questa situazione la voce di uno speaker viene captata dalla parte anteriore della membrana del microfono, e la voce dell'altro la parte posteriore, le due voci risulteranno in *controfase*. In questa situazione tuttavia questo comporta effetti negativi.

### Microfoni a zona di pressione (P.Z.M.)

In molte situazioni il fonico è costretto a mettere i microfoni nelle vicinanze di una superficie riflettente il suono. Esempi tipici di questa situazione sono la ripresa "panoramica" di una scena che si svolge sopra un palcoscenico, oppure la ripresa di un pianoforte a coda con la coda aperta. Il piano del palcoscenico ed il coperchio del pianoforte sono superfici che riflettono il suono. In queste condizioni al microfono giunge sia il suono diretto che quello riflesso. Il suono riflesso dovrà percorrere un percorso maggiore quindi arriverà al microfono in ritardo rispetto al suono diretto. Per talune frequenze il suono diretto e quello riflesso saranno in fase, e quindi si sommeranno, per altre saranno in controfase, e quindi tenderanno ad annullarsi.

Possiamo dire che questo provoca un effetto "filtro a pettine" per cui talune frequenze saranno esaltate, alcune attenuate, altre addirittura cancellate.

Avvicinando il microfono alla superficie riflettente, la differenza nella lunghezza del percorso che i due suoni devono percorrere è minore, minore sarà quindi il ritardo con cui giunge il suono riflesso. Anche in questo caso avremo un effetto "filtro a pettine", ma questo interesserà suoni a frequenza maggiore. Quindi più si avvicina il microfono alla superficie, minore è il ritardo del suono riflesso, e più alto è il campo di frequenze interessato dal deleterio effetto "filtro a pettine".

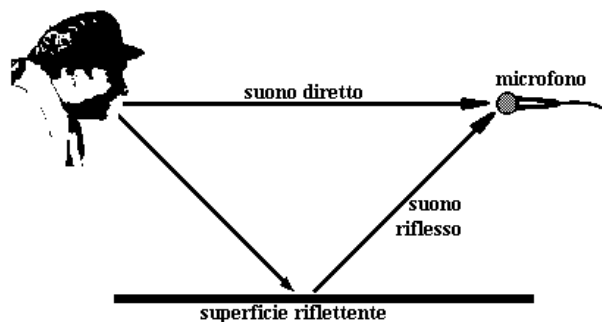


Figura 12 – cammini acustici in prossimità di una superficie

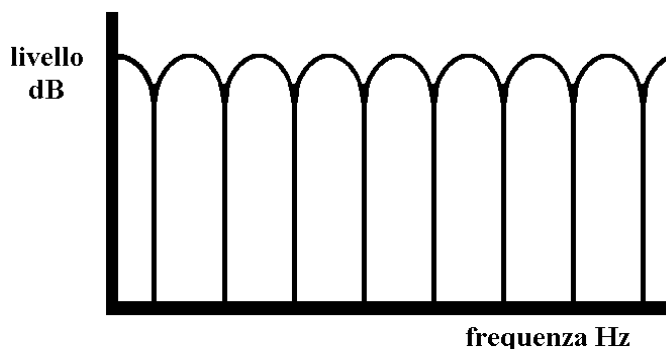


Figura 13 - effetto "filtro a pettine"

