

Corso di Elettroacustica

Lezione 10 - Introduzione ai sistemi di amplificazione. Diffusione e monitoraggio.

Premessa procedurale

Prima di entrare nel dettaglio degli argomenti relativi ai sistemi e alle tecniche d'amplificazione, è opportuno fare una breve introduzione per illustrare meglio la varietà e la diversità di configurazioni e di impostazioni possibili a seconda delle situazioni con cui ci si trova a lavorare. Possiamo a grandi linee considerare quattro metodologie:

1) Amplificazione per necessità. Lo scopo è di rendere udibile del materiale sonoro in situazioni in cui ciò è reso impossibile da condizioni ambientali (manifestazioni all'aperto, teatri o sale d'ascolto di grandi dimensioni, ecc.). In questo caso il compito dell'amplificazione è quello di catturare tutti gli elementi che compongono il materiale sonoro, strumento per strumento, e di renderli intelligibili e godibili, nelle loro dinamiche e nei loro dettagli timbrici, a tutto l'uditario, ricreando in toto anche l'ambientazione spaziale, i passaggi dinamici, ecc. La caratteristica di questo tipo di amplificazione è che essa è una necessità e non una scelta artistica, e come tale l'amplificazione deve essere avvertibile nella misura in cui svolge il suo compito, lasciando il più possibile inalterate le caratteristiche sonore degli strumenti, esclusa naturalmente la loro pressione acustica.

2) Amplificazione come rinforzo (sound reinforcement). Questo tipo di amplificazione si applica in situazioni in cui il suono che raggiunge gli ascoltatori è composto in parte dal suono acustico diretto proveniente dagli strumenti, ed in parte dal suono proveniente dall'impianto di amplificazione. Tale bilanciamento, molto complesso e raffinato, si cerca nelle situazioni in cui il suono naturale risulterebbe udibile, ma povero di coinvolgimento emotivo, oppure sbilanciato in alcune sue componenti (ad es. un solista di voce o strumento con limitate capacità dinamiche). A differenza del primo caso, il trattamento può riguardare anche solo una parte dell'organico, e più esattamente quella parte che necessita maggiormente di essere rinforzata. La caratteristica di questo tipo d'amplificazione è che la meccanica del processo deve essere il più possibile non avvertibile e deve combinare una sensazione di naturalezza con un arricchimento di presenza del suono: il risultato ideale lo si ottiene quando il pubblico sente l'equilibrio degli strumenti senza poter individuare quali siano amplificati.

3) Amplificazione per esigenze di linguaggio. I casi più evidenti sono le amplificazioni di musica leggera e jazz, dove si combinano strumenti acustici e strumenti elettrici. Sono i casi cioè dove il suono prodotto dagli strumenti e dalle voci viene amplificato sia per aggiungere una componente dinamica e di coloritura funzionale al linguaggio prescelto, sia per poter bilanciare fonti sonore con dinamiche di partenza molto distanti fra loro (si pensi ad una voce o ad chitarra acustica che suonino insieme ad una batteria). La caratteristica di questo tipo di amplificazione è la piena avvertibilità del processo, in quanto componente fondamentale del risultato finale.

4) Amplificazione come componente artistica. Questo è il caso più specifico dell'utilizzo dell'amplificazione nell'ambito della musica elettronica: in esso l'utilizzo dell'impianto audio può anche essere slegato dalla funzione di amplificazione, e diventa esso stesso parte del processo creativo musicale, unitamente ad una vera e propria progettazione dello spazio d'ascolto. Ne sono esempi l'uso delle spazializzazioni, dove un sistema d'ascolto multicanale (ad es. in quadrifonìa) viene utilizzato per l'esecuzione di nastri magnetici, con o senza l'apporto di strumenti o voci, oppure l'elaborazione dal vivo, mediante una vasta quantità di dispositivi, di uno o più strumenti (e/o voci), o infine la combinazione di entrambe le procedure. Naturalmente, in modo ancor più marcato rispetto al caso precedente, anche qui la caratteristica di questo tipo di amplificazione è la piena avvertibilità del processo, in quanto il sistema di amplificazione assume un ruolo equivalente a quello di uno strumento musicale. Naturalmente, i confini tra queste quattro tipologie non sono così netti, e potremo anche avere casi in cui quello che si richiede è un insieme di funzioni riconducibili ora all'una, ora all'altra impostazione, ma, prima di iniziare a lavorare su uno specifico progetto, è bene sempre avere ben chiaro in mente cosa si vuole ottenere da un impianto d'amplificazione.

Prima di accennare alle problematiche connesse all'installazione di un impianto d'amplificazione, e quindi entrare nella descrizione dei principali dispositivi elettroacustici che compongono una catena d'amplificazione, occorre effettuare una ricognizione sui concetti fisici connessi alla trasmissione del suono, e una descrizione dei parametri che la governano.

Potenza, intensità e pressione sonora

La potenza di un segnale audio, espressa in Watt, non è solo la grandezza necessaria a valutare la capacità di copertura ed efficienza di un impianto di amplificazione; essa è altresì un parametro fondamentale dal quale dipendono le leggi di propagazione del suono. La potenza è data dalla formula:

$$W = I \bullet V$$

ossia il prodotto della corrente per la tensione.

Richiamando la legge di Ohm, avremo anche che:

$$W = \frac{V^2}{R}$$

la potenza, cioè, è proporzionale al quadrato della tensione, e inversamente proporzionale alla resistenza (impedenza) del circuito. Anche per indicare un guadagno in potenza ricorriamo al decibel, ma possiamo notare come l'elevazione al quadrato cambi l'espressione logaritmica:

$$dB = 10 \cdot \log \frac{W_2}{W_1}$$

ossia, per indicare un guadagno in potenza il coefficiente del logaritmo non è più 20, ma 10. Questo ci permette di mantenere la medesima indicazione di guadagno in dB sia come valore di tensione che come valore di potenza, ossia 6 dB di incremento del segnale audio nel circuito elettrico si traducono in 6 dB di incremento del corrispondente segnale acustico.

Il concetto di potenza, nell'audio, si riferisce alla capacità di diffusione del suono, in ogni direzione, ossia ad un irraggiamento sferico da una sorgente.

Il concetto di "Intensità del suono" si riferisce invece al valore della potenza in relazione ad una superficie, quindi solo ad una parte di questa sfera, e precisamente:

$$I = \text{Watt} / m^2$$

Esiste una importante legge che quantifica la dispersione dell'intensità sonora al crescere della distanza dalla fonte sonora: la "legge quadratica inversa" (inverse square law).

Il suono si propaga nello spazio libero da ostacoli in onde sferiche che hanno il centro nel punto in cui si origina il suono stesso. Nella fig. 1 è evidenziato una porzione del propagamento sferico del suono che ha origine nel punto S: la stessa energia, mano a mano che si allontana dal punto d'inizio, va a interessare superfici di diffusione sempre più vaste, e precisamente le aree evidenziate con A_1 , A_2 e A_3 . La sua intensità diminuisce al crescere della distanza del punto d'ascolto.

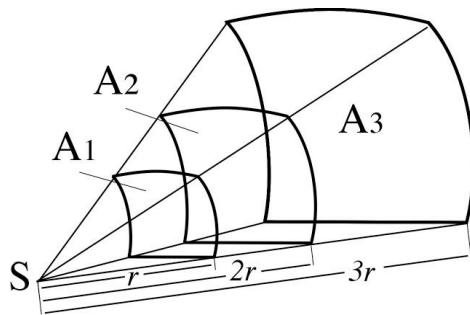


fig. 1: diminuzione dell'intensità all'aumentare della distanza: la legge quadratica inversa

Poiché l'area in cui si propaga il suono aumenta in modo proporzionale al quadrato del raggio, l'intensità del suono, intesa come potenza acustica per unità di superficie, diminuisce della stessa proporzione. In pratica, il doppio della distanza porta ad una diminuzione di intensità pari a 1/4, il triplo a 1/9 e così via. Se consideriamo ad es. la fig. 1, avremo che:

$$I_2 = \frac{I_1}{4}$$

$$I_3 = \frac{I_1}{9}$$

dove

I_2 = intensità nell'area A_2

I_3 = intensità nell'area A_3

Passando alla notazione in decibel, e ricordando la formula relativa al rapporto di potenza:

$$dB = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_n} \right)$$

calcoliamo che, raddoppiando la distanza, il valore in decibel sarà dato da:

$$dB = 10 \log \left(\frac{1}{4} \right) = -10 \log 4 = -6,02$$

Possiamo quindi affermare che la diminuzione d'intensità, e quindi di potenza acustica, è di 6 dB a ogni raddoppio della distanza.

Nell'uso pratico, per esprimere l'efficienza degli altoparlanti e il volume sonoro assoluto in un determinato ambiente, si ricorre ad un'altra grandezza: la pressione sonora, che ha come unità di misura il dB_{SPL} (Sound Pressure Level). Esso è definito dalla formula:

$$\varnothing dB_{SPL} = 2 \cdot 10^{-5} N / m^2 = 2 \cdot 10^{-5} Pa = 20 \mu Pa$$

dove

N = Newton

Pa = Pascal

Questa grandezza definisce la soglia dell'udibilità, e ogni valore superiore a questa soglia descrive una scala di percezione dei volumi sonori, di cui la tab. 1 è un'esemplificazione.

Fonte	mt	SPL
Esplosione nucleare	5	250
Motore di razzo	30	180
Motore di jet	30	150
Fucilata	1	140
Soglia del dolore		130
Sirena di nave	30	130
Motore a reazione	61	120
Martello pneumatico	2	100
Grosso autotreno	1	90
Aspirapolvere	1	80
Traffico pesante	5	70
Conversazione media	1	60
Traffico leggero		50
Quartiere residenziale di notte		40
Silenzio in teatro		30
Fruscio di foglie		20
Respiro umano	3	10
Soglia di udibilità		0

tab. 1: scala dbSPL

Naturalmente questa tabella ha un valore puramente indicativo, considerando quanto diversa possa essere la percezione umana da soggetto a soggetto, e le differenze che possono sorgere ai livelli più bassi passando da una regione all'altra dello spettro. Ha un'importanza nel quantificare la "soglia del dolore" e tutta una serie di suoni che concorrono a formare il cosiddetto "inquinamento acustico", entrando a far parte anche di disposizioni di legge riguardanti la misura di tollerabilità dei rumori ambientali.

