

1

Introduzione all'Audio Analogico

Il suono



Il **suono** consiste in vibrazioni (tra **20** e **20000** cicli al secondo) che si propagano attraverso le un mezzo (tipicamente l'aria) e vengono percepite attraverso le **orecchie**. Al di fuori di quella gamma di frequenze gli orecchie umane non sono sensibili e, per questo, non si parla di **suono** ma semplicemente di **vibrazioni**. Molti animali (come i cani e i pipistrelli) sono sensibili a frequenze molto superiori (gli **ultrasuoni**). A partire dai primi anni del '900 si è imparato a trasmettere e memorizzare i suoni con sempre migliori caratteristiche di fedeltà.

Il decibel, la pressione sonora (riadattato da Wikipedia)

Il **decibel** (simbolo **dB**) è un decimo di **bel** (simbolo **B**). Il **bel** è ormai caduto in disuso, ma rimane l'unità di misura fondamentale da cui il **decibel** deriva, e misura il **logaritmo** del rapporto fra due grandezze omogenee (esprimibili cioè nella stessa unità di misura, e tali, quindi, che il loro rapporto è un numero puro adimensionale). Il rapporto espresso in **bel** fra due numeri o due grandezze fisiche omogenee, x e y , resta quindi definito come:

$$\text{rapporto}_{bel} = \text{Log}_{10} \left(\frac{x}{y} \right)$$

e per essere espresso in decibel, deve essere moltiplicato per 10:

$$\text{rapporto}_{decibel} = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{x}{y} \right)$$

In particolare se x supera y di **3 dB**, il rapporto $x:y$ risulta $10^{0.3} = 1.995\dots$. Nell'uso tecnico corrente, questo valore viene approssimato a 2, per cui si usa dire che un incremento di un valore di **3 dB** corrisponde ad un raddoppio, mentre un incremento di **-3 dB** corrisponde ad un dimezzamento.

Normalmente, si usano i decibel in elettronica, acustica, chimica e in generale in tutti i campi in cui è necessario calcolare prodotti e rapporti fra numeri aventi ordini di grandezza molto diversi; calcolando con i decibel infatti, moltiplicazioni e divisioni si trasformano in somme e sottrazioni, semplificando molto i calcoli. Inoltre il logaritmo comprime le scale numeriche, rendendo le distanze fra numeri da parecchi ordini di grandezza a poche decine. Infine, campi

come l'acustica e la chimica trattano grandezze che sono intrinsecamente logaritmiche nei loro effetti.

- La dinamica di un segnale viene espressa in **decibel**, dal rapporto fra l'ampiezza massima e quella minima che assume lungo l'arco della sua durata.
- Il guadagno degli amplificatori viene spesso espresso in **decibel**, dal rapporto fra l'ampiezza del segnale in ingresso e quello in uscita.
- L'attenuazione di un qualsiasi circuito elettrico o linea di trasmissione si esprime in **decibel**, assumendo ovviamente un valore negativo. Fu proprio per misurare l'attenuazione per miglio delle linee telefoniche che, fu introdotto il **bel**.

In fisica ed in ingegneria spesso si assume, senza neppure esplicitarlo, che i rapporti in **dB** che verranno calcolati siano sempre relativi a energie o potenze, anche partendo da altre grandezze da cui energie e potenze dipendono non linearmente. Questo introduce nei calcoli un fattore 20 che può creare confusione. Ad esempio, in elettronica ed elettrotecnica, parlando di rapporti in **dB** fra tensioni o correnti elettriche, talvolta non si intende il rapporto fra le grandezze stesse, ma fra le potenze che le tensioni o le correnti svilupperebbero se applicate ad una medesima impedenza. Essendo la potenza **W** proporzionale al quadrato della tensione **V** o della corrente **I**, sfruttando le proprietà dei logaritmi si ricavano le formule seguenti:

$$r = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{V_1}{V_0} \right)$$

In acustica, si definisce il livello di **pressione sonora** come il rapporto in **dB** fra i flussi di energia (calcolati a parità di mezzo trasmissivo) relativi alla la pressione sonora p e la pressione sonora corrispondente alla soglia di udibilità p_0 :

$$L_p = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \text{Log}_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

L'uso dei **decibel** è giustificato dal fatto che la sensibilità dell'orecchio ai suoni non è proporzionale alla pressione sonora ma al suo **logaritmo**. La seguente tabella dà un'idea dei livelli in decibel di varie fonti sonore. Si noti che ad un incremento di **10 dB** corrisponde una energia **10** volte maggiore e il colpo di pistola ad un metro sollecita l'orecchio con un energia **10000000** volte maggiore di un aspirapolvere alla stessa distanza.

dB SPL	Sorgente
140	Colpo di pistola a 1 m
130	Soglia del dolore
125	Aereo al decollo a 50 m
120	Sirena
110	Motosega a 1 m
100	Discoteca, concerto rock vicino al palco
90	Urlo
80	Camion pesante a 1 m
70	Aspirapolvere a 1 m
60	Ufficio rumoroso, radio, conversazione
50	Ambiente domestico
40	Quartiere abitato, di notte
30	Sussurri a 1 m
20	Respiro umano a 20 cm