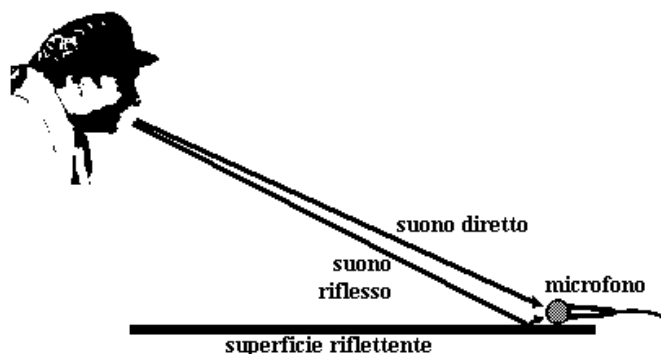


Figura 14 - ripresa con microfono ravvicinato alla superficie

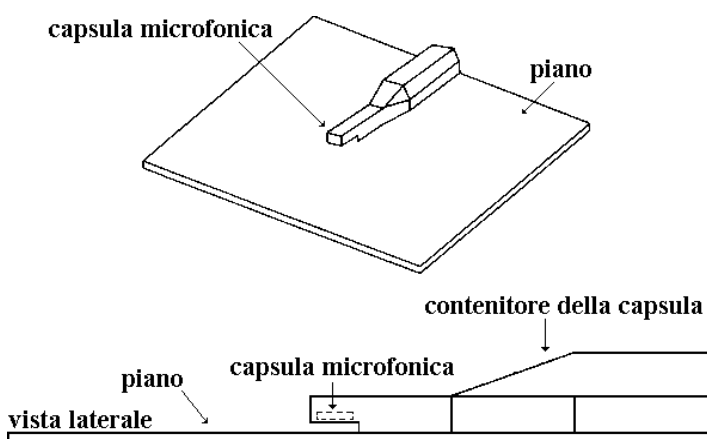


Figura 15 - microfono PZM

Seguendo questo principio l'americana Crown ha studiato il suo **PZM** (Pressure Zone Microphone) in modo da utilizzare la combinazione fra suono diretto e suono riflesso per ottenere un miglioramento nella ripresa acustica.

Il microfono PZM è formato da un piano metallico che costituisce la continuazione ideale della superficie riflettente, sul quale è sospesa orizzontalmente a brevissima distanza una capsula microfonica a condensatore.

In questo modo l'effetto "filtro a pettine" interessa frequenze ultrasoniche. Nel campo udibile il suono diretto e quello riflesso sono sempre in fase, è questo comporta un incremento della pressione sonora di 6 dB.

## ***Radiomicrofoni***

Quando, alla metà degli anni '80 apparvero i primi radiomicrofoni, non erano certo gli strumenti affidabili che abbiamo adesso, tuttavia era chiaro che si apriva una nuova era nella tecnica della sonorizzazione. La tecnologia "wireless" ha consentito negli spettacoli musicali di eliminare quel "cordone ombelicale" che inesorabilmente seguiva i cantanti, limitandoli nei loro movimenti, e di avere nel complesso palchi più ordinati. Negli spettacoli teatrali questa tecnologia, unita ad un'esperata miniaturizzazione delle capsule microfoniche, consente una ripresa acustica direttamente a contatto degli attori, in maniera quasi invisibile!

Tecnicamente un **sistema radiomicrofonico** consta in una capsula microfonica connessa ad un trasmettitore radio miniaturizzato ed alimentato con una pila, e in un ricevitore radio *sintonizzato* sulla stessa frequenza. Il ricevitore è dotato di uscite audio che possono essere di tipo bilanciato, solitamente a livello microfonico, o sbilanciate a livello linea.

## ***Tipi di radiomicrofoni***

Attualmente sono disponibili radiomicrofoni di due tipi: a mano, detti anche a gelato o hand held, e bodypack o da tasca; si differenziano per la parte trasmittente, mentre il ricevitore resta uguale per entrambe i tipi.

- ❖ Il **radiomicrofono a mano** ha l'aspetto di un classico microfono da canto, privo naturalmente del connettore per il cavo di collegamento, con dimensioni maggiori. Può esservi una antenna rigida o a filo, oppure questa può essere integrata nella lunghezza del corpo del microfono. Nel corpo di un radiomicrofono a mano è integrata sia la capsula microfonica che il dispositivo trasmittente.
- ❖ Il **radiomicrofono bodypack** si presenta come una scatola metallica o in plastica delle dimensioni di un pacchetto di sigarette contenente il trasmettitore, a cui viene connessa una capsula microfonica di vario tipo. Le tipologie di capsule microfoniche attualmente usate sono principalmente quattro:
  - **lavalier**, detta anche "a collarino" o "a clip", con caratteristiche polari cardioidi
  - **lavalier miniaturizzato**, detta anche "a polce", o "a mosca", con caratteristiche polari omnidirezionali
  - **headset**, detta anche "a cuffietta" o "ad archetto" con capsula integrata in una montatura di plastica o di metallo flessibile che, poggiandosi sulle orecchie, situa il microfono in prossimità della bocca
  - **headset leggero**, come l'headset ma con montatura estremamente leggera e generalmente di colore beige. Può anche essere di tipo sospeso sotto le orecchie.