Un esempio pratico

Facciamo ora un esempio pratico per mettere in relazione i valori di potenza e pressione sonora. Supponiamo di avere a disposizione un diffusore acustico fornito delle seguenti specifiche:

Livello d'uscita: 124 dB_{SPL} a 1 mt con potenza di 1 Watt

Potenza continua: 100 Watt

Potenza di picco: 400 Watt

E vogliamo calcolare fino a quale distanza questo componente potrà mantenere una pressione sonora di 120 dB_{SPL} in regime continuo. Per prima cosa calcoliamo la pressione sonora ad un metro in regime di potenza continuo:

$$124 + 10 \cdot \log \frac{100}{1} = 144 \text{ dB}_{SPL}$$

Sapendo che la potenza diminuisce di 6 dB ad ogni raddoppio di distanza, avremo:

$$\text{a } 2\text{mt} = 138 \text{ dB}_{SPL}$$

$$\text{a } 4\text{mt} = 132 \text{ dB}_{SPL}$$

$$\text{a } 8\text{mt} = 126 \text{ dB}_{SPL}$$

$$\text{a } 16\text{mt} = 120 \text{ dB}_{SPL}$$

Possiamo concludere che tale diffusore può mantenere la pressione sonora richiesta fino a 16 metri.

La catena di amplificazione

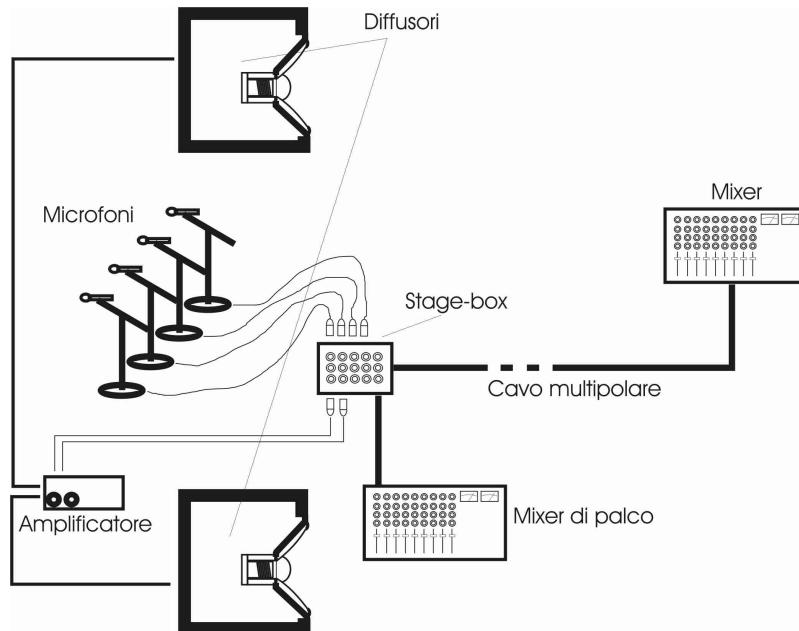


fig. 2: la catena di amplificazione

Premesso che è possibile trovare una vasta gamma di soluzioni nell'installazione di un impianto di amplificazione, nella fig. 2 vediamo schematizzata quella che si può definire la configurazione di base. I microfoni sono collegati all'ingresso del mixer attraverso una presa multipla ("stage box") ed un cavo multipolare ("multicord" o "multipair"), che si occupa del trasporto dell'audio da e per il palco, e quindi anche dei segnali che dal mixer, attraverso le opportune uscite, vanno sia verso gli amplificatori incaricati di pilotare l'impianto principale, sia verso quelli che pilotano i monitor. Ove fosse presente il mixer di palco, esso riceverà i segnali dagli stessi microfoni utilizzati dal mixer di sala, attraverso una operazione di distribuzione del segnale (splitting) che può avvenire in modo passivo (un semplice parallelo sullo stage-box, che è spesso a ciò predisposto) o attivo, mediante l'utilizzo di apparecchi appositi (splitter attivi).

Gli amplificatori di potenza

Un amplificatore è un componente concettualmente abbastanza semplice, anche se la sua realizzazione si può concretizzare in diverse tipologie circuitali. Il suo compito è quello di elevare i valori di tensione e di corrente del segnale audio in uscita dal mixer, di elevare cioè la potenza del segnale, in modo da poter pilotare le casse acustiche. Le diverse architetture degli amplificatori di potenza portano ad una suddivisione in classi, di cui citiamo qui le più importanti ai fini dell'audio.

Il circuito di un amplificatore di potenza è costituito da vari stadi in cascata, l'ultimo dei quali è lo stadio finale, normalmente formato da uno o due semiconduttori (transistor o mosfet). La classe dell'amplificatore è data dal periodo di funzionamento di ciascun semiconduttore rispetto all'intero ciclo dell'onda, e questa grandezza è nota come "angolo di flusso", compreso tra 0° e 360° ed esemplificato in fig. 3. In base a questa grandezza avremo:

Classe A: angolo di flusso = $2\pi = 360^\circ$

Classe B: angolo di flusso = $\pi = 180^\circ$

Classe AB: angolo di flusso compreso tra 180° e 360° , ossia $> \pi$ e $< 2\pi$

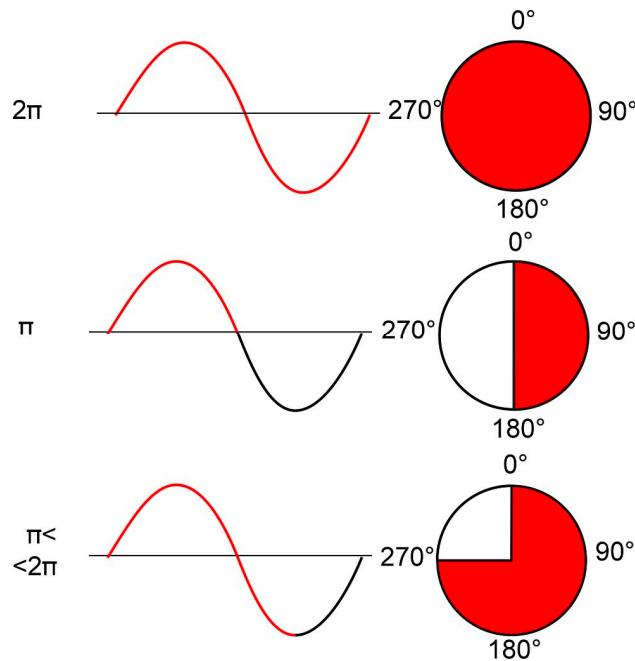


fig. 3: gli angoli di flusso delle diverse classi

Ciò vuol dire che in classe A noi avremo un solo semiconduttore che lavora sull'intero ciclo della forma d'onda, con il risultato che il segnale risultante è esente da distorsioni, in quanto il circuito non interrompe mai il suo funzionamento, neanche in assenza di segnale, a discapito di maggior consumo di corrente e di necessità di maggiore dissipazione di calore (poca efficienza), mentre in classe B avremo una coppia di semiconduttori, e mentre uno lavora sulla semionda positiva, l'altro lavora sulla semionda negativa, quindi ogni componente ha un periodo di attività seguito da uno di inattività (push-pull), cosa che migliora l'efficienza, a discapito della distorsione: nel punto in cui si incrociano la semionda positiva con quella negativa si crea la cosiddetta "distorsione d'incrocio" (crossover distortion). Nella fig. 4 è evidenziato il fenomeno.

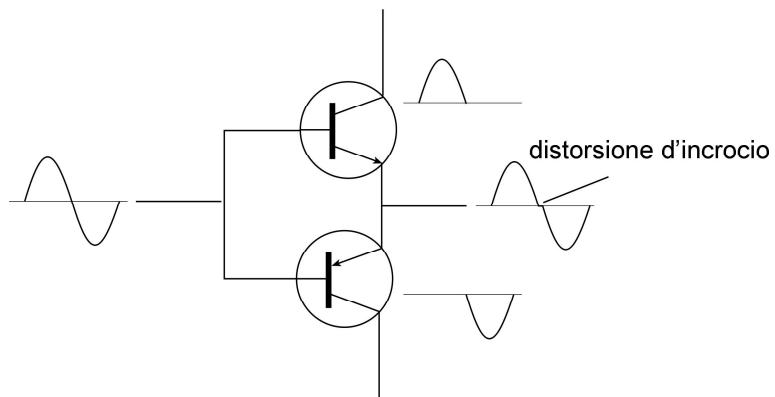


fig. 4: il circuito push-pull in classe B e la distorsione d'incrocio

Per ovviare a questi inconvenienti la gran parte dei finali di potenza lavora in classe AB, che unisce i vantaggi della classe A e della classe B senza averne i difetti, poiché nei momenti di transizione da positivo a negativo entrambi i componenti sono in funzione.

Esiste una quarta classe di amplificatori dedicati all'audio, gli **amplificatori "a commutazione"** (switching amplifiers) o amplificatori in classe D (dove D non sta per "digitale" come spesso si crede). Essa si è andata affermando negli ultimi anni poiché unisce all'estrema qualità sonica dell'audio un notevole risparmio energetico ed una considerevole riduzione del peso, rendendola la soluzione preferita nelle amplificazioni da trasportare ed installare in continuazione. Il circuito in classe D si basa sulla "modulazione a larghezza di impulso" (PWM - Pulse Width Modulation), di cui la fig. 5 fornisce una rappresentazione.

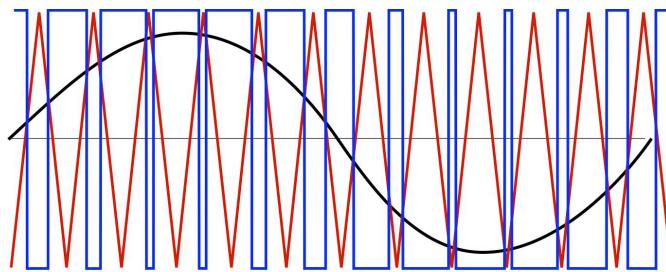


fig. 5: la modulazione a larghezza di impulso (PWM)

Un'onda triangolare (in rosso) ad alta frequenza viene generata e confrontata con il segnale audio in ingresso (in nero); da questo circuito comparatore escono due livelli di tensione, corrispondenti al riscontro se l'onda triangolare abbia un valore superiore o inferiore al segnale audio: in pratica, un'onda quadra (in azzurro) la cui frequenza è modulata dall'ampiezza del segnale audio. L'onda quadra passa alla sezione finale costituita da due mosfet, i quali avranno solo due stadi: conduzione o non conduzione (da cui il termine "switching"). Successivamente, un filtro passa-basso (LPF - Low Pass Filter) si incaricherà di filtrare le componenti in alta frequenza e ristabilire la forma d'onda originale. L'intero schema è visibile in fig. 6.

