



# LEONARDO MANI AUDIO

## AUDIO SERVICING

## Che cosa è un amplificatore

A cura di Giovanni Arigo

### Amplificazione

Qual è la funzione di un amplificatore? Il suo compito è, come tutti sanno, quello di aumentare l'intensità dei segnali elettrici, che vengono applicati al proprio ingresso, provenienti da una determinata sorgente. In realtà, da un'analisi più approfondita, si potrebbe dire che l'amplificatore costruisca un nuovo segnale, di una determinata ampiezza, utilizzando come modello un segnale d'ampiezza inferiore. L'operazione potrebbe in qualche modo essere paragonata a quello che succede, quando scattiamo una fotografia: la luce proveniente da ciò che stiamo riprendendo viene focalizzata, per mezzo dell'obiettivo, sulla pellicola; tale pellicola verrà poi sviluppata e stampata. Se il nostro soggetto fosse stato particolarmente lontano, potremmo, in fase di stampa, ingrandire a piacere la sua immagine ottenendo, in questo modo, un ingrandimento di ciò che vedevamo a occhio nudo. Ci accorgeremo allora che tale operazione non può portare ad un'amplificazione illimitata dell'immagine, poiché oltre un certo limite noteremo che i difetti di ripresa (mosso) le caratteristiche dell'obiettivo ed in particolare la grana della pellicola ci impediranno di distinguere ulteriori particolari. L'immagine troppo amplificata ci apparirà allora differente da ciò che era l'originale, presentandosi piatta, granulosa e sfocata, priva dei dettagli più minuti.

Vedremo in seguito che quest'esempio è molto più attinente rispetto a ciò che avviene negli amplificatori di quanto ci possa sembrare ora.

I dispositivi attivi con i quali si costruiscono gli amplificatori siano essi transistor o valvole, sono ben lontani da essere degli amplificatori perfetti. In essi il segnale di uscita (una corrente) non è mai proporzionale al segnale applicato ai loro ingressi (tensione o corrente) si dice, quindi, che essi sono dei dispositivi non lineari. L'amplificatore deve per forza di cose comportarsi in maniera lineare (o il più linearmente possibile). Il segnale d'uscita "y" deve quindi essere proporzionale a quello applicato all'ingresso "x", la relazione tra i due deve essere qualcosa tipo:

$$y = Ax$$

*A* esprime, appunto, quanto il nostro circuito amplifica e deve essere una costante.

### Brevi cenni sulla retroazione

La retroazione, e in particolare la retroazione negativa, è quella metodologia progettuale, universalmente adottata in campo audio, che consente di realizzare amplificatori lineari utilizzando componenti (valvole o transistor) non lineari.

Può essere interessante notare che tale meccanismo (la retroazione negativa), le cui prime applicazioni nel campo dell'amplificazione risalgono ai primi anni del XX secolo, sia in realtà un processo estremamente diffuso anche in ambiti diversi dall'elettronica. Basti pensare al fatto che noi stessi inconsciamente la applichiamo, quando, per esempio, guidiamo l'automobile. Se per qualche ragione, la nostra auto tende ad uscire dalla corsia, noi, osservando la strada e rendendoci conto di ciò, correggiamo l'errore con una manovra in direzione opposta a quell'errata. L'auto senza questo controllo uscirebbe di strada. La retroazione si manifesta, in questo caso, come un'azione di correzione ad un errore, per mezzo di una manovra nella direzione opposta a quella dell'errore stesso. E' come sappiamo un meccanismo che funziona assai bene. Supponiamo però per un momento che in questo processo s'insinuasse un ritardo temporale, ipotizziamo ad esempio che i riflessi del guidatore siano assurdamente lenti, nell'ordine di qualche secondo. In tale situazione il guidatore si troverebbe a dover correggere le deviazioni dell'automobile in ritardo: le curve, per esempio, verrebbero eseguite correttamente dal punto di vista geometrico, ma dopo alcuni secondi, con l'ovvia conseguenza che l'auto uscirebbe, in breve, di strada. In queste condizioni la retroazione non funziona più.