## **Uso dei radiomicrofoni**

Il **radiomicrofono a mano** è usato soprattutto in due casi:

- per cantare; avendo caratteristiche acustiche sostanzialmente uguali a quelle di un microfono a filo, da modo al cantante di sfruttare creativamente l'effetto di prossimità del microfono.
- Per presentare, qualora non sia possibile dotare i presentatori di radiomicrofoni lavalier. In questo modo è possibile far parlare diverse persone con un solo microfono facendolo passare. È quello che avviene nei "talk show", o comunque in quelle occasioni in cui è necessario far intervenire persone dal pubblico, ad esempio in una conferenza stampa.

Il radiomicrofono a mano dà ottime prestazioni e, grazie alla sua direzionalità ed al fatto che viene usato abbastanza vicino alla bocca, è abbastanza insensibile all'effetto Larsen, tuttavia ha l'inconveniente di tenere occupata permanentemente una mano. Per ovviare a questo problema possiamo impiegare i radiomicrofoni bodypack, in cui il trasmettitore può essere tenuto in una tasca, o appeso alla cinta, ed il microfono è attaccato ai vestiti o al viso di chi parla.

In particolare una **capsula microfonica lavalier** è dotata di una clip per essere fissata al vestito, alla giacca o alla cravatta di chi parla, ad una distanza di 15 – 20 centimetri dal mento. Qualora il vestito non consentisse il fissaggio della clip, esistono accessori quali calamite, che permettono di assicurare il microfono anche agli indumenti più sottili.

Questo tipo di microfono è quello che vediamo abitualmente in tutti i programmi televisivi; si dimostra particolarmente adatto per il parlato, tuttavia può essere usato con successo per il canto in quei casi in cui la voce debba avere una resa "acustica" e naturale, senza richiedere alti volumi. La ripresa è ottima quando si tratta di trasmettere o di registrare, i problemi sorgono quando si deve amplificare il suono. Il microfono è lontano dalla bocca, quindi deve essere maggiore il guadagno dell'amplificazione; in queste condizioni insorgono rientri ed effetto Larsen. Si possono raggiungere risultati accettabili solo disponendo i diffusori con molta attenzione.

La strada da percorrere per contenere l'effetto Larsen nelle amplificazioni con radiomicrofoni lavalier è quella di avvicinare il microfono alla sorgente del suono, ossia alla bocca. Qualche anno fa alcuni fonici hanno provato a fissare con dei cerotti, dei **microfoni lavalier miniaturizzati**, direttamente sul viso degli attori. Una capsula miniaturizzata può avere le dimensioni di un chicco di riso, e può quindi essere dissimulata alla vista. I risultati sono stati positivi, ed oggi forse il miglior modo di microfonare un attore è fermare un microfono "a pulce" sulla sua fronte, o sulla guancia, anche con l'aiuto di un piccolo braccetto di plastica appoggiato all'orecchio.

Resta da parlare del **microfono headset**. In principio fu studiato per poter cantare con le mani libere, magari ballando. La capsula sospesa lateralmente vicino alla bocca (e non davanti, pena la riproduzioni di disturbi dovuti al fiato), consente un'amplificazione con alto livello di uscita, quasi come il microfono a mano, con limitata sensibilità all'effetto Larsen.

# Trasduttori elettroacustici in aria: gli altoparlanti

## L'altoparlante

L'altoparlante è quel dispositivo elettro meccanico che ha il compito di generare suoni corrispondenti ai segnali audio che si applicano ai suoi morsetti. Dal punto di vista strettamente fisico può essere considerato come un *doppio trasduttore di energia*: da elettrica a meccanica e da meccanica a sonora. L'altoparlante effettua questa trasduzione con un'efficienza piuttosto bassa: possiamo dire che solo una piccola parte dell'energia elettrica viene trasformata in energia sonora, gran parte viene invece dispersa sotto forma di calore.

Esistono diversi tipi di altoparlanti: elettrostatici, piezoelettrici e dinamici.

Nell'altoparlante elettrostatico il segnale viene applicato su due *armature metalliche polarizzate*, una delle quali è meccanicamente collegata ad una membrana. Le due armature variano la loro posizione variando per effetto del segnale l'intensità del campo elettrico. La membrana viene posta in vibrazione e genera il suono.