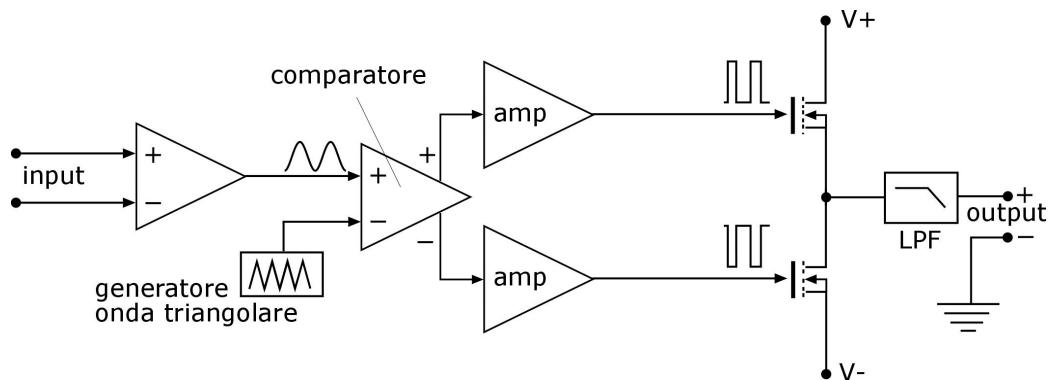


fig. 6: il circuito in classe D

Escludendo quegli apparecchi che contengono al proprio interno controlli anche complessi di "loudspeaker management" come DSP, equalizzatori, linee di ritardo, crossover, ecc., nella sua funzione di base l'amplificatore è un apparecchio destinato esclusivamente ad aumentare la potenza del segnale, senza alcuna altra elaborazione, per cui nel pannello dell'amplificatore non sarà ospitato alcun controllo, a parte quello di guadagno, oltre agli eventuali VU-meter, e le spie relative ai circuiti di protezione. Essendo infatti un apparecchio dove circolano tensioni e correnti di una certa grandezza, è opportuno che siano presenti appositi circuiti di protezione, per salvaguardare l'integrità sia dell'amplificatore stesso, sia degli altoparlanti ad esso collegati nel caso di abbassamento eccessivo dell'impedenza di carico, corto circuito o sovrariscaldamento.

Di particolare importanza, per il corretto interfacciamento dell'amplificatore con gli altoparlanti e per l'integrità dell'amplificatore stesso, è il rispetto dei valori d'impedenza, ossia la verifica che il carico sulle uscite dell'amplificatore non sia mai inferiore a quello indicato nelle specifiche dell'apparecchio. Nelle installazioni degli impianti di amplificazione, infatti, è pratica comune collegare in parallelo più casse acustiche ad un unico amplificatore, causando quindi un abbassamento dell'impedenza, secondo la formula:

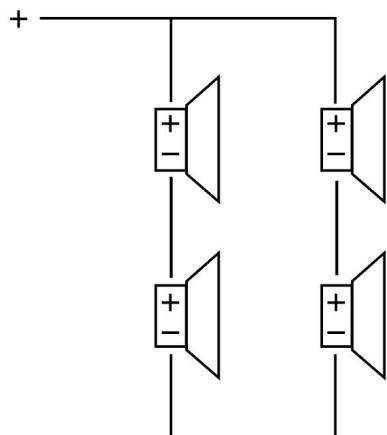
$$\frac{1}{I_T} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \dots + \frac{1}{I_n}$$

dove

I_T = impedenza totale

I_1, I_2, \dots, I_n = le impedenze delle casse collegate in parallelo. Questo ci porta all'altra formula, valida per il parallelo di n impedenze uguali I :

$$I_T = \frac{I^n}{n \cdot I^{n-1}} = \frac{I}{n}$$



Un'altra configurazione talvolta usata per collegare più casse uguali alla stessa uscita di un amplificatore è la combinazione serie-parallelo, visualizzata in fig. 7, in cui gli altoparlanti sono disposti alternativamente in serie e in parallelo, fornendo un'impedenza totale uguale a quella di ciascun altoparlante. Il problema che può sorgere è rappresentato dal fatto che un'eventuale interruzione di un elemento determina la contemporanea interruzione del funzionamento anche del componente in serie.

fig. 7: la configurazione serie-parallelo

L'amplificatore è di norma stereofonico, ma spesso è presente un commutatore che lo rende monofonico, assegnando ad un canale il segnale in fase e all'altro il segnale in opposizione di fase. Dai morsetti di uscita dei due canali andranno prelevati solo i due poli positivi che costituiranno la coppia per l'altoparlante. In tal caso, si dice che l'amplificatore è collegato a "ponte" (bridge), e nella fig. 8 vediamo lo schema di tale collegamento.

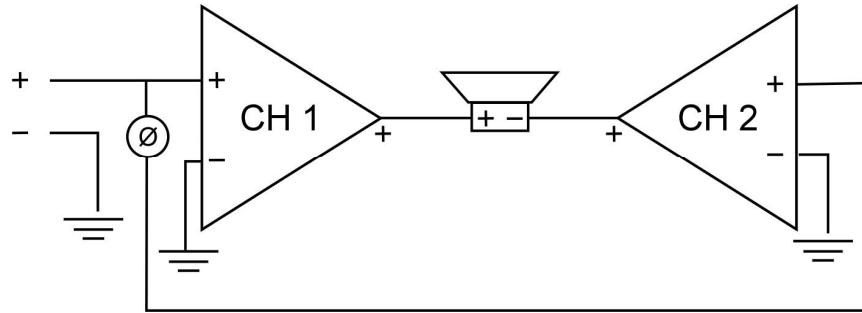


fig. 8: collegamento a ponte

Il collegamento a ponte è un sistema particolarmente efficiente per moltiplicare la potenza, in quanto, a parità di segnale d'ingresso, avremo un raddoppio della tensione d'uscita, che si traduce, per effetto della formula già esposta

$$W = \frac{V^2}{R}$$

in una quadruplicazione della potenza.

Gli altoparlanti

Un altoparlante è un trasduttore in grado di convertire un segnale elettrico in un segnale acustico, compiendo così il procedimento inverso rispetto a quanto effettuato dal microfono, e non solo dal punto di vista concettuale, ma anche sfruttando gli stessi principi elettromagnetici.

Nella fig. 9 vediamo schematizzato un tipico altoparlante nelle sue componenti principali. Al centro di un robusto telaio ("chassis") è situato un magnete in grado di ospitare al suo interno una bobina avvolta attorno ad un cilindro di materiale sintetico, libero di oscillare rispetto al magnete, e solidale ad un diaframma a forma di cupola dello stesso materiale. A tale diaframma è unito un cono di cartone od altro materiale leggero e sufficientemente rigido, collegato allo chassis tramite una sospensione ad anello, generalmente in gomma, detto "surround", mentre il diaframma sarà fisicamente collegato allo chassis tramite una sospensione di materiale corrugato.

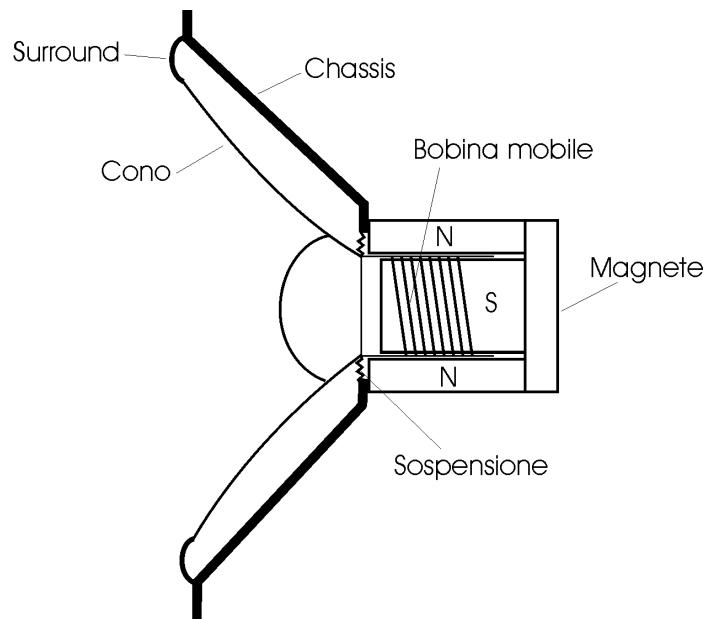


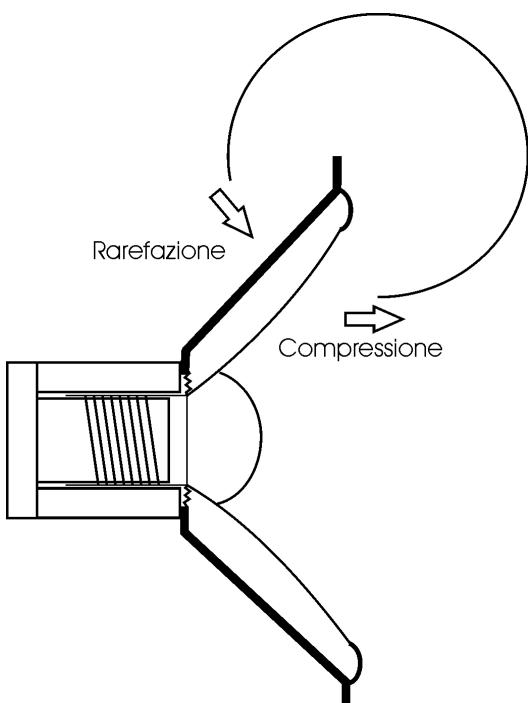
fig. 9: architettura di un cono altoparlante

Il principio di funzionamento di questo dispositivo, come abbiamo anticipato, è esattamente l'inverso di quello del microfono dinamico: il segnale elettrico, tramite la bobina oscillante all'interno del campo magnetico, mette in vibrazione il complesso costituito dalla cupola e dal cono, provocando così delle compressioni e rarefazioni dell'aria secondo la frequenza e le componenti armoniche del segnale elettrico stesso. Tale segnale acustico così generato si propagherà nello spazio in maniera tendenzialmente emisferica, con direzionalità più marcata per le alte frequenze e meno per quelle gravi.

