

### Lezione 2: Il segnale elettrico

#### La trasduzione

L'operazione che converte un'onda acustica in un segnale elettrico viene chiamata *trasduzione*, ed è la funzione che svolgono i *trasduttori*, di cui fanno parte anche i microfoni, i cui principi di funzionamento verranno esposti più oltre.

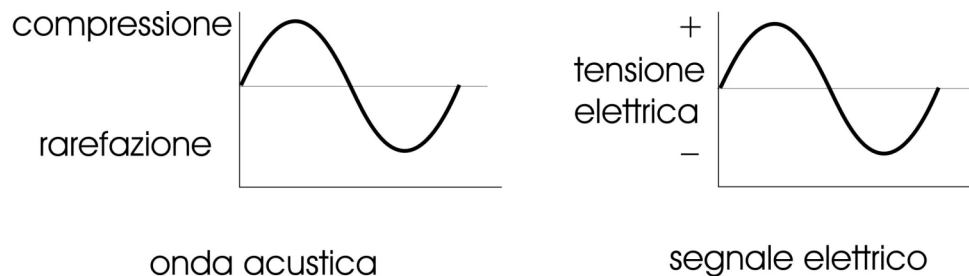


fig. 1: la trasduzione

Se osserviamo la fig. 1, vediamo come le onde sonore acustiche vengano trasformate dal trasduttore in onde elettriche. Ad una compressione dell'onda sonora corrisponde un valore positivo di tensione, e ad una rarefazione un valore negativo. Quanto maggiore sarà la precisione del microfono, tanto più fedele il segnale elettrico sarà all'onda sonora originale. Per operare tale trasduzione vedremo come non venga adoperato un unico sistema, ma più sistemi differenti, i quali generano famiglie di microfoni basate sul principio di funzionamento. Vedremo anche che, oltre al principio di funzionamento, i microfoni possono essere suddivisi in famiglie in rapporto al modo di captazione delle onde sonore, ossia alla risposta generata in base alle diverse angolazioni della direzione di provenienza del suono.

#### Livelli di segnale

Esaminiamo le grandezze utili a quantificare un segnale audio elettrico.

#### Volt di picco e volt RMS

Il segnale elettrico audio si comporta come una corrente alternata (a frequenza variabile) il cui livello è espresso in tensione, e come tale misurato in volt. Esistono due sistemi di misurazione: il Volt RMS (Root Mean Square – radice quadratica media), ed il Volt di picco (Vpeak). Il Volt RMS è espresso dalla formula:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}}$$

dove

$v_1, v_2, \dots, v_n$  = valori di tensione in punti diversi della curva

o, nel caso di una funzione continua espresso in un intervallo da  $t_1$  a  $t_2$ :

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [f(t)]^2 dt}$$

Questa unità di misura è essenzialmente un valore statistico derivato dalla radice quadratica media dei valori istantanei di tensione misurati su un'onda, ed è quindi una misurazione legata all'energia del segnale, più vicina alla nostra percezione del volume sonoro.

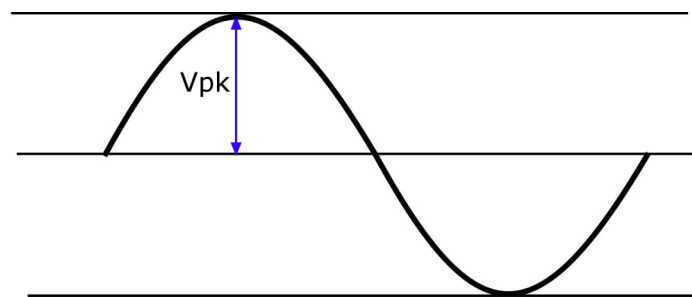


fig. 2: il voltaggio di picco

Il Volt di picco (Vpk, fig. 2) è la misurazione del valore massimo raggiunto dall'onda, da non confondere con il voltaggio picco-picco (Vp-p, fig. 3), che esprime la differenza di potenziale tra il valore massimo e quello minimo.