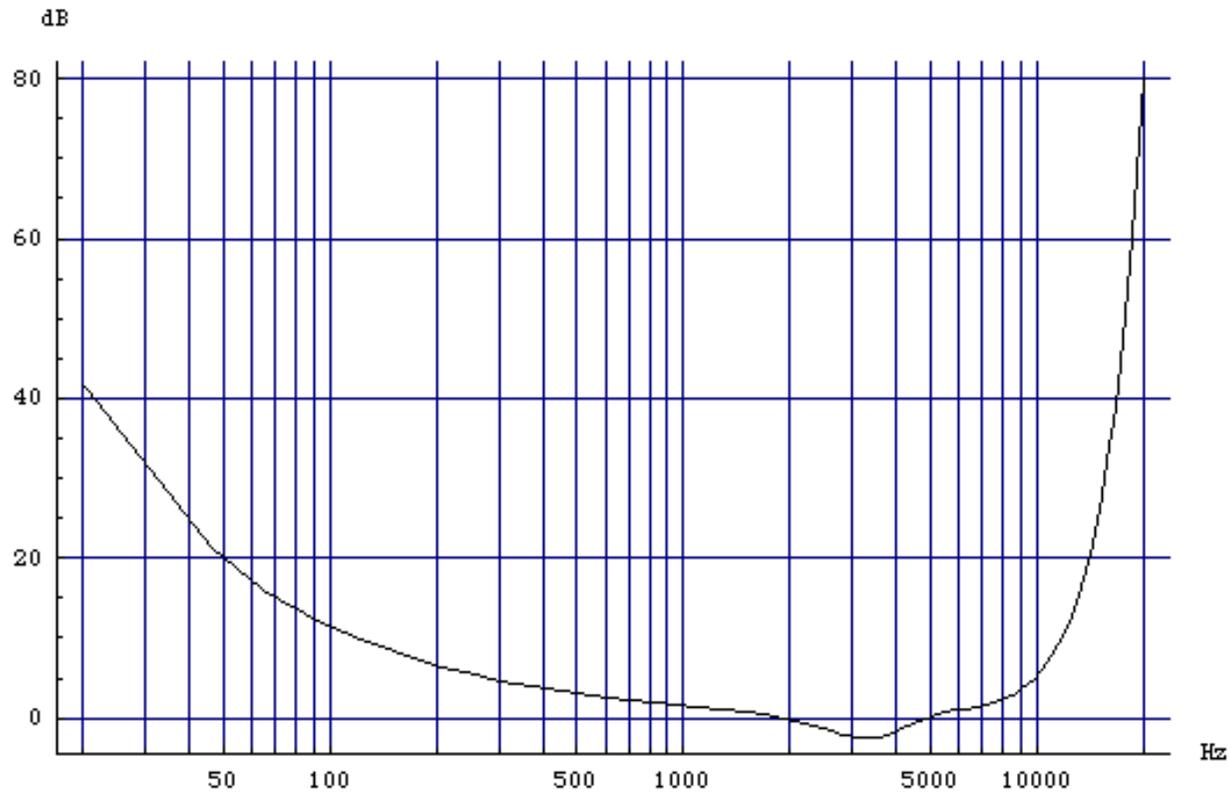
La percezione uditiva

Bisogna tenere presente che la sensibilità dell'orecchio umano non è la stessa a tutte le frequenze, le frequenze medie sono percepite a livelli molto inferiore rispetto a quelle basse e alte. Tale livello di percezione dipende pesantemente sia dalle caratteristiche individuali che dall'intensità del suono sotto esame. La soglia assoluta di udibilità in quiete rappresenta il livello in dB SPL a cui un ascoltatore *medio* percepisce un tono puro in assenza di rumore ambientale.

Analiticamente si può scrivere:

$$Q(f) = 3.64 \left(\frac{f}{1000} \right)^{-0.8} - 6.5 e^{\left[-0.6 \left(\frac{f}{1000} - 3.3 \right)^2 \right]} + \left(\frac{f}{1000} \right)^4 \text{ dB SPL}$$

Per fissare le idee consideriamo un'approssimazione di tale curva in scala bi logaritmica



Questa scelta è puramente indicativa, su testi diversi si trovano altre approssimazioni e solo un approfondito studio **psicoacustico** su numerose cavie umane può suggerire le approssimazioni migliori.

La catena Analogica

Vediamo una costosa catena **analogica** del periodo di massimo splendore di questo tipo di tecnologia.



La musica veniva venduta sui **dischi in vinile**, da suonare su un **giradischi**, amplificata da un **preamplificatore** e da un **amplificatore** e poi inviata alle **casse acustiche**.