Nei paragrafi seguenti esamineremo come, una volta acquisito il principio di funzionamento, sia necessario trovare una architettura di installazione dei componenti in grado di fornire la massima efficienza alla trasduzione elettroacustica e che tenga conto della praticità e trasportabilità di sistemi di amplificazione anche di notevole dimensione.

Le casse acustiche

fig. 10: cono in aria libera



Un cono altoparlante, se operante in aria libera, è un dispositivo assai poco efficiente, come vedremo da alcuni fenomeni fisici visualizzati anche in fig. 10.

Un cono altoparlante libero di vibrare in aria

produce una serie di compressioni e rarefazioni nell'aria antistante, ed un eguale numero nella zona retrostante, con la particolarità che ad una compressione anteriore corrisponde una rarefazione posteriore, e viceversa. L'aria libera di muoversi tra le due zone tenderà ad annullare, o perlomeno a ridurre significativamente, l'azione prodotta dall'altoparlante, con particolare riferimento alle basse frequenze. L'inserimento del cono in un divisorio rigido ("baffle") di dimensioni sufficienti ad impedire il passaggio anche delle frequenze più gravi migliora l'efficienza del dispositivo (fig. 11), ma è un sistema assai poco pratico, date le notevoli dimensioni del piano che occorrerebbero per operare teoricamente su tutte le frequenze.

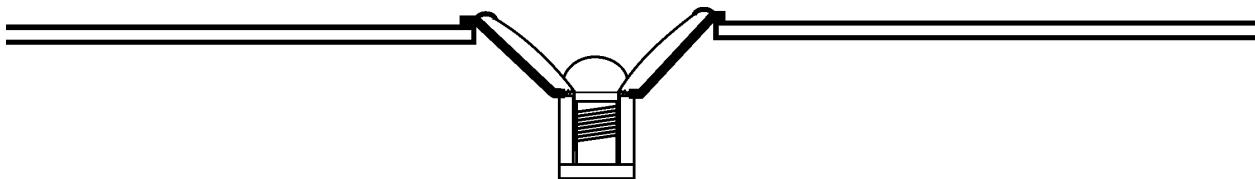


fig. 11: baffle

Un ulteriore passo avanti è costituito dall'installazione del cono in una cassa completamente chiusa, e riempita di materiale fonoassorbente (fig. 12).

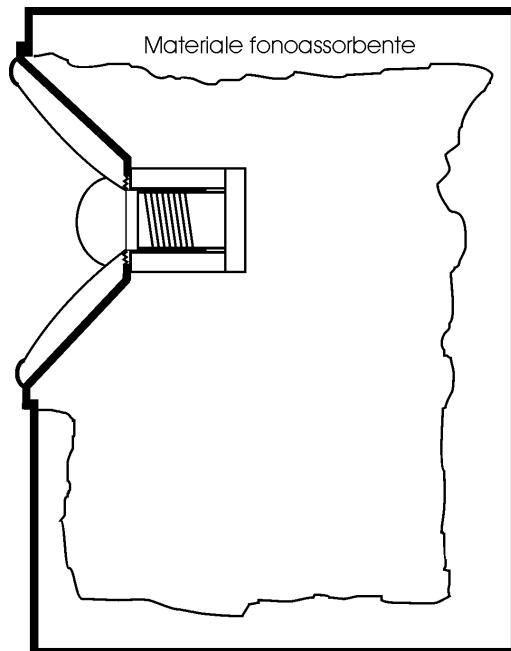


fig. 12: infinite baffle

Tale configurazione ("infinite baffle") è ancora poco efficiente, in quanto l'energia acustica prodotta nel retro del cono viene dispersa sotto forma di calore e assorbita dalla cassa. Per aumentare l'efficienza della cassa occorre produrre un foro, con un tubo opportunamente accordato, con il compito di rinforzare le basse frequenze sfruttando l'energia posteriore del cono (fig. 13). Tale configurazione è nota come "bass-reflex".

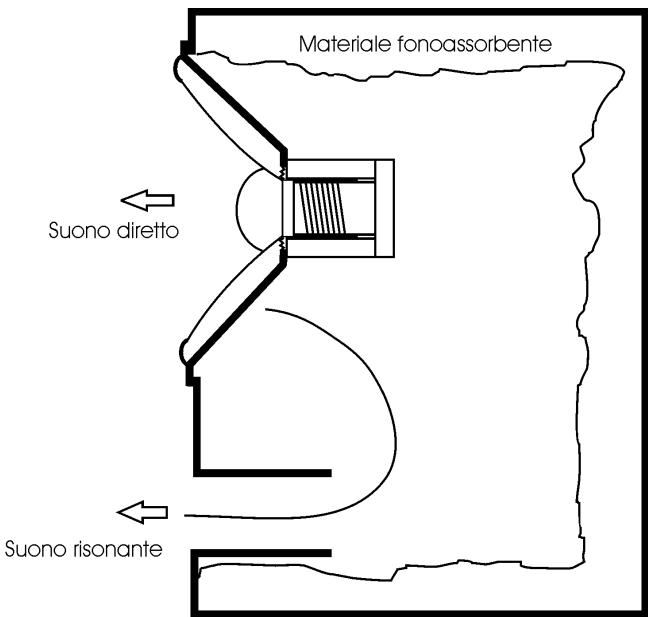


fig. 13: bass-reflex

Altri sistemi per aumentare l'efficienza degli altoparlanti sono i "caricamenti a tromba". Nella fig. 14 vediamo un cono caricato ("loaded horn") con una "bocca d'uscita" la quale, grazie ad un profilo esponenziale simile a quella degli strumenti musicali a fiato, produce un'amplificazione acustica aggiuntiva.

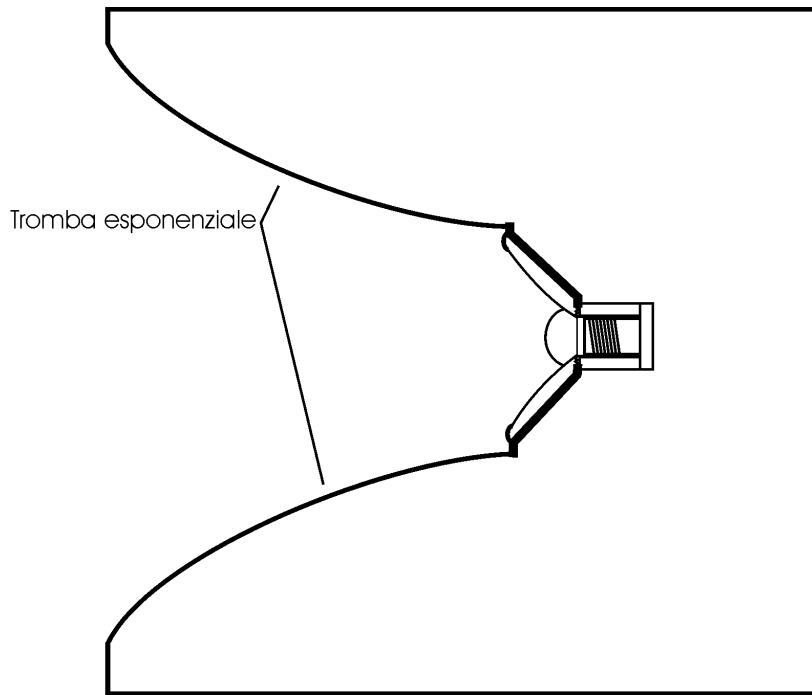


fig. 14: caricamento a tromba

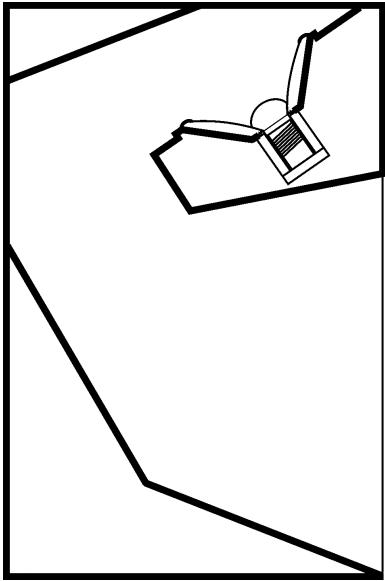


fig. 15: tromba ripiegata

Rispetto alla versione illustrata in precedenza, poco pratica a causa delle dimensioni, la fig. 15 illustra il caricamento a "tromba ripiegata", che unisce così il vantaggio del caricamento con quello di una cassa acustica di dimensioni più contenute.

Il dispositivo fin qui descritto rientra nella categoria di quelli destinati a riprodurre le frequenze più gravi dello spettro sonoro, ossia i "woofer".

I motivi per cui un woofer non è in grado di riprodurre le alte frequenze sono di due ordini: il primo è fisico, poiché un cono in grado di riprodurre le frequenze gravi ha dimensioni, pesi e inerzia considerevoli, e non è quindi in grado di operare con la velocità e la prontezza richiesta per le alte frequenze. Il secondo è geometrico, ed è dovuto alla ridotta lunghezza d'onda alle alte frequenze.

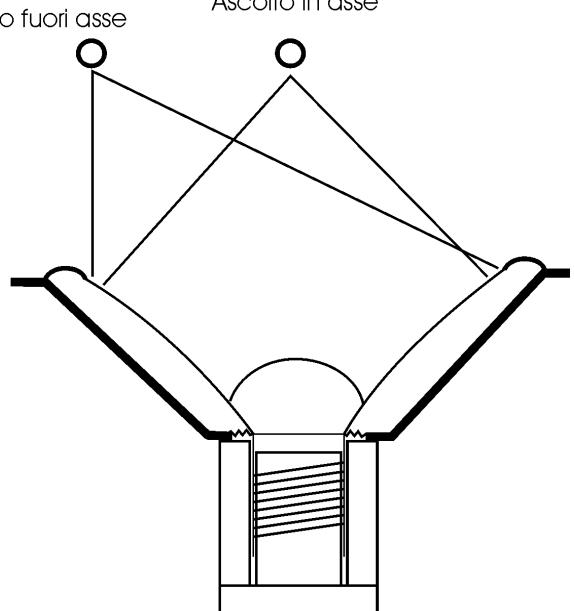
Come osserviamo nella fig. 16, un segnale acustico la cui frequenza abbia lunghezza d'onda inferiore al diametro del cono non avrà un punto d'origine unico, ma sarà generato in diversi punti del cono distanti tra di loro e arriverà in fase all'ascoltatore solo nel punto di ascolto equidistante dai punti di partenza, mentre per ogni altro punto di ascolto, essendo diversa la lunghezza del tragitto che il suono deve compiere, si avranno comb-filtering e cancellazioni di fase.