## La retroazione negli amplificatori

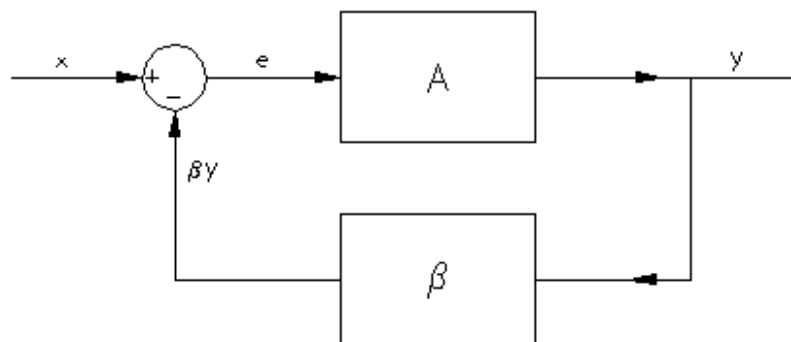


fig. 1

Vediamo in dettaglio cosa avviene negli amplificatori, in fig. 1 è mostrato il blocco di un amplificatore retroazionato: al segnale d'ingresso "x" viene sottratta una frazione pari a **B** volte (**B** è sempre inferiore all'unità) il segnale presente in uscita "y", tale differenza viene amplificata dal blocco **A** di **A** volte. L'amplificazione complessiva è data dalla formula:

$$A_r = A/(1+AB)$$

Supponiamo, per esempio, che il blocco **A** amplifichi di un fattore 1000 e che **B** valga 0,1 (il 10% del segnale in uscita ritorna in ingresso per confrontarsi con "x") si ha così un guadagno reale di:

$$A_r = 1000/(1+1000*0,1) \sim 9,9$$

Questa amplificazione di 9,9 volte è quella effettivamente disponibile. I valori indicati in quest'esempio possono essere considerati plausibili per molti preamplificatori commerciali. Ciò che solitamente avviene in casi simili a questo è di progettare un amplificatore con un guadagno (amplificazione) molto maggiore di quanto necessario, ad esempio, di 1.000 volte, applicare forti tassi di retroazione ottenendo alla fine il guadagno richiesto, in questo caso di circa 10. Tutto ciò si giustifica con il fatto che, oltre al guadagno, si riduce di 100 volte la distorsione e si amplia della stessa quantità l'estensione della banda passante. Questo ci permette di progettare l'amplificatore senza preoccuparci se esso sia poco lineare e molto lento perché la retroazione provvederà a mettere le cose a posto. Ci dovremo solo preoccupare di realizzarlo con molti componenti, al fine di avere un guadagno sufficientemente elevato.

Ipotizziamo, restando nell'esempio precedente, che la tensione del segnale in uscita "y", valga 1 V, la tensione proveniente dalla sorgente "x" varrà allora  $1/9,9 \sim 0,101V$ , prestiamo attenzione al fatto che il segnale che pilota l'amplificatore vero e proprio non è "x" bensì "e", ottenuto dalla differenza tra "x" e "By", valendo quindi 0,001V cioè 1mV, un centesimo del livello del segnale di origine.

Se i valori che abbiamo appena considerato venissero applicati, per esempio, ad un preamplificatore la tensione di uscita di 1 V potrebbe essere considerata molto elevata, nel senso che 1V rms è sufficiente a mandare in saturazione la maggior parte dei finali commerciali, e quindi, in condizione normali, dovremo aspettarci, all'uscita del preamplificatore, una tensione molto minore di 1 V. La stessa cosa si può dire per il segnale di pilotaggio che si può considerare conseguentemente molto inferiore di 1mV.

Il segnale musicale come sappiamo non è una tensione continua e nemmeno una semplice sinusoidale, si potrebbe considerare composto da una gran quantità, variabile nel tempo, di sinusoidi di diverse ampiezze. Ciascuna di queste sinusoidi contribuisce alle informazioni contenute nel suono. Esse determinano per esempio, la diversa timbrica di un violino rispetto a quella di un violoncello, la posizione virtuale dello strumento fra i diffusori, i riverberi ambientali della stanza dove è avvenuta la registrazione, ecc. Anche le armoniche più deboli contribuiscono a caratterizzare qualche aspetto del suono, eliminandole perderemmo delle informazioni utili al riconoscimento di determinate caratteristiche contenute nel messaggio musicale.