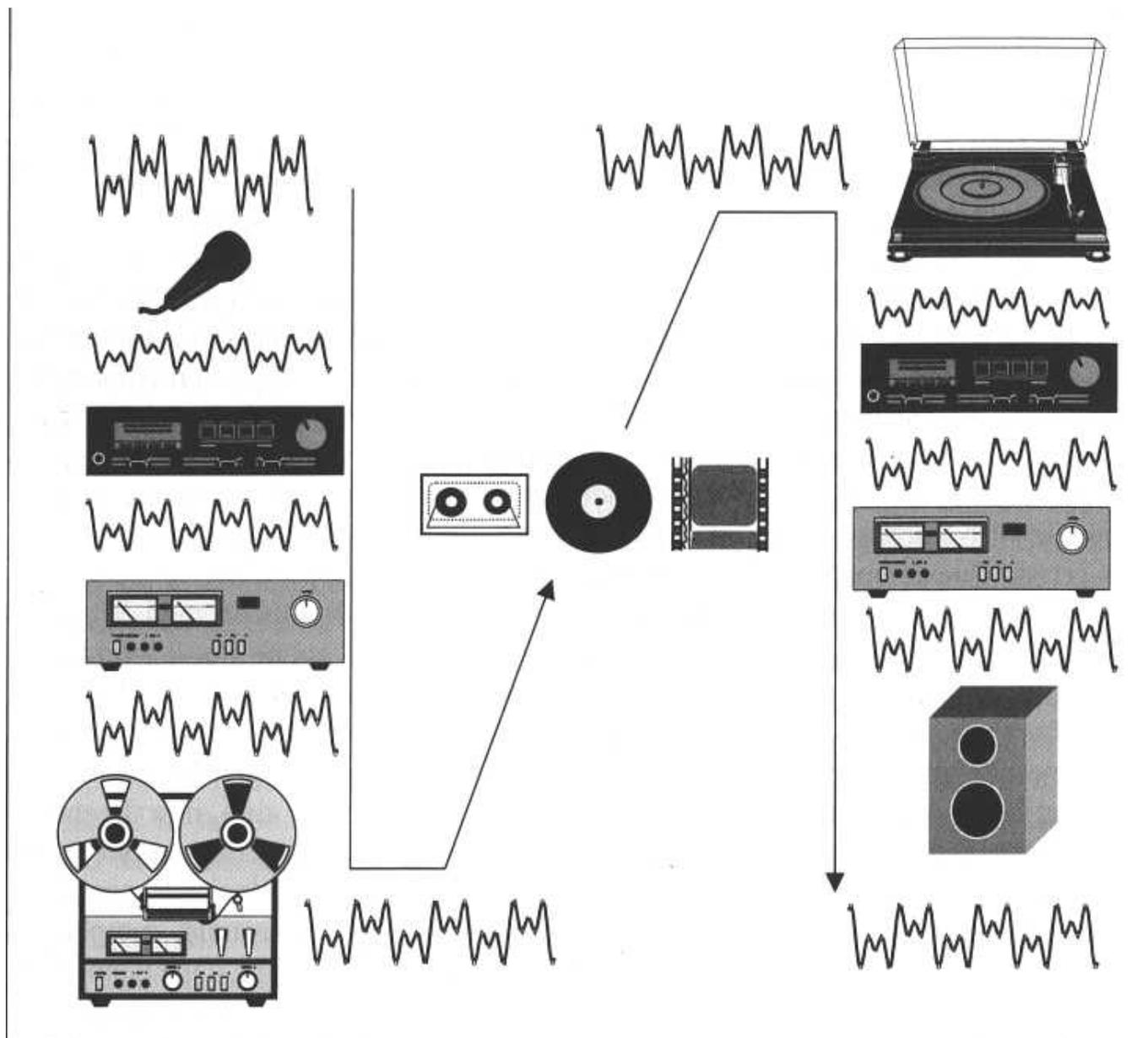


Figura tratta da Lombardo, Valle, "Audio e Multimedia, II ed." Apogeo, 2005

Sono necessarie due parole sui segnali analogici.

In natura non esistono segnali veramente analogici: le varie forme di trasmissione comunemente chiamate “analogiche” in realtà si basano su una discretizzazione più o meno fine realizzata dalle varie soluzioni fisiche adottate.

La risoluzione di un **LP** è limitata dalle dimensioni delle asperità su cui striscia la puntina e, siccome queste vengono erose durante l’ascolto, un **LP** non suona mai due volte nello stesso modo.

Il nastro magnetico possiede dei domini di magnetizzazione di dimensione finita e la loro struttura determina la risposta in frequenza del nastro e la quantità di rumore.

In un filo elettrico il segnale è portato da un flusso discreto di elettroni e, infine, il suono nell’aria è veicolato dal moto di molecole di gas.

La caratteristica comune di queste discretizzazioni è che tipicamente sono completamente scorrelate dal segnale dando origine ad un rumore di fondo che in alcuni casi (il filo, l’aria) è quasi completamente inavvertibile, in altri casi (gli **LP** e i **nastri analogici**) è avvertibile ma (a parere di molti) meno fastidioso delle alterazioni introdotte dal digitale.