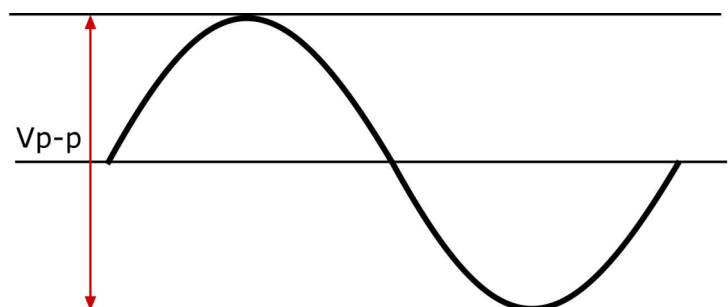
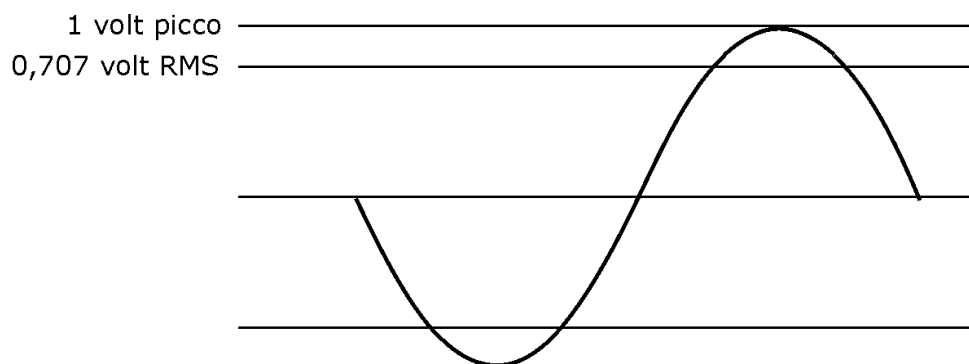


fig. 3: il voltaggio picco-picco

Il valore di picco ha la sua utilità, ad es., nel campo digitale, ove occorra determinare la dinamica esatta di un segnale da sottoporre a campionamento, e in generale in tutte le

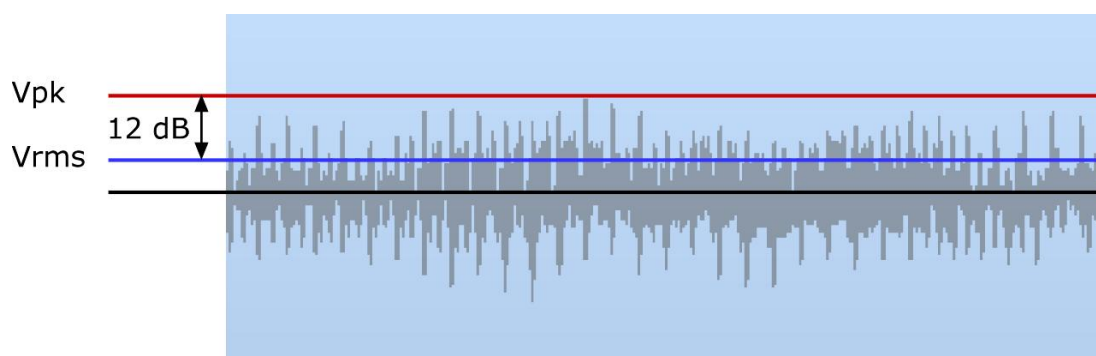
situazioni ove sia presente un pericolo di “taglio” del picco dell’onda (clipping), come vedremo in seguito.

E’ importante sottolineare che le due misurazioni (V RMS e Vpk) non coincidono: nel caso di una sinusoide pura, e solo in quello, il rapporto è di 1 Volt di picco per 0,707 Volt RMS, come illustrato nella fig. 4.