Gli altoparlanti elettrostatici sono caratterizzati da buone prestazioni acustiche, ma da una scarsa efficienza, una costruzione complessa e un costo elevato per cui il loro uso è limitato ad alcune realizzazioni di prestigio per alta fedeltà.

Gli altoparlanti piezoelettrici sfruttano la proprietà di alcuni materiali, come il cristallo di quarzo, di entrare in vibrazione quando a loro viene applicata una corrente elettrica.

Si tratta di dispositivi poco costosi, molto robusti, molto efficienti, caratterizzati da una altissima impedenza, che consente di collegare facilmente un gran numero di tali altoparlanti. Possono riprodurre frequenze altissime, ben oltre il limite di udibilità, per questo motivo sono utilizzati soprattutto come *tweeter*. Tuttavia hanno una elevata distorsione ed una riproduzione tutt'altro che lineare, per cui non sono adatti a riproduzioni di qualità. In pratica sono usati solo in alcuni impianti da discoteca.

L'altoparlante dinamico è il più usato. Da quando fu ideato, questo componente non si è molto evoluto, e le realizzazioni attuali non differiscono molto da quelle originarie.

Un grosso magnete permanente crea un campo magnetico nel quale si trova una bobina nella quale circola il segnale da riprodurre, e che produce a sua volta un campo magnetico di intensità proporzionale a quella del segnale. Dall'interazione fra questi due campi magnetici si genera un movimento longitudinale della bobina mobile (trasduzione elettro-meccanica). Il supporto che porta la bobina è solidale con un cono di cartone, che quindi si muoverà insieme alla bobina. Il movimento del cono genererà nell'aria delle onde di pressione, quindi un suono avente caratteristiche *analoghe* al segnale in ingresso (trasduzione meccanico-sonora).

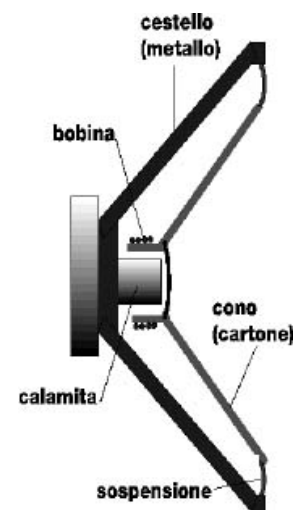


Figura 16 – apparato meccanico di un diffusore dinamico

Si osserva quindi che l'altoparlante è composto in realtà di due dispositivi: il complesso magnete - bobina trasforma il segnale in movimento, il cono trasforma il movimento in suono. Ognuno di questi due dispositivi è caratterizzato da differenti parametri fisici funzionali.

L'intero altoparlante avrà invece due parametri fondamentali: **l'impedenza** e la **potenza** .

In elettrotecnica l'impedenza si definisce come la resistenza elettrica opposta al passaggio di correnti alternate. Viene fornito, secondo certe regole, un valore di impedenza nominale, che può essere utile nella maggior parte dei calcoli. Per gli usi professionali e Hi – Fi si impiegano componenti con una impedenza nominale di 8 o 4  $\Omega$ . Il diagramma sopra riportato si riferisce ad un altoparlante con impedenza nominale di 8  $\Omega$ .

L'impedenza gioca un ruolo importante nell'accoppiamento finale di potenza – altoparlante. Ai morsetti del finale troviamo una tensione alternata che ha nel tempo un andamento analogo a quello del suono da riprodurre. Applicando tale tensione al circuito formato dalla bobina dell'altoparlante, si genera una corrente elettrica che, in ottemperanza alla prima legge di Ohm, sarà maggiore quanto più bassa sarà l'impedenza del circuito. È quindi evidente che se l'impedenza scendesse al di sotto di un certo limite, la corrente elettrica che scorre nel circuito, del quale fanno parte anche i transistor finali dell'amplificatore, crescerebbe fino a fondere proprio questi transistor. Per questo fra le caratteristiche di un finale di potenza è sempre specificata *l'impedenza minima applicabile*.

D'altro canto al crescere dell'impedenza, diminuendo la corrente, diminuisce conseguentemente la potenza, quindi la pressione sonora irradiata dall'altoparlante, per cui al fine di sfruttare al meglio la potenza che l'amplificatore può fornire, è preferibile che l'impedenza non sia molto alta.