Anche in campo analogico può essere presente rumore **correlato** (per esempio la distorsione dell’amplificatore o le interferenze tra i cavi di alimentazione e quelli di segnale) e questo è spesso avvertibile direttamente o sotto forma di **fatica di ascolto**.

È doveroso precisare che per **non analogico** non intendo **digitale** (ovvero **numerico**) intendo **discreto**; per poter parlare di digitale, infatti, bisogna che le quantità in gioco siano non solo discrete ma **misurabili numericamente**.

Ora, da un lato la **meccanica quantistica** assicura che in natura tutto è discreto (**quantizzato**), dall'altro il **principio di indeterminazione** di **Heisenberg** nega la possibilità di misurare esattamente tutte le grandezze in gioco e inoltre la inevitabile formulazione probabilistica oscura ulteriormente la natura.

In questo senso le grandezze continue sono un'approssimazione del reale anche se da una cinquantina di anni si trovano esperimenti in cui la natura quantistica affiora anche a livello macroscopico (**entanglement**, i **condensati di Bose-Einstein**, ecc.)

L'approssimazione continua di una realtà discreta è indispensabile anche senza scomodare la meccanica quantistica. Per esempio è ovvio che l'aria è fatta di molecole distinte ma l'elevato valore del **numero di Avogadro** (il numero di **molecole** in una **mole**) fa sì che ogni studio di **acustica** vada fatto considerando l'aria (a pressione e temperature ambiente) come un fluido continuo, modellabile con le equazioni di **Navier-Stokes**.

La situazione è diversa nel trattamento dei segnali audio, a causa del rumore intrinseco dei supporti analogici (nastro, LP) la risoluzione di un segnale di origine digitale è maggiore di quella di un segnale analogico. Ovviamente quest'ultima considerazione non implica una opinione sulla qualità del suono analogico o digitale che sarebbe ingenuo legare alla sola risoluzione.

Vedremo adesso in maggiore dettaglio i tipici componenti della catena analogica:

- Lo studio di registrazione
 - Microfoni
 - Mixer
 - Registratori a nastro
 - Il supporto fisico
- Il giradischi
- L'amplificatore
- Il sistema di altoparlanti.
 - Tipologia dei sistemi di altoparlanti
 - Efficienza
 - Interazioni con l'ambiente d'ascolto

Lo studio di registrazione

Microfoni

Il microfono ha il compito di trasformare le vibrazioni dell'aria che costituiscono il suono in segnali elettrici che possono essere trasferiti su cavo e amplificati.

Vediamo le varie tipologie di microfono

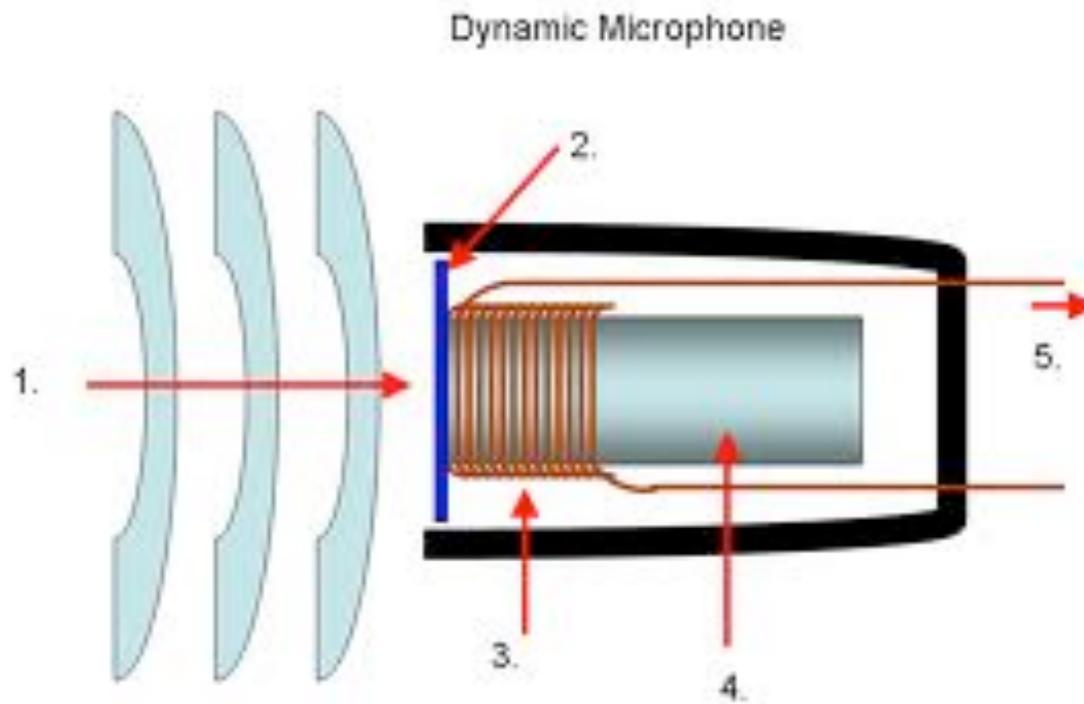
- **A carbone**

Usato ancora nei vecchi telefoni è privo di qualità audio ma, una volta, era economico e facile da costruire