*fig.4: Volt di picco e Volt RMS*

Il rapporto, per un dato segnale, tra il valore di picco ed il valore RMS prende il nome di “fattore di cresta” (Crest Factor), ed il suo valore, misurato in decibel<sup>1</sup>, ha il suo minimo proprio nel caso dell’onda sinusoidale: 3 dB. Per segnali non sinusoidali, come possono essere quelli di un segnale musicale complesso, la combinazione di segnali di frequenze differenti porta, come abbiamo già visto, a situazioni in cui i livelli possono sommarsi o sottrarsi (a seconda dell’intensità e della fase). Quando la somma di segnali diversi porta ad un livello finale superiore al livello RMS si parla di “transienti” (transient), quantificati dal fattore di cresta, il quale sarà, in ogni caso diverso dalla sinusoide, superiore a 3 dB. In un programma musicale il valore tipico del fattore di cresta è di 12 dB, come evidenziato in fig. 5.



*fig. 5: il fattore di cresta in un programma musicale*

<sup>1</sup> Vedi più oltre

Al fattore di cresta e alla sua quantificazione ci si riferisce con il termine “headroom”, che rappresenta la dinamica totale di un segnale musicale complesso da aggiungere al suo valore medio (RMS). La headroom ha un’importanza cruciale nella determinazione del livello operativo di un segnale all’interno di qualsiasi dispositivo elettronico, in quanto rappresenta un parametro di lettura immediata per quantificare il margine di dinamica disponibile.

## La legge di Ohm e l’impedenza

La misura in tensione da sola non è sufficiente per determinare l’energia di un segnale audio, in quanto deve essere associata ad un valore di corrente elettrica. La corrente elettrica che può scorrere in un circuito è inversamente proporzionale alla resistenza che essa incontrerà nel circuito stesso. Tale rapporto è indicato dalla “legge di Ohm”:

$$I = \frac{V}{R}$$

dove

I = corrente (in ampère)

V=tensione (in Volt)

R=resistenza (in Ohm)

Tale resistenza, nei circuiti a corrente alternata, e nel campo dei segnali audio in particolare, prende il nome di “impedenza” (indicata col simbolo Z) e, diversamente dalla resistenza che si misura nei circuiti a corrente continua, è in funzione anche della frequenza. Essa rappresenta il valore resistivo, misurato in Ohm, che si presenta in ingresso o in uscita di qualsiasi dispositivo, microfono, preamplificatore, mixer, ecc., come schematizzato in fig. 6:

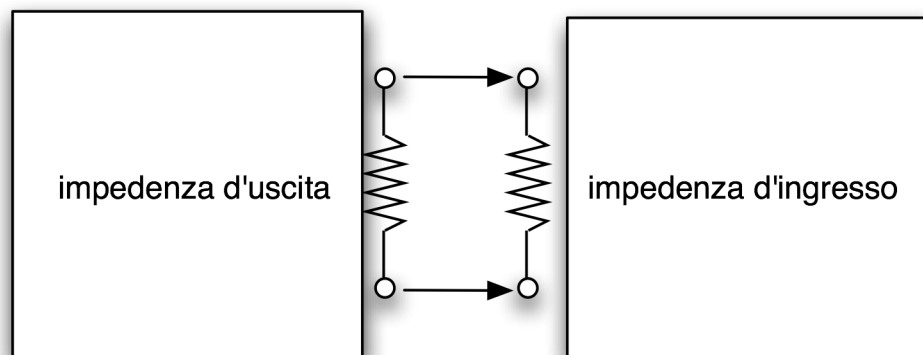


fig. 6: impedenza d’ingresso e d’uscita

La regola base nel collegamento degli apparecchi è che l'impedenza in entrata dell'apparecchio a valle sia uguale o superiore all'impedenza in uscita dell'apparecchio a monte, altrimenti la quantità di corrente che scorre da un apparecchio all'altro sarebbe eccessiva, ed il segnale ne potrebbe risultare alterato nella risposta in frequenza, se non distorto. In pratica, abbiamo due situazioni ammissibili:

- a) l'impedenza in ingresso è uguale (matching impedance)
- b) l'impedenza in ingresso è superiore di almeno 10 volte (bridging impedance)

Nel primo caso abbiamo il massimo trasferimento di potenza da un apparecchio all'altro, ed è la configurazione usata, ad es., nelle linee telefoniche a lunga distanza, o nei collegamenti tra amplificatori e altoparlanti, mentre nel secondo il massimo trasferimento di voltaggio, ed è la configurazione usata in pratica in tutti i collegamenti audio professionali. Se noi prendiamo, ad es., la connessione di un microfono ad un mixer, l'impedenza della sorgente sarà di circa 150 - 200 Ohm, mentre l'impedenza dell'ingresso di un mixer professionale deve essere di circa 1500 - 2000 Ohm, per consentire un interfacciamento corretto, considerando che i microfoni in uscita possono anche arrivare ad un valore di 600 Ohm d'impedenza.

Questi valori sono corretti nell'ambito professionale, in cui i microfoni s'intendono sempre a bassa impedenza (low-Z). Nell'ambito semi-professionale o amatoriale è possibile trovare microfoni a media e ad alta impedenza, per i quali, oltre ad un corretto interfacciamento con apparecchi in grado di accettare questi valori, è necessario rispettare una lunghezza massima per i cavi di collegamento, pena la perdita di segnale e l'alterazione della risposta in frequenza. Diamo nella tabella di seguito i range di impedenza per i microfoni:

Impedenza	Ohm
Bassa	150 - 600
Media	600 - 10.000
Alta	Oltre 10.000

*tab. 1: range di impedenza dei microfoni*

Da quanto detto in precedenza, è intuitivo notare che strumenti come chitarra elettrica o basso elettrico, dotati di uscita ad alta impedenza, non possono essere collegati ad un ingresso microfonico low-Z, altrimenti la risposta in frequenza ne risulterebbe alterata, ma devono essere collegati ad apposite entrate ad alta impedenza.

## Il decibel

Per poter valutare le caratteristiche di amplificazione del segnale all'interno di un circuito, come ad es. un mixer, occorre però disporre di una ulteriore grandezza in grado di esprimere i rapporti di tensione tra l'uscita e l'entrata in una data sezione,

ovverossia il “guadagno” di quella data sezione. Tale grandezza è il decibel (dB), ed è espresso dalla formula:

$$dB = 20 \cdot \log \frac{V_2}{V_1}$$

dove V1 è la tensione all’ingresso del circuito e V2 la tensione all’uscita. Il decibel esprime dunque un rapporto di amplificazione su una scala logaritmica. Di seguito diamo nella tabella 2 alcuni valori tipici in dB ed il loro corrispondente rapporto di amplificazione: vediamo ad es. come ad un circuito che amplifica un segnale del doppio corrisponda un guadagno di 6 dB.

V2/V1	dB
1	0
2	6
10	20
100	40
1000	60

*tab. 2: dB per rapporti di amplificazione*

Il vantaggio più evidente dell’uso di tale grandezza è dato dal poter esprimere una serie di amplificazioni successive come somma di valori in dB piuttosto che come moltiplicazioni di rapporti. Ad es. dalla tab. 1 si può verificare che il guadagno di due stadi successivi, in cui nel primo la tensione viene moltiplicata x 10 e nel secondo x 2 è espresso da:

$$20dB + 6dB = 26dB$$

Il decibel può essere usato, oltre che per indicare rapporti di amplificazione, anche per indicare valori assoluti dei segnali all’interno dei circuiti. Esistono differenti standard, di cui i più comuni sono:

0 dBm = 0,775 volt RMS su un’impedenza di 600 ohm (=1 milliwatt)

0 dBu = 0,775 volt RMS su qualsiasi impedenza di carico (“u” sta per “unloaded”)

0 dBV = 1 volt RMS su qualsiasi impedenza di carico

Vi sono delle differenze sostanziali in questi standard: il primo (dBm) indica un valore di potenza, in quanto fa riferimento ad un valore definito di impedenza, mentre gli altri due sono unità di misura che fanno riferimento esclusivamente alla tensione. L’ultimo

(dBV) è stato introdotto per problemi di semplicità di calcolo. Nella successiva tabella 3 sono evidenziate le corrispondenze tra le varie scale.