Parlare di potenza di un altoparlante, che è un componente che non genera potenza potrebbe sembrare un argomento senza senso. In effetti, come vedremo questa grandezza può assumere i valori più vari, giungendo al limite dell'arbitrarietà.

Definiamo potenza di un altoparlante, la massima potenza che ad esso può essere applicata prima che il componente si rompa.

Il problema è che ogni fabbricante usa per misurare la potenza dei propri prodotti, il metodo che più gli aggrada:

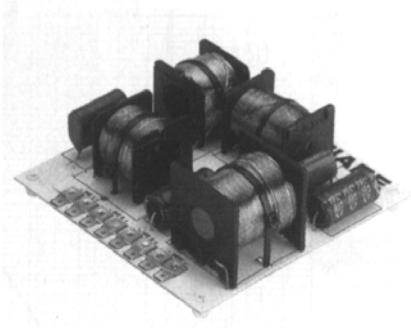
- innanzitutto, con che tipo di segnale effettuare la prova? Con un segnale sinusoidale? Con un segnale musicale? Con un segnale appositamente creato?
- Come misurare la potenza?
- Per quanto tempo deve essere applicato il segnale di prova? E' ovvio che applicare un segnale di elevata potenza per un minuto od un secondo sottopone a stress di diversa entità i componenti dell'altoparlante.

Ogni tanto si riunisce in qualche parte del mondo una conferenza per definire condizioni comuni per esprimere questa misura, poi puntualmente quello che è stabilito rimane lettera morta dal momento che va contro gli interessi dei fabbricanti.

Il parametro “potenza” esercita un grande fascino su chi deve acquistare gli altoparlanti, in particolare se costui è a digiuno di conoscenze tecniche. Per una casa costruttrice poter proporre sul mercato un altoparlante che, magari a parità di prezzo, vanta una potenza maggiore di quello di una casa concorrente, può portare il prodotto al successo.

Volendo guardare il problema “potenza di un altoparlante” con un minimo di cognizioni tecniche, possiamo osservare che la potenza massima sopportabile è dovuta essenzialmente a due fattori:

- Quanto fisicamente l'equipaggiamento mobile può spostarsi senza venire in contatto con elementi fissi che potrebbero danneggiarlo (limite di potenza meccanico).
- Quanto calore può essere smaltito dalla bobina mobile prima di arrivare al surriscaldamento, e quindi al suo danneggiamento (limite di potenza termico).



**Figura 17 – filtro crossover**

In linea di massima il limite di potenza termico viene raggiunto prima di quello meccanico. Il limite di potenza termico dipende dal diametro della bobina mobile, che è uno dei parametri fondamentali con cui è costruito un altoparlante, dal materiale con cui è costruito il supporto della bobina, o meglio dalla sua capacità di smaltire il calore, dall'uso di appositi accorgimenti tecnici.

Fra tali accorgimenti vogliamo ricordare l'uso del ferrofluido. La bobina mobile è immersa in un liquido buon conduttore di calore, che lo convoglia verso l'esterno.

Un altoparlante da solo non è in grado di riprodurre perfettamente tutte le frequenze: per le basse frequenze trasferiamo una grande quantità di energia, abbiamo quindi bisogno di un cono di grandi dimensioni, alle alte frequenze invece il cono deve essere soprattutto leggero, per potersi muovere velocemente. Per questo motivo abitualmente la gamma udibile è riprodotta dall'azione combinata di diversi altoparlanti *specializzati*. Il numero di altoparlanti diversi in cui si divide la gamma sonora prende il nome di **numero di vie**.

Quindi, ad esempio, un sistema a tre vie avrà:

- Uno o più **woofer** per la riproduzione delle basse frequenze
- Uno o più **mid range** per la riproduzione delle frequenze medie
- Uno o più **tweeter** per la riproduzione delle alte frequenze

Un sistema a due vie avrà:

- Uno o più **woofer** per la riproduzione delle basse frequenze
- Uno o più **tweeter** per la riproduzione delle alte frequenze

Un apposito dispositivo, denominato **filtro crossover** ha il compito di inviare al singolo componente unicamente segnali con frequenze per le quali l'altoparlante è previsto.

Nella figura possiamo vedere un crossover a tre vie e il relativo grafico funzionale.