- **Microfoni dinamici**

Usano, all'inverso, lo stesso principio degli altoparlanti dinamici. Le onde sonore fanno vibrare un diaframma che a sua volta sposta una bobina immersa in un campo magnetico. La forza elettromotrice indotta viene amplificata e rappresenta il segnale captato dal microfono

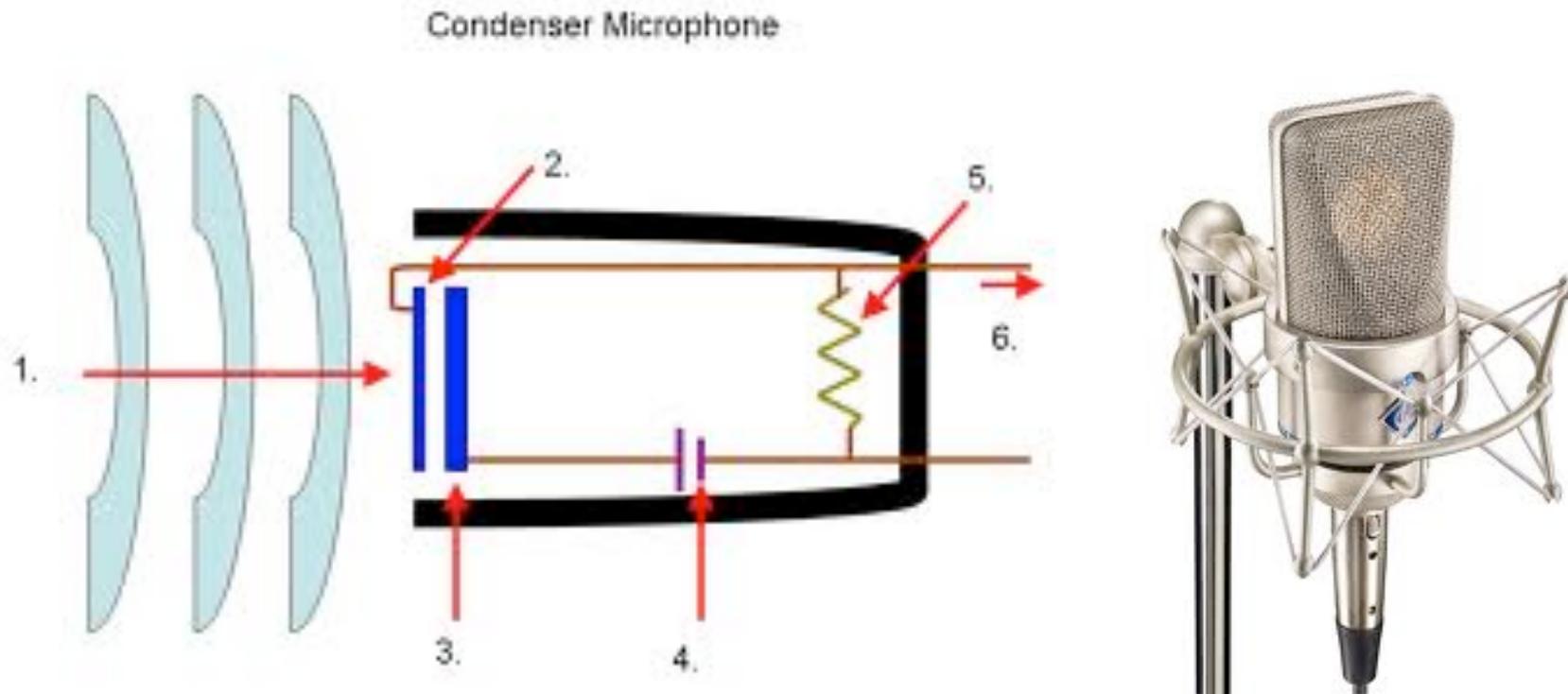


- **Microfoni senza fili**

Al giorno d'oggi in molti microfoni (dinamici) è incorporato un trasmettitore che permette ai cantanti o gli attori di muoversi liberamente durante la loro performance.

- **Microfoni a condensatore**

Usano, all'inverso, lo stesso principio degli altoparlanti elettrostatici. Le onde sonore fanno vibrare un diaframma metallico immerso in un campo elettrico. La variazione di capacità viene rivelata e amplificata e rappresenta il segnale captato dal microfono. Più delicati e costosi dei microfoni dinamici sono la migliore scelta per una registrazione di qualità.



- **Microfoni a electret**

È come il microfono a condensatore, ma non serve una sorgente di tensione esterna perché il campo elettrico è dato da un elettrete permanente. Sono più economici ma meno pregiati dei microfoni a condensatore.