E' interessante notare, a questo proposito, quanto è avvenuto a riguardo dei "DCC" e dei "MINIDISC", sistemi di riproduzione pensati per il mercato consumer. Essendo la capacità di contenere informazioni di tali supporti alquanto limitata (decisamente inferiore rispetto a quella di un CD) ci si è avvalsi di particolari sistemi di compressione dei segnali, allo scopo di ridurre la quantità dei bit da dover registrare. In pratica vengono eliminati i segnali più deboli in prossimità di quelli di livello più elevato, dato che, per un particolare effetto di mascheramento, questi non dovrebbero risultare udibili. In realtà, chiunque ha avuto modo di ascoltare le riproduzioni di tali macchine, ha lamentato una perdita d'informazioni a livello di tridimensionalità della scena sonora.

Tutto questo porta a pensare che nella formazione del messaggio musicale anche i segnali più deboli trasportino informazioni utili.

Se poi pensiamo che il sistema di registrazione dei CD con i suoi 96dB di dinamica è ormai già soppiantato da standard più evoluti aventi gamme dinamiche molto superiori, che promettono di suonare molto meglio, viene da ritenere che un rapporto tra i livelli minimo e massimo registrabili di 96dB (circa 1 su 65.000) possa non essere sufficiente. Nel segnale di 1mV che comanda il nostro amplificatore è lecito ritenere, quindi, che vi siano contenute componenti 65.000 volte più deboli che siano ancora utili alla completezza del messaggio musicale. Un milliVolt diviso 65.000 fa circa 15 nanoVolt (15 miliardesimi di volt!).

Come detto sopra, essendo il livello di 1mV il massimo valore attendibile, è lecito ritenere che anche segnali dell'ordine del nanoVolt, all'ingresso del preamplificatore retroazionato, possano essere ancora utili. Vi è poi da considerare che un guadagno di 1.000 a catena aperta (quello del blocco "A") relativo al preamplificatore dell'esempio di cui sopra non è affatto eccessivo. Se, infatti, si considera tale parametro relativo, ad esempio, agli amplificatori operazionali integrati, che equipaggiano una gran quantità di macchine, anche relativamente costose, si riscontrano sempre valori superiori al migliaio, e che possono, in alcuni casi, superare anche i 160dB cioè 100.000.000.

Tutto questo lungo discorso ci ha portati a renderci conto di quando estremamente deboli possano essere le componenti del messaggio musicale che pilotano gli ampli retroazionati.

## Quali problemi possono derivare da tutto ciò?

Livelli di segnale così bassi divengono confrontabili con i livelli del rumore termico all'interno dei componenti (attivi o passivi), confrontabili cioè con i valori di tensione dovuti all'agitazione termica degli elettroni all'interno della materia. Ma attenzione, perché il nostro preamplificatore retroazionato, con un guadagno a catena aperta di circa 1.000 non amplifica di 1.000 volte il rumore presente nel suo ingresso, altrimenti avremmo un fruscio talmente elevato da coprire per intensità la musica stessa. No, tale rumore non lo sentiamo perché interviene la retroazione a ridurlo notevolmente. La retroazione, infatti, per ogni segnale (disturbi, rumore, distorsione) che si origina all'interno del blocco "A" (fig.1) e non presente come componente di "x" provvede, tramite il blocco B e il differenziale, a generare un segnale uguale ed opposto per annullarlo (in realtà lo riduce di circa 100 volte). Alla fine tale segnale si è amplificato non di 1.000 ma di 9,9 volte.

Tutto questo processo è un po' come l'esempio dell'automobile di cui sopra: se non vi sono ritardi di propagazione all'interno dell'amplificatore il processo funziona benissimo. Il problema è che tali ritardi ci sono: la retroazione viene impiegata, infatti, oltre che per ridurre la distorsione anche per ampliare la banda passante e quindi la velocità di circuiti che, altrimenti, sarebbero lenti e non lineari. Lo stesso guadagno elevato, necessario per avvalersi di tale tecnica, richiede circuiti molto complessi e con molti stadi d'amplificazione e per forza più lenti d'equivalenti circuiti con meno stadi.