Livello dBV	Vtaggio RMS	Livello dBu (o dBm su 600 ohm)
+6.0	2.0	+8.2
+4.0	1.6	+6.2
+1.78	1.23	+4.0
0	1.0	+2.2
-2.2	0.775	0
-6.0	0.5	-3.8
-8.2	0.388	-6.0
-10.0	0.316	-7.8
-12.0	0.250	-9.8
-12.2	0.245	-10.0
-20.0	0.100	-17.8

tab. 3: conversione dBV-RMS-dBu

Occorre a questo punto fare una precisa distinzione tra due termini abbastanza confusi: il “livello nominale” e il “livello operativo”. Il livello nominale è un’indicazione di livello, usata abitualmente nell’interfacciamento degli apparecchi, e fa riferimento al livello RMS indicato per quel dato ingresso o uscita. Per indicare il livello massimo accettabile occorre considerare la headroom, ossia il fattore di cresta che indica, in dB, il margine di dinamica disponibile senza distorsione sopra il livello nominale. Il livello operativo riguarda il trattamento del segnale all’interno delle apparecchiature, come il mixer, e si riferisce al livello gestito da ciascuno stadio di preamplificazione e trattamento del suono.

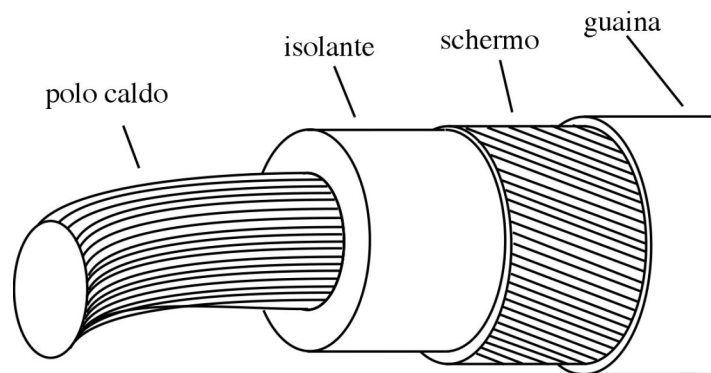
Nella catena audio esistono due standard di livello nominale, cui bisogna prestare attenzione nel momento in cui si vanno ad interfacciare diversi apparecchi: lo standard professionale (+4dBu, generalmente su linea bilanciata), e lo standard domestico (-10 dBV, su linea sbilanciata), comunemente usato per collegare lettori CD, sintoamplificatori, videoregistratori, ecc.

Occorre precisare che i segnali di cui si sta parlando sono comunemente noti come segnali “di linea”, per distinguerli dai segnali provenienti dai microfoni, che non hanno un livello nominale definito, in quanto, come vedremo, possono fornire segnali di livello molto differente: basti pensare che un circuito di preamplificazione microfonica, come quello contenuto nello stadio di ingresso di un mixer, può generare un guadagno variabile anche da 20 a 80 dB.

## Cavi e linee audio

Come vedremo in seguito, il segnale elettrico in uscita dai microfoni consiste in una differenza di potenziale variabile nel tempo e ha bisogno quindi di due conduttori per interfacciarsi alla catena successiva di amplificazione: tali conduttori prendono il nome di “polo caldo” e “polo freddo”, e sono convenzionalmente indicati con i simboli “+” e “-”.

I cavi audio, per proteggersi dal rumore indotto dai campi magnetici esterni, devono essere schermati, ovvero i conduttori, isolati l’uno dall’altro, viaggiano all’interno di uno schermo elettrico collegato allo chassis del mixer, che sarà a sua volta collegato a terra (potenziale elettrico zero). La fig. 7 rappresenta la struttura di un cavo schermato.