- **Tecnica di ripresa multimicrofonica**

Un evento sonoro può essere registrato in molti modi diversi, ogni sorgente sonora (strumento, cantante) può avere il proprio microfono dedicato e il relativo segnale registrato in una apposita traccia. In questo modo un singolo esecutore può essere registrato in seguito scegliendo le esecuzioni migliori o facendogli fare più parti sovrapposte.



- **Tecnica di ripresa globale**

In alternativa l'intero evento può essere registrato in diretta con due (o tre) microfoni che simulano un ascoltatore privilegiato. Questa tecnica perdona molti meno errori ma i risultati sono più aderenti alla spazialità di un evento reale

Mixer

Ormai da oltre cinquanta anni la registrazione viene tipicamente indirizzata su due tracce che vengono alla fine riprodotte da due sistemi di altoparlanti per ottenere un effetto di spazialità che permetta di ricostruire la scena sonora. Questa tecnica è detta **stereofonia** è il nome **stereo** è divenuto sinonimo di impianto ad alta fedeltà (*mi sono fatto lo stereo!*), Tecniche a quattro canali furono proposte in passato ma in campo analogico non hanno avuto seguito, mentre tecniche digitali multicanale sono comunemente impiegate per le proiezioni cinematografiche sia pubbliche che domestiche.

Il **mixer** è l'apparecchiatura che ha il compito di ricevere il segnale dai microfoni e indirizzarlo (eventualmente miscelato) alle tracce del registratore. Nell'era d'oro dell'analogico per le registrazioni con molti microfoni venivano usati giganteschi e costosissimi mixer da studio.



Oggi sono molto diffusi piccoli mixer che permettono a chiunque di farsi in casa il proprio studio di registrazione o la propria consolle da DJ.



Registratori a nastro

Componente fondamentale della catena analogica era il registratore a nastro magnetico. I registratori multi traccia registravano le singole componenti del materiale musicali mentre il master per l'incisione era riversato su registratori a due tracce stereo.



Un registratore multi traccia



Un registratore a due canali

Il supporto fisico

Una volta creato il master a due tracce il suo contenuto veniva venduto agli utilizzatori finali su vari possibili tipo di supporto.

- **LP**

I dischi in vinile a **33** giri hanno soppiantato i vecchi dischi in **shellac** a **78** giri e, a partire dagli anni '60, il loro standard si è ben assestato. Il programma viene inciso su due tracce sui bordi di un solco praticato in un disco in vinile del diametro di **12 pollici**. Il disco viene prodotto per stampaggio e per essere suonato necessita di un **giradischi**. La velocità

angolare di rotazione è costante e vale $33 \frac{1}{3}$ giri al minuto. La durata tipica è di 20-30 minuti per facciata. Esiste(va) anche il disco a 45 giri, più piccolo, che conteneva tipicamente un brano per facciata.



NB per molti appassionati il disco in vinile rappresenta tuttora il supporto migliore per ascoltare musica.

Cassette

Un supporto più economico e maggiormente fruibile (in macchina, all'aperto) era la **compact-cassette**, un caricatore di nastro da **1/8 di pollice** inciso a **4.75 cm/sec** su due tracce in entrambe le direzioni.



- **Bobine di nastro**

Un supporto di grande qualità, ma costoso e di difficile reperibilità, erano le bobine di nastro da **1/4 di pollice** prodotte direttamente dal master originale.



Il giradischi

Lo scopo del giradischi è di tenere in movimento a velocità di rotazione costante il disco per permettere al fonorivelatore di trasformare correttamente le ondulazioni dei solchi in un segnale sonoro. Il problema di far ruotare un piatto ad esattamente $33 \frac{1}{3}$ giri al secondo minimizzando vibrazioni e irregolarità di rotazione è sempre stato di non banale soluzione.