La conseguenza è che il segnale che viene inviato dal blocco B al differenziale non è uguale al segnale errore che si vuole sopprimere, essendo in ritardo rispetto a questo di una determinata unità di tempo, e per tale ragione non si riesce a sopprimerlo completamente. Vediamo, a titolo d'esempio, in fig. 2 cosa avverrebbe se il segnale di disturbo avesse la forma di un'onda quadra: al segnale disturbo (1) verrebbe sottratto il segnale di correzione (2), proveniente dal blocco B in ritardo del tempo "t", tale ritardo non permette la cancellazione del segnale risultante (in realtà non si cancellerebbe comunque ma, come detto sopra, verrebbe ridotto di 100 volte), e ciò che ne deriva è mostrato in (3), componente che, oltretutto, sommandosi a "e" (fig.1) viene amplificata 1.000 volte.

Il rumore non è un'onda quadra, essendo un processo aleatorio, contiene praticamente tutti i segnali possibili ed in modo casuale. Il segnale rumore, alterato dalla retroazione, che si somma al segnale di pilotaggio "e" è notevolmente depauperato dalle componenti principali, la retroazione cioè riesce abbastanza bene nel suo compito, ma le componenti che rimangono possono avere ampiezze anche superiori a quelle di origine. Tali componenti essendo rare e sporadiche, non vengono quasi rilevate in una misura di rumore tradizionalmente eseguita, o meglio essendo la misura relativa al loro valore efficace vengono "viste" molto più deboli di quanto in realtà non siano. Per le stesse ragioni sono praticamente inudibili. Essendo, però, queste componenti caratterizzate da frequenza casuale e da ampiezza non trascurabile possono, sovrapponendosi al segnale musicale contenuto in "e", portare all'eliminazione di informazioni utili. Se impiegassimo come segnale d'ingresso dell'ampli una sinusoide con un po' di distorsione (armoniche) e osservassimo, all'oscilloscopio o all'analizzatore di spettro, il segnale amplificato, non ci accorgeremmo di nulla. Qualora si presentasse, infatti, una componente del rumore modificato (chiamiamolo così), della stessa frequenza di quella di una armonica della sinusoide, e di ampiezza tale da causarne la cancellazione, tale avvenimento sarebbe di durata talmente breve, poniamo un millisecondo, da non essere osservato. Al contrario se il segnale d'ingresso fosse un segnale musicale, contenente componenti che non si ripetono, un'eventuale componente della durata inferiore a un millisecondo verrebbe perduta, cancellata dalla corrispondente del rumore modificato, con conseguente impoverimento delle informazioni contenute nel segnale amplificato. Per la stessa ragione tali componenti del rumore, sommandosi al segnale musicale, aggiungono informazione non presenti nel segnale di origine.

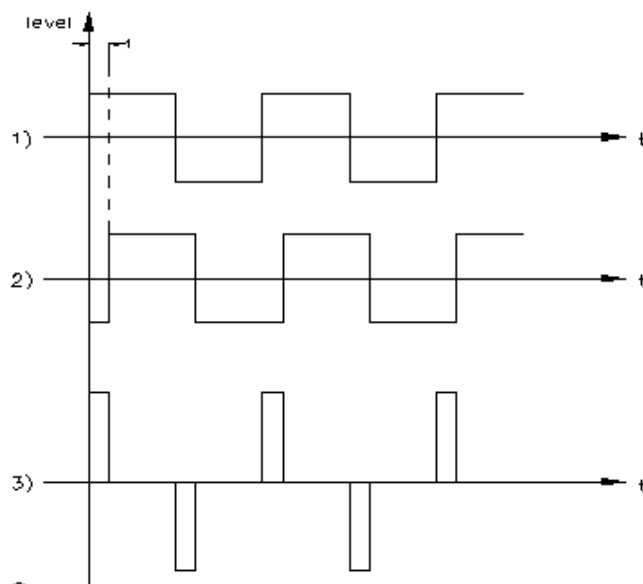


fig. 2

Vi possono essere altri problemi legati a questo, se pensiamo che lo stesso ragionamento appena fatto per il rumore può essere ripetuto per qualsiasi altro disturbo, compresi quelli correlati col segnale musicale stesso indotti, ad esempio, dall'alimentazione, dai circuiti vicini, ecc. E' intuibile che più debole è il segnale di pilotaggio "e" dell'amplificatore, maggiori sono gli effetti negativi causati da tali disturbi.

Un ulteriore problema: il segnale di uscita viene riportato all'ingresso dal solito blocco **B** per confrontarsi con "x" e generare "e", tale segnale, sostanzialmente simile a "x", viene rinviato all'ingresso con un certo ritardo temporale rispetto a "x" stesso. In "e" viene, quindi, ad essere contenuta una componente ritardata dello stesso "x", una specie di eco. Tale sovrapposizione di segnali porta a considerevoli alterazioni nella percezione spaziale della tridimensionalità del messaggio musicale.