*fig. 7: struttura di un cavo schermato*

## Linee bilanciate e sbilanciate

Questo tipo di cavo si avvale dello schermo come conduttore di ritorno (polo freddo), e costituisce, per motivi che ora esamineremo, una “linea sbilanciata”. Per le sue caratteristiche elettriche questo tipo di interfacciamento è adatto per percorsi brevi (pochi metri) e in ambienti esenti da interferenze in alta frequenza (disturbi radio). La linea sbilanciata, di uso comune per collegare, ad es., le chitarre elettriche ai loro amplificatori, è usata per interfacciare i microfoni esclusivamente in ambito domestico e amatoriale, mentre nel campo professionale è indispensabile avvalersi di “linee bilanciate”.

La caratteristica saliente della linea bilanciata è rappresentata dal fatto che lo schermo è indipendente dai due poli del segnale, il quale viene così trasportato su di un cavo costituito da due conduttori all’interno dello schermo. I due conduttori avranno in ogni istante valori di tensione uguali e polarità opposta rispetto al potenziale zero dello schermo, e così, convenzionalmente, la linea bilanciata è detta anche “simmetrica”. In fig. 8 sono rappresentate le linee bilanciate e sbilanciate.



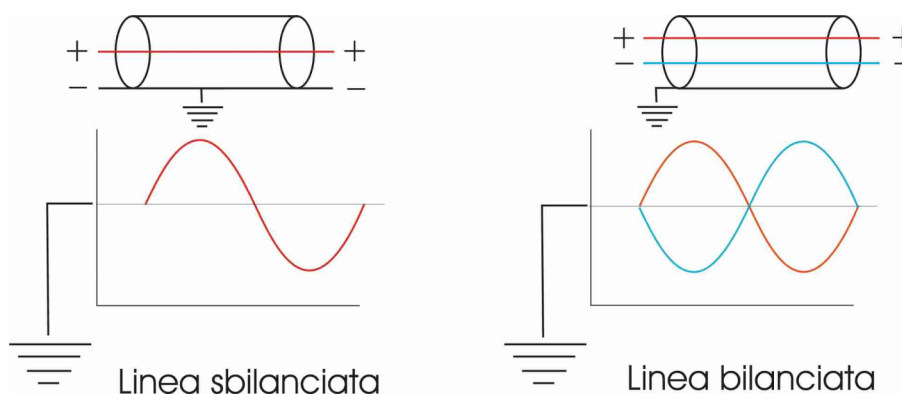


fig. 8: linea sbilanciata e bilanciata

Per essere pienamente efficace, la linea bilanciata ha bisogno di essere interfacciata correttamente all'ingresso del mixer, e ciò avviene secondo due tipologie. La prima prevede la presenza di un trasformatore, come schematizzato in fig. 9, in grado di accettare un segnale bilanciato e di fornire uno sbilanciato per le successive elaborazioni all'interno del mixer.

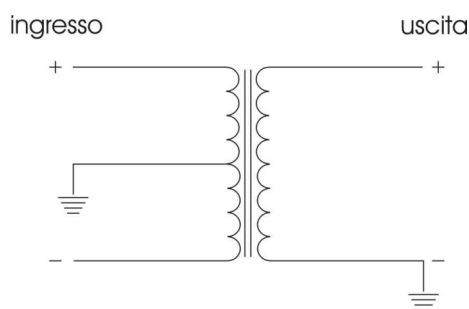
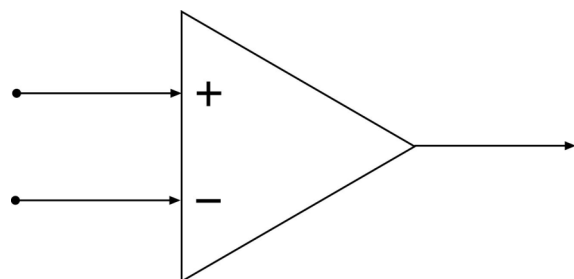


fig. 9: trasformatore d'ingresso



Il secondo tipo di interfacciamento è elettronico, e si avvale di un circuito noto come "amplificatore differenziale", di cui vediamo in fig. 10 la rappresentazione schematica.