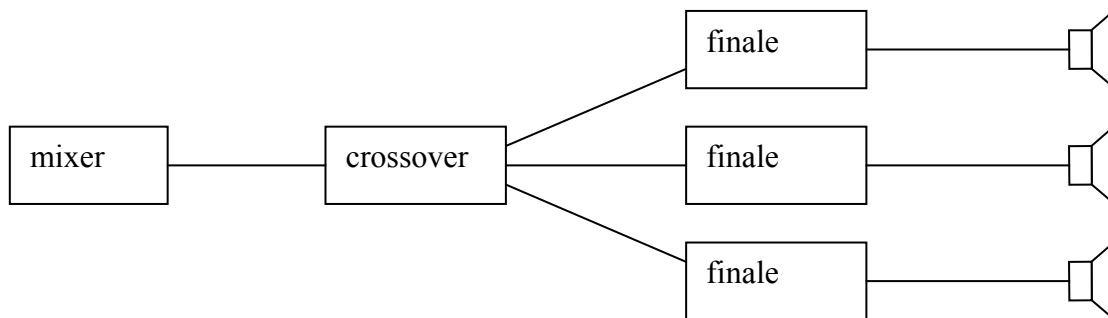
Le tre curve rappresentano la gamma di frequenze che verrà inviata sulle tre uscite. Le frequenze in cui tali curve si incontrano sono dette **frequenze d'incrocio**. In questo caso sono 500 Hz e 5.500 Hz. La pendenza con cui tali curve decadono a zero nella zona oltre le frequenze d'incrocio è detta **pendenza del filtro**.

Un filtro crossover è composto da diversi filtri elementari. Ad esempio un crossover a due vie avrà un filtro passa basso e un filtro passa alto, uno a tre vie avrà in più un filtro passa banda per l'uscita midrange. Tali filtri sono costruiti con bobine e condensatori.

Si dividono in:

- filtri del primo ordine, che producono una pendenza di 6 dB/oct

- filtri del secondo ordine, che producono una pendenza di 12 dB/oct
- filtri del terzo ordine, che producono una pendenza di 18 dB/oct
- ecc.



**Figura 18 - Schema funzionale di un impianto a 3 vie passivo**

I filtri *crossover* fin qui visti si dicono **passivi**, così come i diffusori a più vie che li utilizzano si dicono **sistemi multivia passivi**. In tali sistemi un unico amplificatore fornisce un segnale a gamma intera, che sarà suddiviso in più vie dal crossover ed inviato ai rispettivi altoparlanti.

Esiste un'altro modo per operare tale suddivisione: la *multiamplificazione*.

Nella **multiamplificazione** il *crossover* suddivide i segnali a monte degli amplificatori di potenza, che saranno uno per ogni via, ed alle uscite de quali saranno connessi direttamente gli altoparlanti.

La multiamplificazione, impiegata negli impianti di maggiori dimensioni, a fronte di un maggior numero di componenti e quindi di un costo ben maggiore, presenta numerosi vantaggi:

- Maggiore potenza: la potenza del sistema è la somma della potenza dei singoli amplificatori.
- Potenza dove serve: a seconda del contenuto energetico è possibile usare per ogni via l'amplificatore della potenza più opportuna.
- Assenza di rotazione di fase: il crossover passivo introduce questo effetto che riduce la potenza.
- Distorsione controllata: se uno degli amplificatori va in distorsione l'effetto perviene solo all'altoparlante ad esso connesso

Il crossover *attivo* impiegato nella multiamplificazione oltre a dividere il segnale nelle bande di frequenza, opera una preamplificazione del segnale compensando le perdite che si hanno nei filtri. Può essere con frequenze fisse o regolabili. È un componente molto delicato nella definizione del suono di un impianto.