E' interessante notare che anche quest'ultimo problema, come quelli discussi sopra, relativi agli ampli retroazionati, non verrebbe in nessun modo rilevato dalle misure che normalmente si effettuano sugli amplificatori, usando segnali periodici come quelli sinusoidali.

## Possibili soluzioni

La retroazione può quindi funzionare correttamente a patto che l'amplificatore, anche a catena aperta, sia velocissimo, afflitto da rumore contenutissimo ed immune ai disturbi indotti. Queste condizioni si riscontrano parzialmente soddisfatte solo nelle macchine più costose, poiché ottenere tutto ciò costa denaro.

La soluzione più semplice, se vogliamo, più "naturale" è quella di non utilizzare affatto la retroazione, costruire quindi amplificatori intrinsecamente lineari, costituiti dal solo blocco "A".

Se infatti consideriamo un paragone tra il comportamento dell'ampli retroazionato di cui sopra con un'altro, ipotetico, avente il medesimo guadagno di circa 10 volte, ottenuto però senza far ricorso alla retroazione; costituito quindi dalla sola cella A, senza i blocchi B e quello differenziale, possiamo constatare che il segnale di pilotaggio dell'ampli è lo stesso segnale "x" di ingresso infatti con 1V in uscita riscontriamo 0,1V in ingresso. Tale segnale di controllo sarebbe, quindi, 10 volte più intenso del segnale di pilotaggio "e" dell'ampli con retroazione, risultando quindi meno sensibile ai disturbi di ogni tipo.

## Ci si prefiggono, quindi, i seguenti obiettivi:

- **Non far ricorso alla retroazione**, non solo del tipo totale vista sopra ma anche di quella locale, applicata su ogni componente attivo, che pur se in scala ridotta ne conserva gli stessi inconvenienti.
- **Impiegare il minor numero possibile di stadi d'amplificazione**, se possibile solo uno; minori sono le manipolazioni ed i circuiti implicati minori sono le alterazioni.
- **Il livello del segnale all'interno del circuito non deve mai** essere inferiore a quello del segnale d'ingresso ("x"), ciò per aumentare al massimo il rapporto segnale disturbi.
- **L'amplificatore deve comunque possedere caratteristiche** elettriche (banda passante, distorsione, ecc.) confrontabili o migliori di quelle degli ampli retroazionati.

Gli unici dispositivi attivi che consentono, impiegati in circuitazioni tradizionali, di realizzare almeno i primi 3 punti sono le valvole, ma solo con segnali non troppo elevati (pre fono) pena l'insorgenza di distorsioni eccessive.

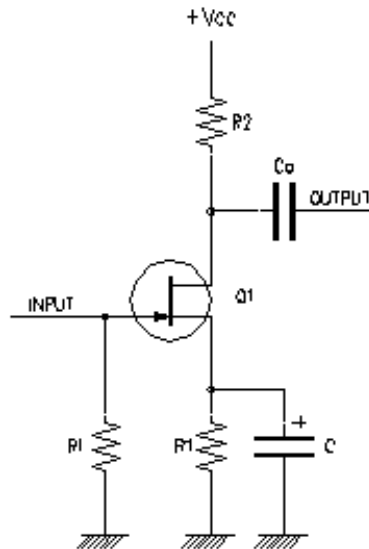


fig. 3

Con i transistors se eliminiamo la retroazione ci ritroviamo con distorsioni inaccettabili, ordini di grandezza al di sopra di quelle riscontrabili nei circuiti con le valvole, in fig. 3 vediamo un esempio di tale circuito, impiegante un JFET come dispositivo attivo. Il guadagno  $A_v$  di un circuito siffatto è determinato in valore assoluto dall'equazione:

$$A_v = g_m R_2$$

Dove  $R_2$ , è il valore della resistenza di **drain** e  $g_m$  rappresenta la transconduttanza del dispositivo; tale parametro non è costante, e varia con la corrente circolante nel dispositivo stesso. E' proprio l'incostanza di  $g_m$  a generare la distorsione nel circuito di fig. 3. I JFET così come i transistor bipolari e le valvole sono, infatti, dispositivi non lineari, la loro transconduttanza, il rapporto cioè tra il segnale di uscita (corrente) e quello di ingresso (tensione) non è costante ma varia con il segnale stesso.