fig. 10: amplificatore differenziale

Il principio per il quale la linea bilanciata offre migliori prestazioni rispetto alle interferenze esterne risiede nel fenomeno della "reiezione del modo comune" (CMR o Common Mode Rejection). Infatti, un disturbo in radiofrequenza che andasse ad influenzare un segnale viaggiante su linea bilanciata, si troverebbe all'ingresso dell'amplificatore differenziale (o del trasformatore d'ingresso) su entrambi i poli in opposizione di fase, venendo quindi annullato. La fig. 11 esemplifica tale fenomeno.

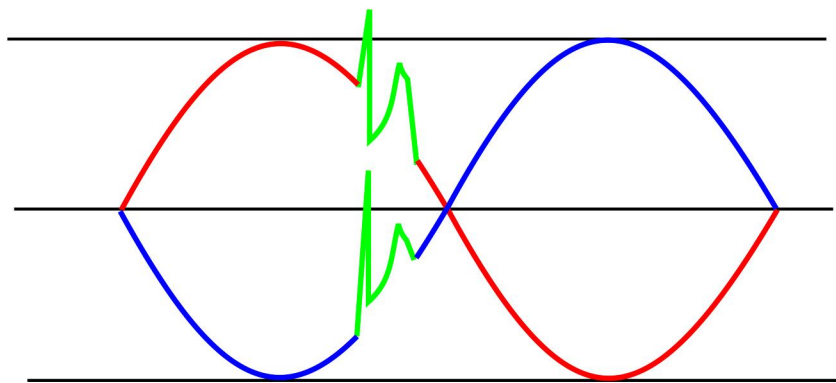


fig. 11: reiezione del modo comune (CMR)

Un'altra importante prerogativa della linea bilanciata consiste nella possibilità di alimentare i microfoni a condensatore con la tecnica del "phantom powering", inviando cioè al microfono una tensione in continua (generalmente +48 V, sebbene esistano microfoni in grado di accettare anche tensioni inferiori) su entrambi i poli del segnale, come schematizzato in fig. 12.

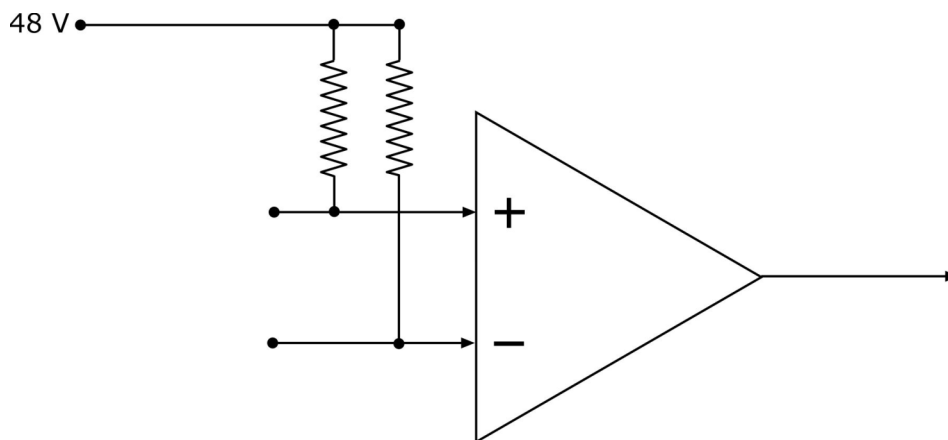
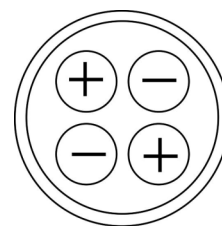