## ***Diffusori acustici***

Il diffusore acustico, o cassa acustica, è il complesso degli altoparlanti che costituiscono un dato sistema e dell'involucro che li contiene e che ha una grande parte nella definizione delle caratteristiche sonore. Il diffusore acustico definisce un volume d'aria che esercitando una certa pressione sulla parte posteriore degli altoparlanti a cono, ne condiziona la resa sonora. Inoltre il diffusore può comprendere elementi posti davanti alle



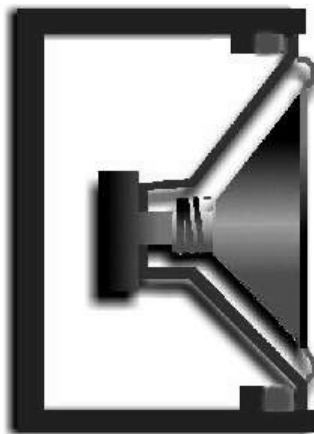
**Figura 19 – Diffusore acustico**



membrane degli altoparlanti (caricamento) allo scopo di migliorare la diffusione del suono.

Se un altoparlante fosse fatto suonare in aria libera, emetterebbe contemporaneamente delle onde di pressione sia dalla parte anteriore che da quella posteriore del cono, anche se naturalmente queste due emissioni sarebbero in controfase fra di loro e tenderebbero ad eliminarsi.

Fissando l'altoparlante su una cassa ermeticamente chiusa, si impedisce alle emissioni della parte posteriore di raggiungere e di annullare quelle della parte anteriore. Questo sistema, molto utilizzato in campo Hi-Fi, riesce a dare buone prestazioni. Tuttavia l'aria contenuta all'interno della cassa è soggetta a comprimersi e ad espandersi a seconda dello spostamento del cono, e ad opporsi a tale moto. Possiamo dire che l'aria esercita una *sospensione pneumatica* sul cono, per questo motivo il diffusore è detto anche a *sospensione pneumatica*.



**Figura 20 – Schema di diffusione a sospensione pneumatica**

L'effetto di tale sospensione è più rilevante sulle basse frequenze, in cui vi è maggiore spostamento del cono. D'altra parte maggiore sarà il volume della cassa, tanto minore sarà questo effetto, per cui una cassa a sospensione pneumatica potrà riprodurre le basse frequenze tanto maggiore sarà il suo volume.

Nei diffusori a sospensione pneumatica l'emissione posteriore del cono dell'altoparlante non viene utilizzata, va, per così dire, sprecata. Se noi riuscissimo a “rimettere in fase” tale emissione, potremmo sommarla a quella anteriore ed ottenere un suono più intenso.

Secondo questo principio funzionano i diffusori **bass reflex**: l'interno della cassa è posto in comunicazione con l'esterno tramite un condotto, denominato **tubo d'accordo**, avente sezione e lunghezza determinate. Dalla determinazione di tale condotto si stabilisce a quale frequenza è accordato il reflex, ossia per quale frequenza si ha il massimo contributo sull'emissione sonora.

Il diffusore bass reflex riesce quindi ad avere, rispetto ad uno a sospensione pneumatica, una maggiore efficienza, ossia a parità di potenza applicata genererà un suono più intenso, e questo in particolare alle basse frequenze, dove la cassa chiusa manifestava i maggiori problemi. Per contro i suoni di bassa frequenza emessi da un diffusore bass reflex sembrano più “sporchi”, meno “controllabili”, questo è dovuto al fatto che in quelle frequenze in cui lavora il tubo d'accordo, la pressione all'interno della cassa diminuisce, e con essa l'effetto sospensione dell'aria sul cono.

I diffusori bass reflex sono molto usati in campo professionale.

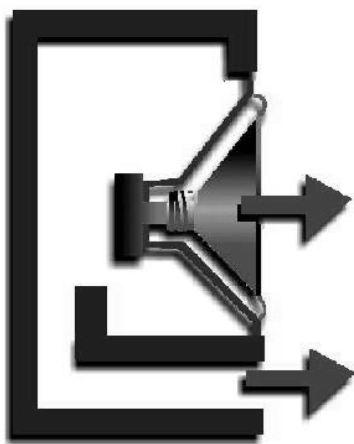


Figura 21 – Schema di diffusione bass-reflex

Un altro tipo di diffusore molto usato in campo professionale è il tipo cosiddetto **a tromba**. Si tratta dell'applicazione di un *caricamento*. L'altoparlante non emette il suono direttamente nell'ambiente, bensì in un *condotto a sezione crescente*. Questo ha la funzione di *adattatore di impedenza acustica*. In pratica facilita il trasferimento di energia dal cono dell'altoparlante all'aria, migliorandone il rendimento complessivo. I diffusori a tromba sono caratterizzati da una grossa efficienza.