La soluzione risiede nello sfruttare convenientemente tale non-linearità. Combinando opportunamente dispositivi uguali a coppie si può far sì che le rispettive non-linearità si elidano reciprocamente.

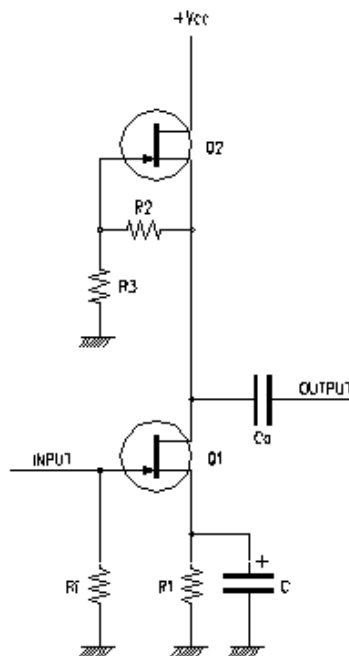


fig. 4

Il circuito di fig. 4 contiene una possibile applicazione di tale metodo. In esso il segnale “x” viene applicato direttamente all’ingresso sensibile (gate-source) del dispositivo, essendo la resistenza **R1** completamente by-passata dal condensatore **C**. Il segnale non viene, quindi, attenuato decine o centinaia di volte prima di essere applicato all’ingresso dell’ampli, come nel caso dei circuiti retroazionati. Il guadagno di tale amplificatore viene espresso dalla seguente equazione:

$$A_v = (R_2 + R_3) / R_2$$

*come si può notare questa volta compaiono solo costanti.*

Il circuito di fig. 5 rappresenta un miglioramento rispetto al precedente; lo schema di fig. 4 presenta, infatti, qualche carenza riguardo all’impedenza di uscita (da ampli valvolare) e alla capacità di trattare forti escursioni del segnale di uscita.

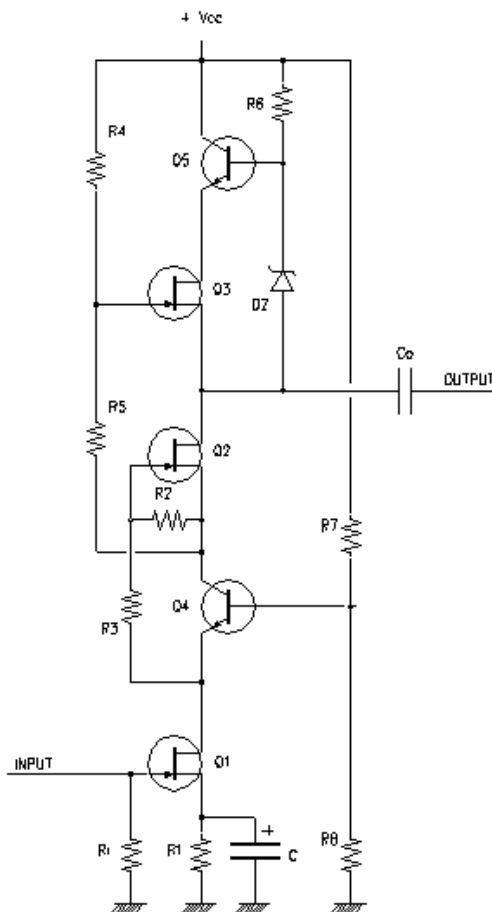


fig. 5

In quest’ultimo schema circuitale vengono raggiunti tutti i quattro obiettivi che ci eravamo posti. Questo amplificatore può, infatti, competere ad armi pari con i tradizionali circuiti retroazionati anche sotto l’aspetto di caratteristiche elettriche come distorsione, banda passante, rumore, raggiungendo valori tali che, dalla scoperta della retroazione ad oggi, erano considerati ottenibili esclusivamente impiegando tale metodologia progettuale.

### LEONARDO MANI AUDIO

C.P. 4358 50135 FIRENZE Cell. +39 333 2233000 Fax + 39 055 570482  
[www.audiomani.it](http://www.audiomani.it) [info@audiomani.it](mailto:info@audiomani.it)