Ascolto fuori asse Ascolto in asse

fig. 16: ascolto in asse e fuori-asse

L'impossibilità per un cono altoparlante di riprodurre l'intera gamma audio con qualità e potenza accettabili, fatte salve eccezioni che vedremo in seguito, ha fatto sì che si sviluppassero componenti dedicati ad una particolare banda di frequenza.

Il metodo più semplice per avere altoparlanti che riproducono frequenze via via più alte è quello di ridurre progressivamente il diametro del cono. Avremo così i "mid-range", per le frequenze medie, differenti dai woofer solo nel diametro, e i "tweeter", per le frequenze alte. La fig. 17 illustra un tipo di



tweeter (“dome”), dove il cono è scomparso per lasciare la funzione di irraggiamento al solo diaframma a forma di cupola.

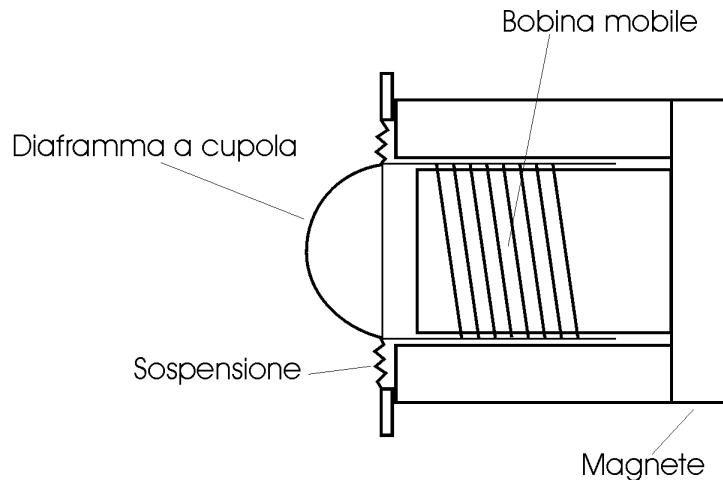


fig. 17: dome tweeter

Nei sistemi di amplificazione, ove occorre coniugare la qualità timbrica con la potenza, e quindi con la maggiore efficienza possibile dei componenti, per le alte frequenze si adoperano spesso i cosiddetti “driver a compressione”, di cui si può osservare una schematizzazione in fig. 18, nei quali il diaframma a cupola, anziché irradiare il suono verso l'esterno della cupola, lo irradia verso l'interno, convogliandolo in un foro di uscita (throat) sul quale è innestato un condotto a tromba esponenziale. Il sistema completo così descritto è noto come “horn tweeter”.

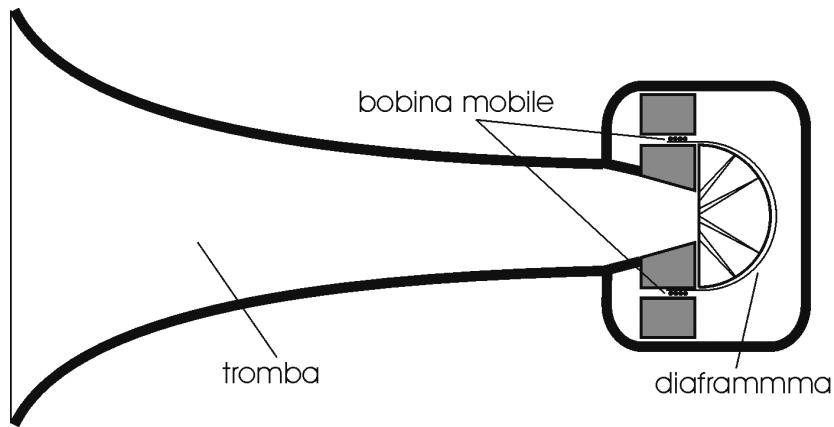


fig. 18: driver a compressione

Negli ultimi anni si è andato affermando il cosiddetto “tweeter a nastro” (ribbon tweeter, fig. 19), che non è altro se non la versione speculare del microfono a nastro, essendo costituito un sottile nastro di alluminio corrugato libero di vibrare in un campo magnetico creato da un magnete permanente (usualmente Neodymium). Il segnale elettrico viene applicato alle estremità del nastro, dopo essere passato da un

trasformatore per adattare la bassa impedenza del componente. La caratteristica di risposta di questo tipo di tweeter è data dalla grande linearità e chiarezza alle alte frequenze, unita ad una larga dispersione orizzontale e ad una stretta dispersione verticale, che lo hanno reso popolare nella costruzione di casse acustiche "line array" (vedi più oltre), le quali richiedono questo tipo di caratteristica di dispersione.



fig. 19: ribbon tweeter

Come per il microfono, anche per il tweeter il problema è dato dalla fragilità, ed è il motivo per cui nei componenti più recenti il foglio corrugato è costituito da un materiale non-conduttivo resistente (ad es. mylar) dotato di laminatura in alluminio.

I crossover

Una volta stabilito il numero di componenti, e quindi il numero di bande di frequenza, da installare all'interno di una cassa acustica, occorre un circuito che distribuisca il segnale proveniente dall'amplificatore ai vari componenti. Tale circuito, schematizzato in fig. 20, ha il nome di "crossover passivo", ed attraverso una serie di filtri permette che ad ogni componente arrivi tutta e sola la gamma di frequenze corretta.

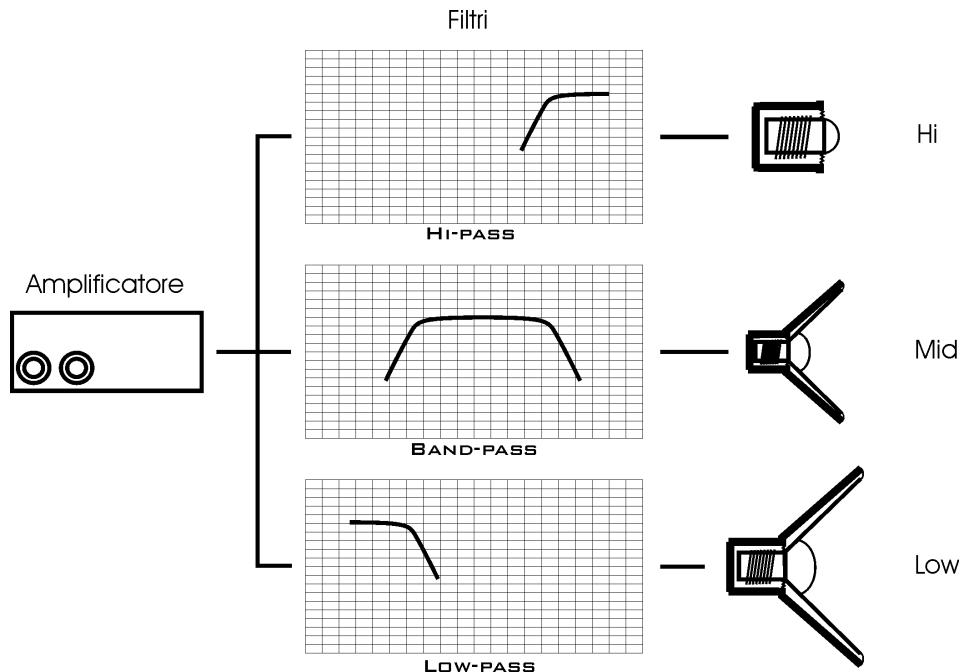


fig. 20: crossover passivo

Una tale soluzione presenta alcuni vantaggi e alcuni svantaggi. I vantaggi sono dovuti al fatto di dover disporre di un solo amplificatore per riprodurre tutta la gamma di frequenze, mentre gli svantaggi sono dovuti in parte ad una dispersione in forma di calore della potenza in ingresso, ed in parte al fatto che è molto difficile assemblare componenti diversi in efficienza senza che si crei uno spreco dovuto alla presenza di un componente meno efficiente di altri.

Una soluzione migliore è rappresentata dal “crossover attivo”, il cui utilizzo è schematizzato in fig. 21. Tale crossover viene inserito prima degli amplificatori, che saranno ora in numero pari a quello delle bande di frequenza in cui è suddiviso il segnale, e provvede a dividere le bande stesse per mezzo di opportuni circuiti attivi.

Il vantaggio di tale configurazione è duplice: ogni componente all’interno del diffusore sarà pilotato con un circuito di amplificazione calibrato sulla potenza effettivamente necessaria alla sua banda di frequenza, e inoltre, lavorando i filtri non su segnali di potenza come quelli in uscita degli amplificatori, ma su segnali di linea in uscita dal mixer, non si crea alcuna dispersione di potenza sotto forma di calore, e inoltre il crossover attivo è in grado di lavorare più accuratamente e con un numero di opzioni superiore con i parametri di taglio dei filtri.