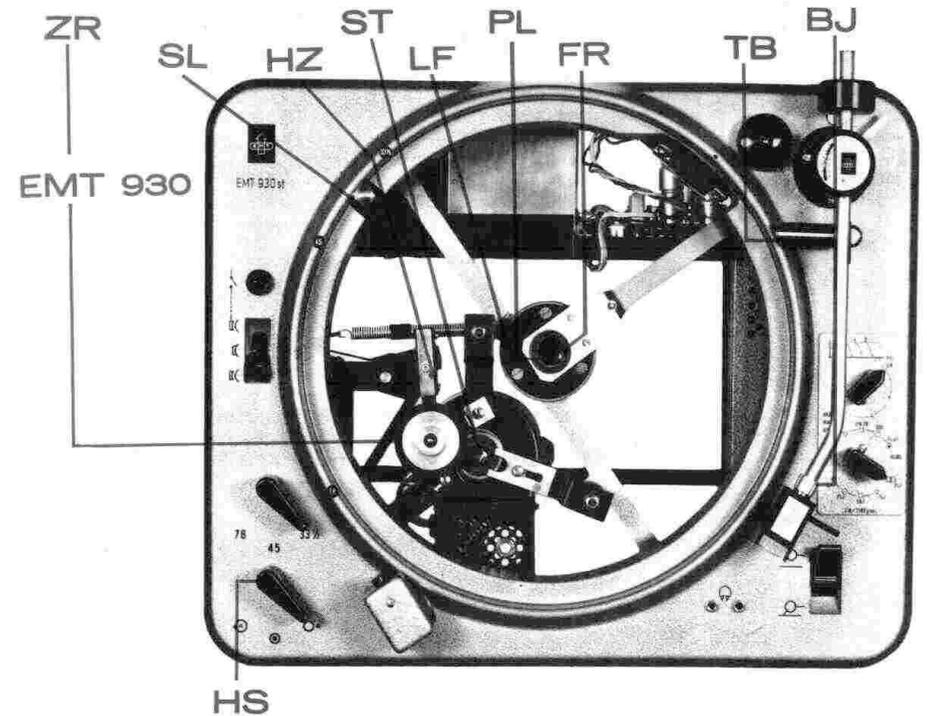


Vediamo le varie tipologie di giradischi.

A puleggia

Nei modelli sviluppati fino alla fine degli anni '60 un motore sincrono era accoppiato al piatto attraverso un sistema di pulegge. I giradischi di questo tipo erano pesanti e costosi, per funzionare al meglio necessitavano di una base massiccia. I massimi esponenti della categoria

erano costruiti dalla tedesca **EMT** essenzialmente per le stazioni radio, costavano come una utilitaria ed erano progettati per funzionare 24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana nelle peggiori condizioni ambientali. Nelle foto il classico modello **EMT 930** ritenuto da molti, tuttora, uno dei giradischi più pregiati.



A cinghia

Una soluzione più semplice ed economica introdotta allo scopo di facilitare la diffusione del giradischi di qualità nelle famiglie era quella dei giradischi a cinghia. In questo caso il movimento è trasmesso dal motore al piatto attraverso una cinghia elastica che riduce le vibrazione.

Essenziale perché questo principio possa funzionare è che il motore e il piatto siano disaccoppiati per esempio sospendendo il piatto attraverso un sistema di molle.

Nella foto il classico modello **Thorens TD125**.



Esistono anche giradischi a cinghia non disaccoppiati in cui motore e piatto sono entrambi fissati rigidamente alla base, le motivazioni di tale scelta sono solo economiche (costa poco produrli e si possono vendere comunque a prezzi elevati, in regime di monopolio), in quanto la funzione della cinghia come elemento disaccoppiante si viene completamente a perdere.

Progettare giradischi a cinghia è un compito alla portata anche di piccoli costruttori e artigiani, in fondo basta mettere insieme un motore una cinghia o un piatto, questo spiega la diffusione di questa tipologia che rappresenta al giorno d'oggi la quasi totalità dei giradischi prodotti con modelli che vanno dai 200 euro fino anche a oltre 100000.