fig. 12: il phantom powering

### Cavi e connettori

Abbiamo già visto come un segnale audio bilanciato, come quello proveniente da un microfono, può correre all'interno di un cavo provvisto di due conduttori oltre allo schermo collegato a terra, e come, per il fenomeno della reiezione del modo comune, questa trasmissione sia funzionale all'eliminazione dei disturbi. Per una maggiore efficacia del CMR, è importante che, all'interno del cavo, i due conduttori siano il più possibile vicini tra di loro, in modo da poter ricevere in modo più uguale possibile il disturbo da annullare poi per opposizione di fase. Per questo motivo esistono cavi a basso rumore, denominati "starquad", costituiti da quattro conduttori oltre lo schermo,

collegati secondo lo schema visualizzato in sezione in fig. 13: ciascun polo è portato da due conduttori collegati con un disegno ad incrocio, e tutti e quattro sono strettamente intrecciati tra di loro ("twisted"), per aumentare la vicinanza fisica dei conduttori.

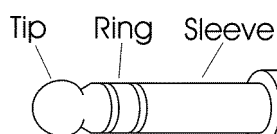
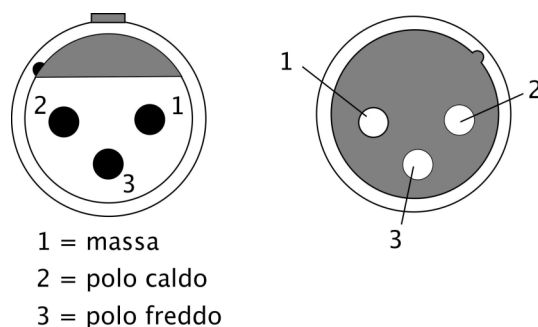


*fig. 13: il cavo starquad*

Il cavo bilanciato così descritto è usato indifferentemente per collegamenti microfonici e per collegamenti di linea, mentre i connettori possono essere differenti. Il connettore maggiormente in uso è un componente tripolare chiamato XLR, di cui vediamo in fig. 14 la visualizzazione del componente femmina (a sinistra) e maschio (a destra), con le relative numerazioni e piedinature secondo lo standard internazionale. Di entrambi esistono le versioni da pannello o volanti, per l'intestazione dei cavi, con numerose varianti, con bloccaggio o senza, a saldare o a crimpare, ecc.

*fig. 14: il connettore XLR*

Mentre i collegamenti microfonici si avvalgono quasi esclusivamente di connettori XLR (esistono microfoni particolari, come i microfoni a valvole o quelli stereo, che necessitano di un connettore dotato di una piedinatura maggiore), per i collegamenti di linea, soprattutto in ingresso ai mixer, ci si avvale spesso del connettore jack 1/4", evidenziato in fig. 15, nella configurazione TRS (Tip, Ring, Sleeve), dove Tip = polo caldo; Ring = polo freddo; Sleeve = massa.



*fig. 15: jack TRS*

Sebbene in passato sia il connettore XLR, sia il jack siano stati utilizzati nei collegamenti tra amplificatori di potenza e casse acustiche, oramai esiste un connettore dedicato a questo, chiamato "speakon", di cui possiamo vedere un'immagine in fig. 16.



*fig. 16: il connettore speakon*

Come si può vedere nell'immagine a destra questo connettore è dotato di 4 terminali, in modo da poter essere utilizzato in due configurazioni: come singolo canale a banda piena o come doppio canale in multiamplificazione, con le seguenti piedinature:

Singolo canale: +1 positivo, -1 negativo

Doppio canale: +1 positivo bassi, -1 negativo bassi, +2 positivo alti, -2 negativo alti

I cavi per i collegamenti delle casse acustiche, detti "cavi di potenza" non hanno schermatura, in quanto portano dei segnali a voltaggio relativamente alto, dell'ordine di qualche decina di volts, e sono quindi esenti da disturbi elettromagnetici. Essi devono essere invece composti da conduttori a sezione molto più grande, in quanto il fattore resistivo riveste una certa importanza, dal momento che l'impedenza delle casse acustiche può variare da 4 a 16 Ohm.