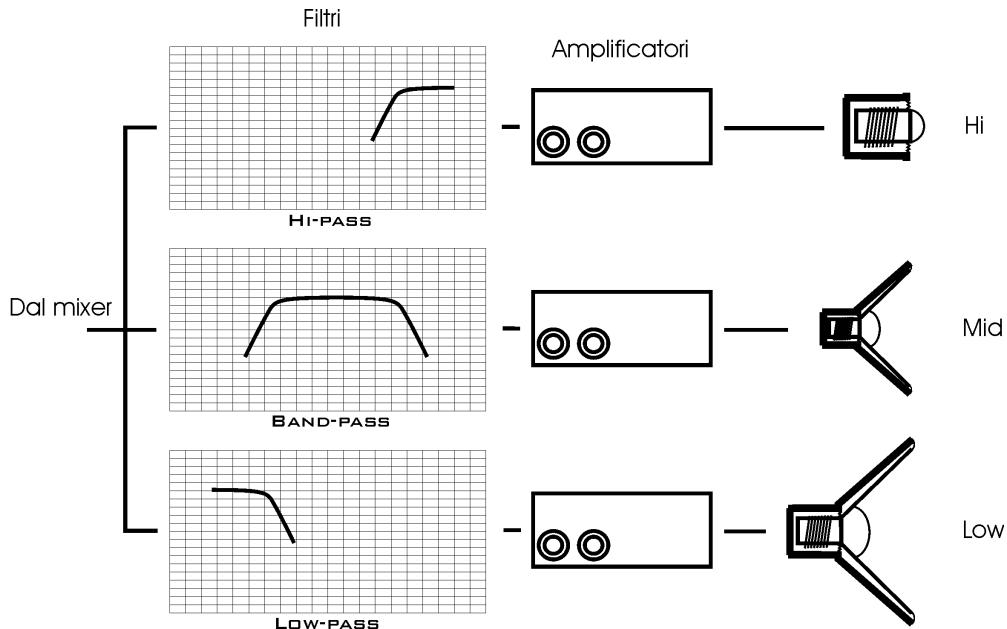


fig. 21: crossover attivo

Diffusione orizzontale e verticale

Nell’installazione di un impianto di amplificazione uno degli scopi che si cerca di raggiungere è la maggiore uniformità possibile delle zone di ascolto. In altri termini, idealmente l’ascolto dovrebbe essere il più possibile uguale dalle prime alle ultime file di spettatori, e dai posti centrali a quelli laterali.

Un altro risultato a cui è importante puntare è il maggiore isolamento possibile tra la zona del palco e quella del pubblico, onde consentire una maggiore opportunità di lavorazione del suono e di bilanciamento tra gli strumenti senza incorrere in fenomeni di feedback acustico.

Per tutti i motivi sopra descritti, sono elementi fondamentali il posizionamento dei diffusori, la loro taratura ed il corretto interfacciamento di essi con il mixer e gli altri apparecchi descritti precedentemente. Riveste quindi una notevole importanza la conoscenza delle loro specifiche tecniche, la potenza erogabile, gli angoli di dispersione orizzontale e verticale, ecc.

Oltre a tutti questi accorgimenti, che rappresentano il punto di partenza nelle installazioni degli impianti di amplificazione, occorre anche considerare, per il posizionamento delle casse acustiche, le particolarità del teatro in riferimento alle sue dimensioni.

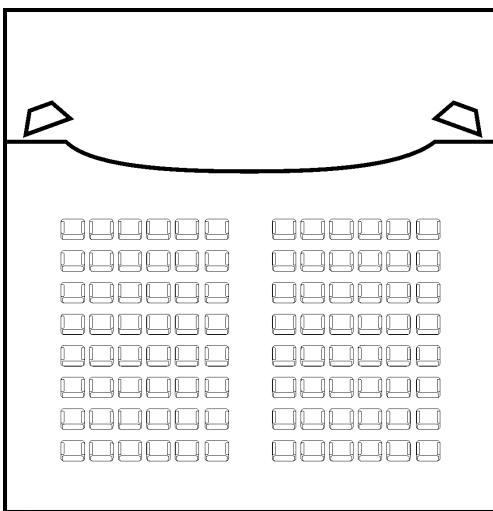


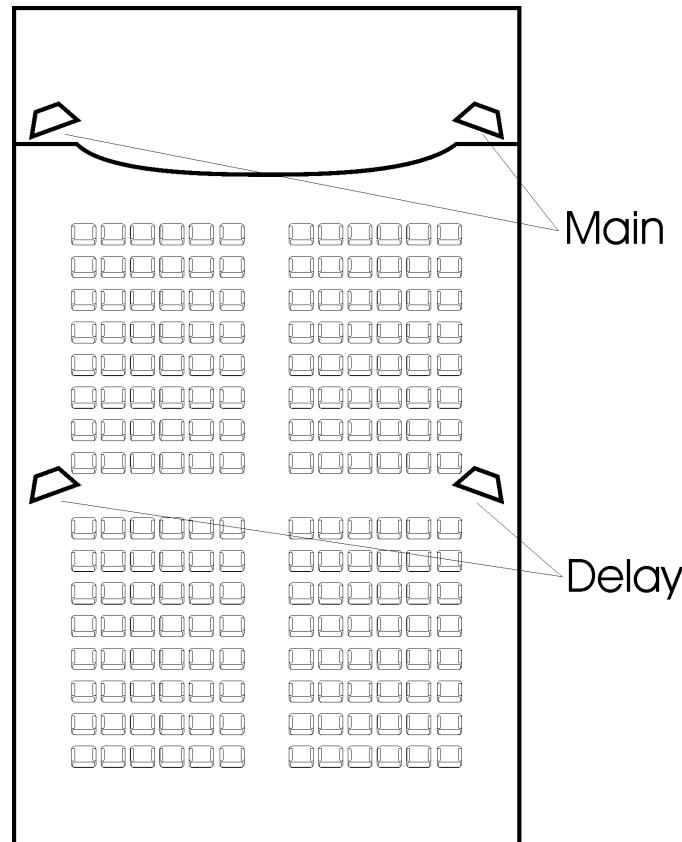
fig. 22: sala regolare

“diffusori” in questo tipo di schematizzazioni non si intende necessariamente due casse acustiche, bensì due sistemi di casse, i quali possono essere composti da più elementi).

fig. 23: sala oblunga

Nella fig. 23 vediamo una installazione dove alla particolare configurazione della platea (stretta e lunga) si rimedia installando due sistemi aggiuntivi a mezza sala. Tale sistema dovrà avere, prima degli amplificatori, una linea di ritardo (“delay”), per allinearla al

Nella fig. 22 vediamo una configurazione “ideale” in cui installare una coppia di diffusori (va precisato che quando si parla di “coppia di



sistema principale (“main”), da cui il nome “delay” che si usa dare al sistema aggiuntivo.

Nella fig. 24 una platea con la caratteristica opposta (corta e larga) presenta il problema dell'eccessiva distanza tra i diffusori con conseguente zona d'ombra al centro, soprattutto per le prime file di platea.

In un caso simile, è opportuno inserire delle casse aggiuntive, solitamente di potenza più ridotta (anche per contenerne le dimensioni fisiche), posizionate davanti al palco nella zona più centrale. Tali casse prendono il nome di “front-fills”.

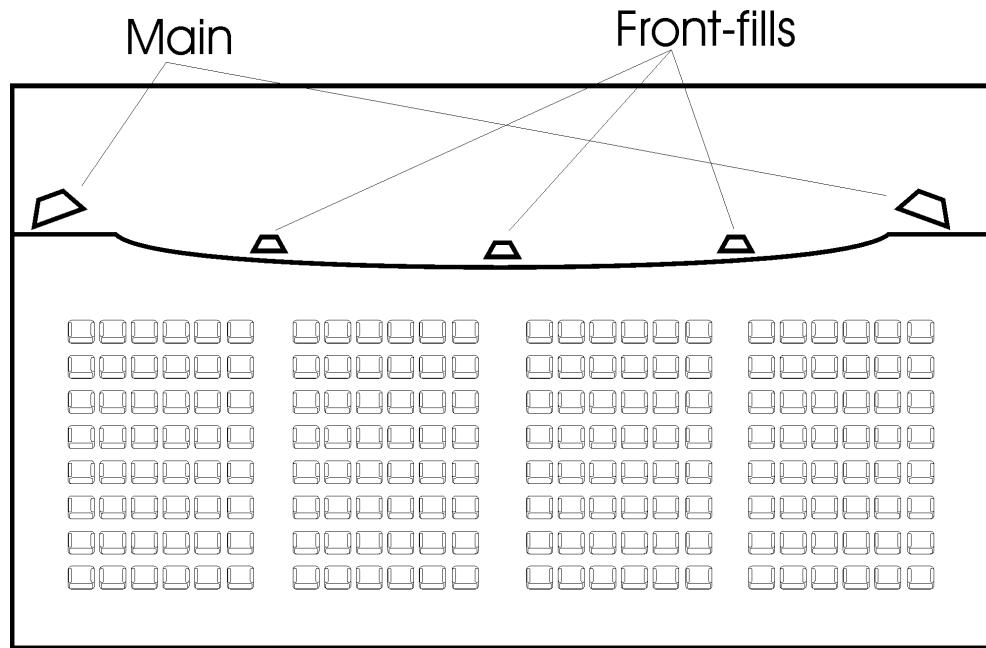


fig. 24: sala larga

Per quel che riguarda il posizionamento degli altoparlanti in relazione alla diffusione sul piano verticale, una volta studiate le proprietà di dispersione del diffusore stesso, occorrerà impostare una giusta inclinazione in modo da consentire una diffusione uniforme del suono dalle prime alle ultime file. Nella fig. 25 osserviamo la dispersione del suono di diffusori posizionati sul palco su stativi.

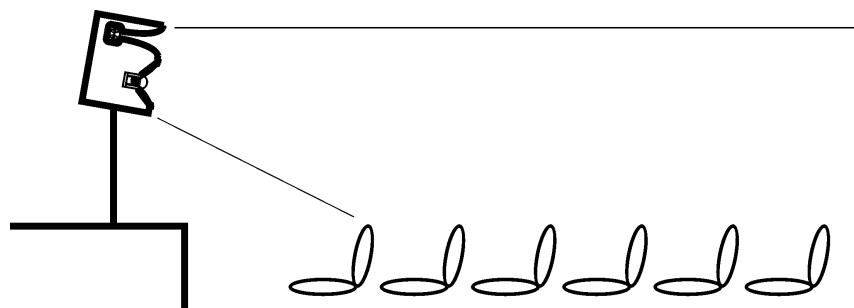


fig. 25: diffusori su stativi

Quando l'angolo di dispersione verticale risulta insufficiente per coprire l'intera zona di ascolto, si ricorre alla combinazione di più diffusori, come illustrato nella fig. 26. Da notare che questo tipo di configurazione è utilizzato anche nei sistemi con la gestione separata delle basse frequenze, dove il sub-woofer può essere posizionato a terra, mentre i diffusori dedicati alle frequenze medie e alte trovano posto più convenientemente in sospensione dall'alto. Il gruppo di diffusori appesi in alto (più elementi dello stesso tipo) prende il nome di "cluster" o "array". L'angolazione degli elementi del cluster tra di loro è calcolata in funzione della dispersione verticale dei diffusori, in modo da non creare problemi di cancellazione di fase dovuti all'interferenza delle onde sonore provenienti da elementi adiacenti.