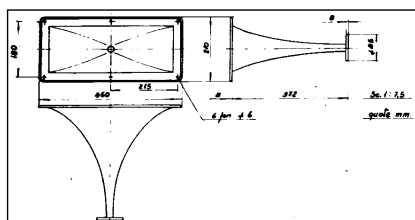


Figura 22 - Schema di diffusione a tromba

Caratteristica del diffusore a tromba è l'accentuata direzionalità. Tale caratteristica è molto utile nell'audio professionale dal momento che ci permette di delimitare la zona interessata dall'emissione sonora limitando eventuali effetti indesiderati. Fra i difetti dei diffusori a tromba vogliamo ricordare la limitazione della banda di frequenze riproducibili, limitata in basso in funzione dell'ampiezza della bocca, ed una certa distorsione del suono.

Esistono poi molti altri tipi di diffusore acustico, come ad esempio le **linee di suono**, impiegate per la riproduzione del parlato, ad esempio nelle chiese. Sono composti da un certo numero di altoparlanti sovrapposti verticalmente, allo scopo di accentuare la direttività. Vi sono poi delle soluzioni che sono la combinazione dei vari sistemi. In ogni caso sulla realizzazione di diffusori acustici sempre più innovativi, con prestazioni sempre migliori, si gioca la grande concorrenza delle ditte produttrici. Nel corso dei vari anni si sono visti di volta in volta imporsi i più diversi sistemi, diffondersi ed essere adottati da gran parte degli artisti, per venire poi puntualmente rimpiazzati alla prima novità.

Parametri fondamentali dei diffusori acustici sono:

- La **risposta in frequenza**. Indica in che modo vengono riprodotte le diverse frequenze della gamma udibile. Può essere espressa con un grafico, come quello che abbiamo visto a proposito delle caratteristiche di un altoparlante, oppure in maniera semplificata indicando un intervallo di frequenze ed un valore in decibel indicante di quanto al massimo varia la resa del diffusore in quell'intervallo. Ad esempio se indichiamo come risposta in frequenza di un diffusore  $80 - 12.000 \text{ Hz} - 3\text{dB}$  vuol dire che nell'intervallo indicato, posto uguale a  $0\text{dB}$  il massimo livello, il minimo sarà a  $-3\text{dB}$ . Naturalmente per fare questa misurazione

occorre inviare al diffusore un segnale che contenga in egual misura tutte le frequenze della gamma udibile. Questo segnale prende il nome di **rumore rosa (pink noise)**.

- La **direzionalità**. Esprime fino a quale angolazione, orizzontale e verticale è possibile udire l'emissione acustica con una certa qualità. Tale valore in linea di massima non è costante ma varia con la frequenza riprodotta. La direzionalità può essere espressa indicando gli angoli (orizzontale e verticale) oppure tramite un apposito *diagramma polare*, in maniera analoga a quanto visto per i microfoni.
- La **sensibilità**. Esprime quale pressione sonora, misurata alla distanza di un metro, emette il diffusore nel momento in cui al suo ingresso viene applicata la potenza di 1 watt, ed è quindi indice dell'efficienza generale del diffusore. In campo professionale, malgrado la sempre maggiore potenza degli amplificatori, si utilizzano sempre diffusori con alta sensibilità. Ricordiamo che, ad esempio per avere la stessa intensità sonora di un diffusore con sensibilità 101 dB/w•m con un diffusore avente sensibilità 98 dB/w•m occorre impiegare una potenza doppia.

Esistono particolari sistemi di diffusori acustici che per dare il massimo delle prestazioni abbisognano di un dispositivo da collocare prima del finale, che ha lo scopo di condizionare il segnale, agendo sull'equalizzazione o sulla dinamica. Parliamo in questo caso di **diffusori processati**.

Fra i diffusori adibiti a particolari usi vogliamo ricordare i **sub woofer**. Si tratta di diffusori aventi una risposta in frequenza molto limitata, in genere un'ottava e spostata verso le bassissime frequenze. Servono ad aggiungere ad un sistema di diffusori quelle frequenze particolarmente basse che non è in grado di riprodurre.

Sono costruiti da particolari altoparlanti montati in diffusori costruiti secondo schemi particolari (carico simmetrico, guida d'onda) o semplicemente in bass reflex.