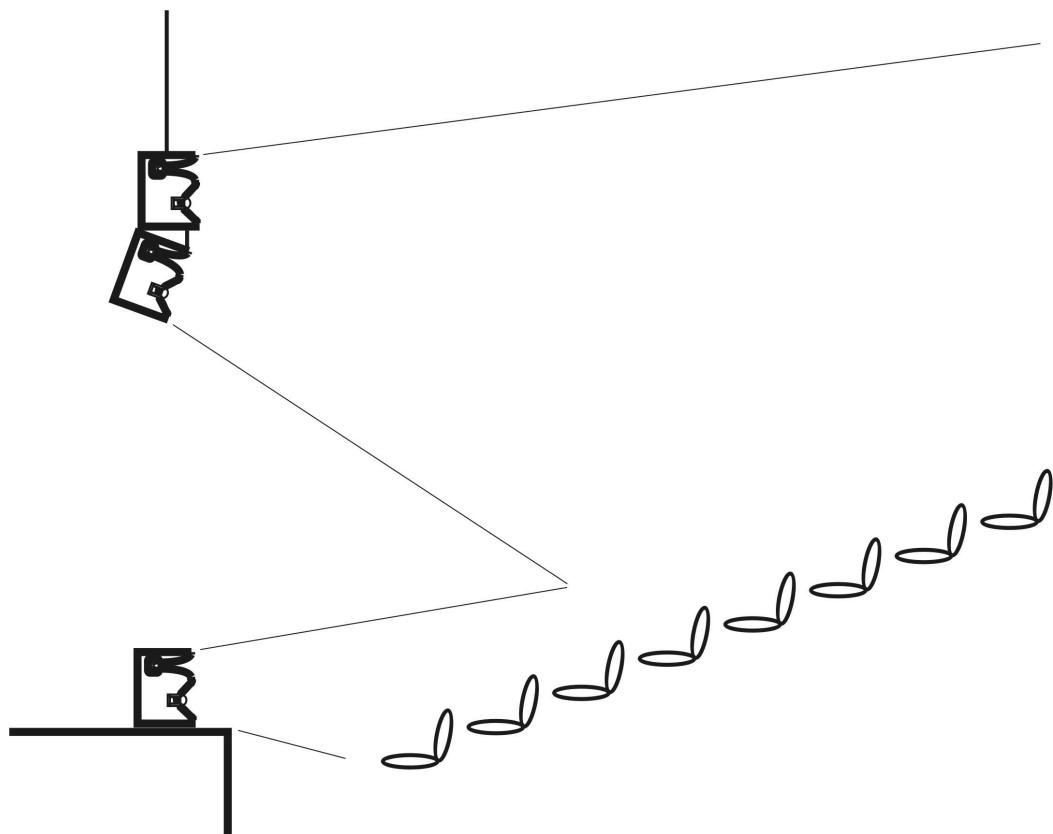


fig. 26: combinazione di più diffusori (array)

I sistemi Line Array

L'evoluzione più recente nei sistemi di amplificazione a grande potenza ha visto lo svilupparsi delle configurazioni cosiddette "line array", le quali sfruttano il principio acustico distruttivo/costruttivo generato dalla sovrapposizione su di una linea verticale di più diffusori identici. Tale fenomeno fa sì che i suoni in asse vengano esaltati di 6 dB,

mentre quelli fuori asse sul piano verticale in parte vengono annullati per effetto dei comb-filtering ed in parte generano lobi secondari di energia trascurabile. Nella fig. 27 possiamo osservare il fenomeno più in dettaglio. Un'onda emessa da due altoparlanti in linea creerà delle interferenze costruttive nei punti dove coincidono tra loro le creste e le valli dell'onda, mentre genererà delle interferenze distruttive nei punti in cui le creste dell'onda emessa da un altoperlante incontreranno le valli dell'onda emessa dall'altro altoparlante.

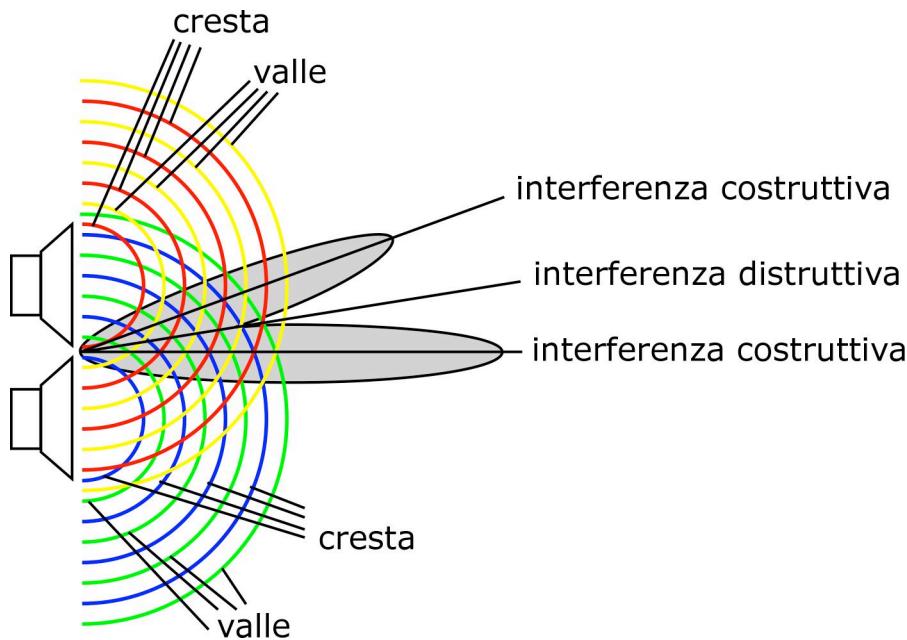


fig. 27: effetto delle interferenze costruttive e distruttive

Sul piano orizzontale la dispersione angolare non viene alterata dal line array, per cui l'onda acustica generata da un tale sistema non è più un onda emisferica, ma si avvicina teoricamente al concetto di onda emicilindrica (vedi fig. 28).

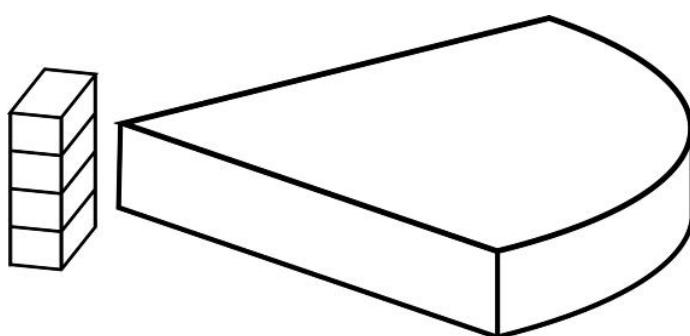


fig. 28: onda emicilindrica

In tale tipo di diffusione il diminuire dell'intensità sonora non è più di 6 dB al raddoppio della distanza, bensì di 3 dB. Questo comportamento ha un limite, detto "distanza di confine" (border distance), oltre il quale l'onda riprende ad essere emisferica e a decadere di 6 dB per ogni raddoppio di distanza. La zona situata all'interno di tale distanza è detta "campo vicino" (near field), mentre quella al di là "campo lontano" (far field). Nella fig. 29 vediamo esemplificati diversi valori di border distance a seconda delle frequenze interessate, unitamente ai corrispondenti valori angolari, tenendo conto che tali valori non sono assoluti, ma dipendenti dalla pressione sonora prodotta e dal numero di componenti che costituiscono il line array.

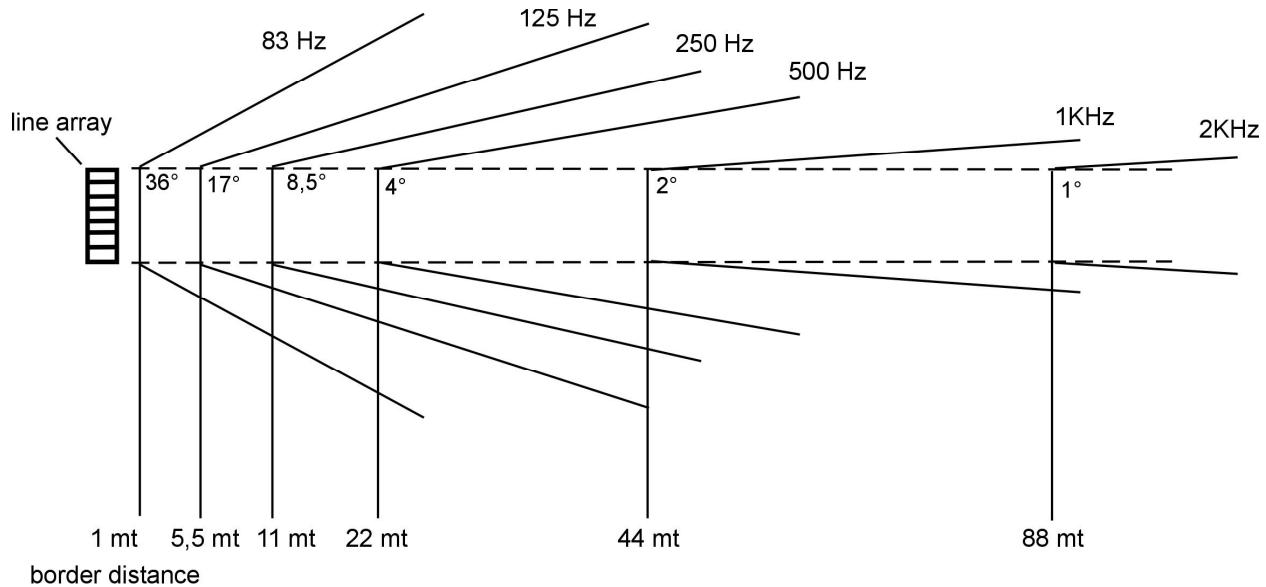


fig. 29: border distance del line array

Esistono formule matematiche che mettono in relazione la distanza di confine, la frequenza e l'altezza del cluster line array. La legge che mette in relazione questi parametri stabilisce che:

"Il punto di confine è raggiunto quando la distanza dal centro del line array è inferiore di un quarto di lunghezza d'onda alla distanza dal punto finale del line array"¹

Nella fig. 30 le grandezze sono messe in relazione da:

$$d = d' - \frac{\lambda}{4}$$

dove

λ = lunghezza d'onda

¹ M. Ureda: *Line Arrays: Theory and Applications*, AES 2001

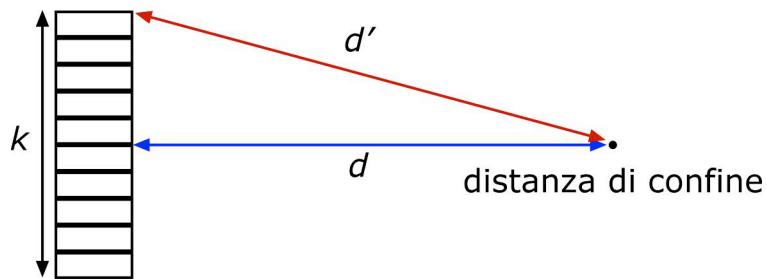


fig. 30: calcolo della distanza di confine

Applicando semplicemente il teorema di Pitagora abbiamo:

$$d' = \sqrt{\left(\frac{k}{2}\right)^2 + d^2}$$

e questa equazione ci conduce a:

$$d = \frac{k^2}{2\lambda} - \frac{\lambda}{8}$$

o anche:

$$d = \frac{k^2 f}{2c} - \frac{c}{8f}$$

dove

f = frequenza

c = velocità del suono

che ci permette di calcolare l'estensione del campo vicino in relazione alla frequenza e all'altezza del cluster. Tale formula ci permette di tracciare un grafico come quello in fig. 31, che indica su di una scala logaritmica i valori della distanza di confine per quattro valori diversi di altezza del line array.

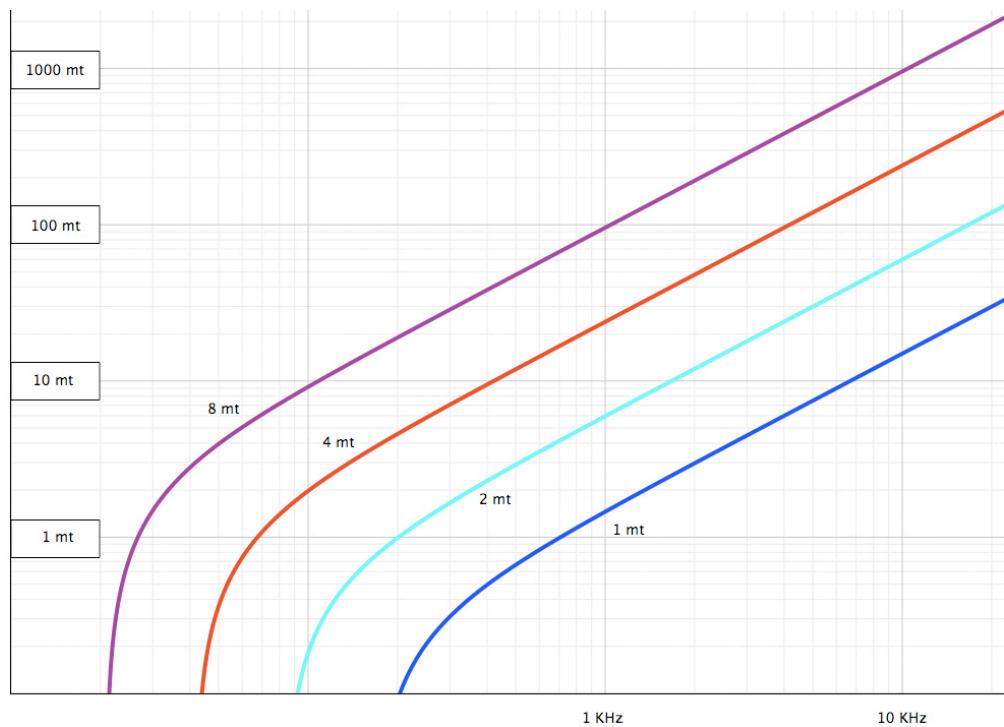


fig. 31: la distanza di confine per quattro altezze di line array

La tecnica del line array ha reso possibile la realizzazione di impianti di grande potenza in grado di mantenere l'energia del suono anche su grandi distanze, e in cui la direttività dell'emissione è controllata. Nella fig. 32 vediamo un esempio di installazione. Come si noterà, nella parte inferiore del line array viene aumentato l'angolo di accoppiamento dei componenti, per permettere la diffusione nella zona di pubblico più vicina sacrificando la lunghezza del campo vicino.

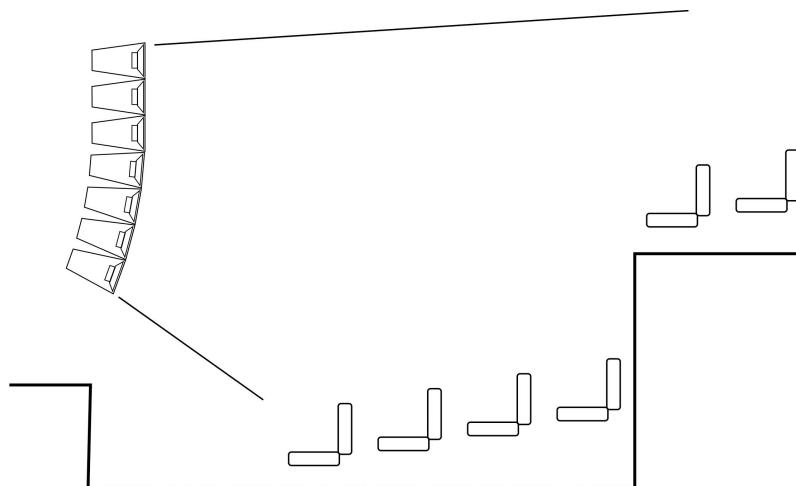


fig. 32: copertura di un impianto line array

Il monitoraggio

Come in precedenza abbiamo evidenziato, la zona del palco deve essere il più possibile isolata acusticamente dalla zona del pubblico, ma naturalmente questo non vuol dire che il palco non debba avere la sua amplificazione. L'amplificazione fornita sul palco prende il nome di "monitoraggio", in quanto viene effettuata con diffusori particolari (i "monitor", appunto), che hanno il compito di fornire un ritorno ("foldback") del suono secondo le esigenze dei musicisti. I monitor, anche se spesso simili ai diffusori di sala, hanno una conformazione particolare della cassa acustica che permette loro di essere posizionati per terra con una angolazione opportuna, come schematizzato in fig. 33. In questo caso, si parla di "wedge monitor".

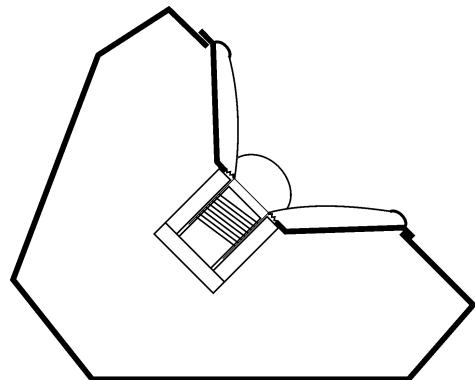


fig. 33: *wedge monitor*

La configurazione ideale prevede un monitor per ogni musicista, ma spesso due o più musicisti possono condividere un singolo monitor, soprattutto quando questo insieme di musicisti rappresenta una sezione d'orchestra. Altra circostanza ideale è rappresentata dall'uso di un mixer di palco (cfr. Lez. 5), in modo da poter fornire un missaggio diverso per ogni monitor. L'esigenza del musicista, infatti, non sarà quella di ascoltare il missaggio effettuato per il pubblico, bensì quella di sentire il proprio strumento e gli altri in un bilanciamento personalizzato.

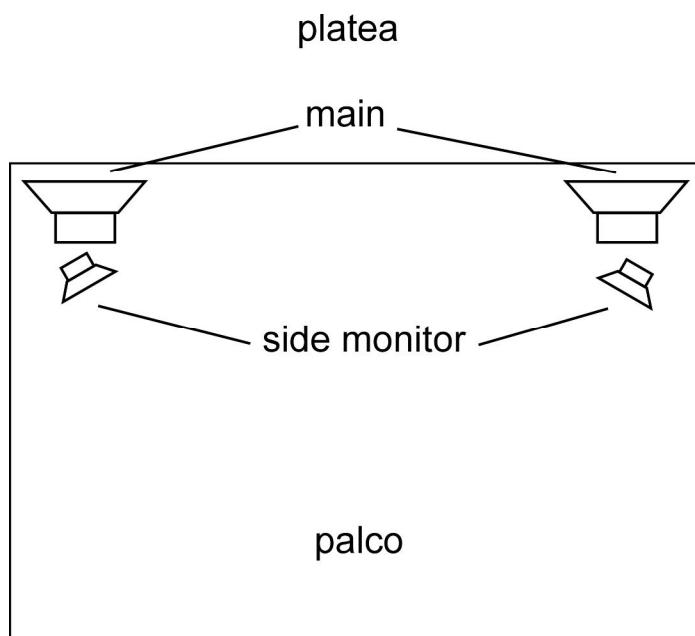


fig. 34: *i side monitor*

In alternativa, o in aggiunta, al monitoraggio individuale effettuato con monitor wedge, si adoperano talvolta dei diffusori, detti “side monitor” (fig. 34), i quali, piazzati in corrispondenza dei diffusori di sala (ai lati del palco), ma rivolti verso i musicisti, rimandano il missaggio left/right sull’area totale del palco. L’utilizzo dei side ha utilità come completamento del suono sul palco generato dai monitor individuali, ed è indispensabile in situazioni dove non è possibile usare monitor wedge (ad es. negli spettacoli di danza).

Per completezza, bisogna aggiungere che in tempi recenti si è andato affermando l’uso di auricolari (“in-ear monitor”) in luogo dei monitor tradizionali, con grande vantaggio per la messa a punto, la precisione, e la pulizia complessiva del suono sul palco. Tali auricolari possono essere collegati con un cavo, oppure senza fili (“wireless”) con un sistema di trasmettitore/ricevitore simile a quello dei radiomicrofoni.