Trazione diretta

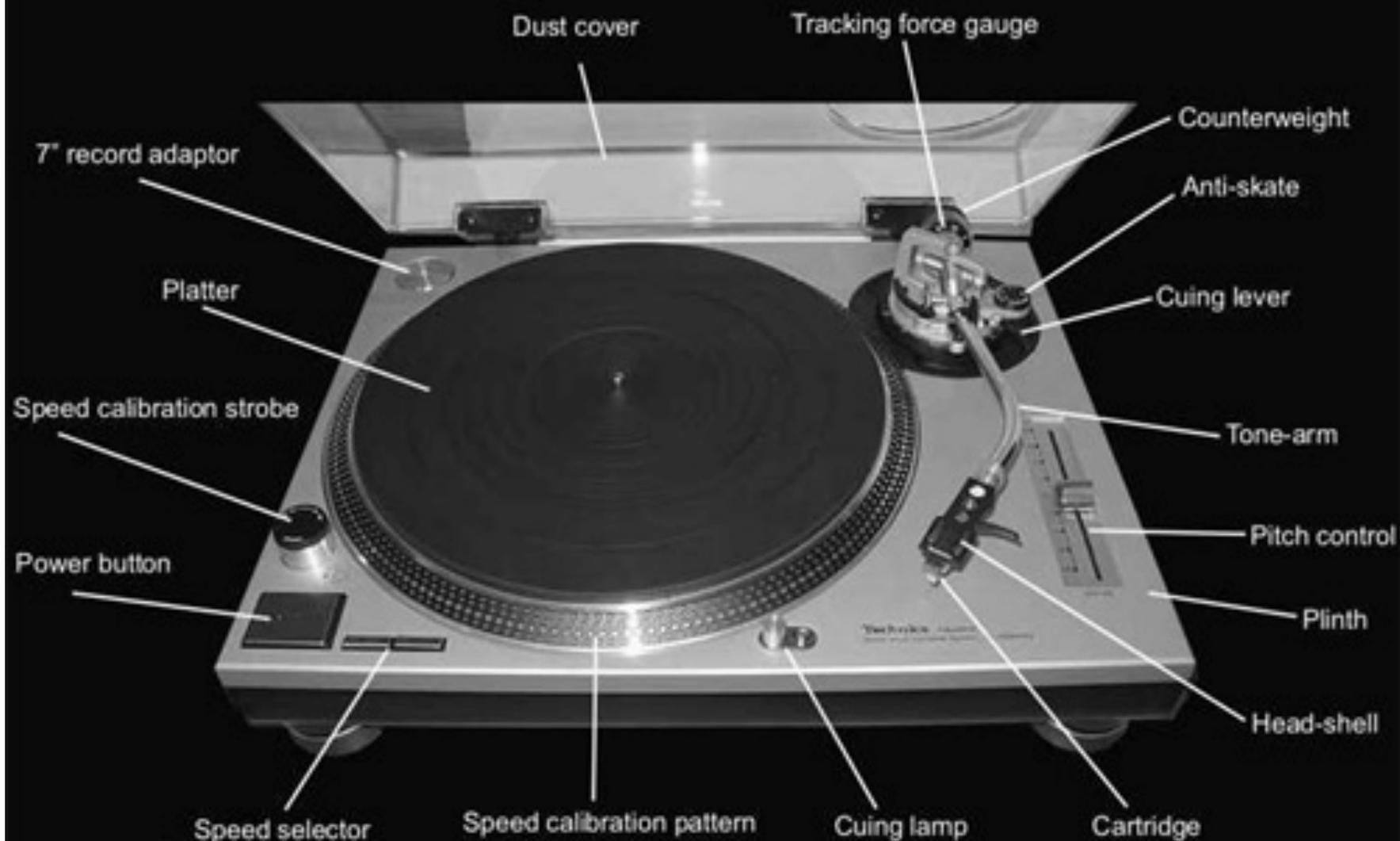
Con il progresso tecnologico fu possibile progettare motori più silenziosi che potevano essere direttamente installati sul piatto; nacquero così i giradischi a **trazione diretta**.

La progettazione e la produzione di motori adatti alla trazione diretta (spesso costituenti un tutt'uno con il piatto) richiede notevoli investimenti e non è alla portata delle ditte artigianali. La maggior parte dei modelli fu commercializzata da grandi aziende giapponesi anche se la **EMT** ha prodotto pregevoli trazione diretta professionali (nella foto l'**EMT 950** nella versione usata dalla **BBC**).



Un successo particolare ha avuto quello che era il modello top della **Technics** per uso domestico il **SL 1200** che per la sua robustezza qualità e affidabilità è divenuto successivamente lo standard usato dai DJ di tutto il mondo e, per questo motivo, è stato per lungo tempo (fino al 2011) l'unico giradischi a trazione diretta prodotto su scala industriale.

PARTS OF A TURNTABLE

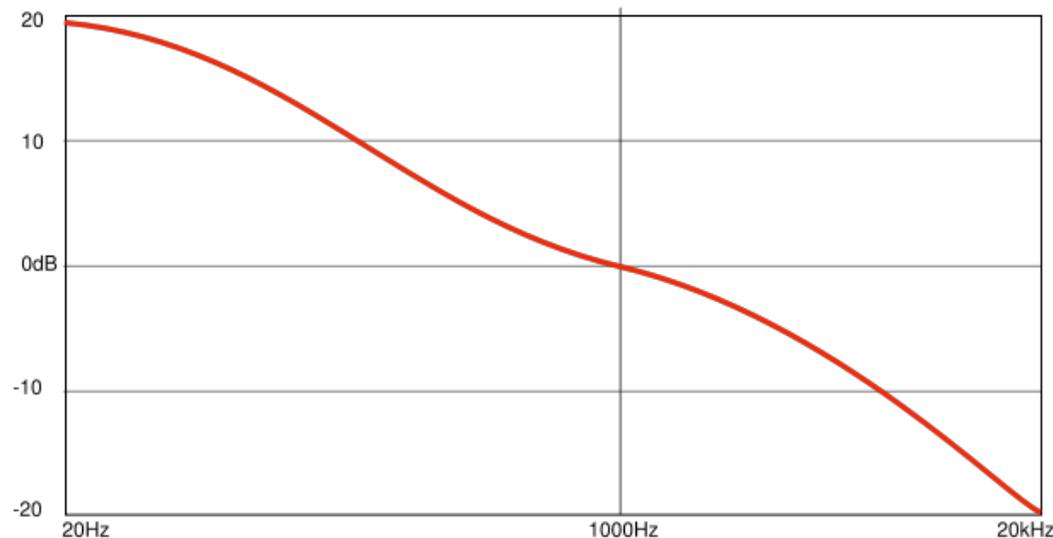


THIS IS A DIRECT DRIVE TABLE. THE MOTOR IS BENEATH THE PLINTH CENTERED ON THE PLATTER.

Sul giradischi viene imperniato un **braccio** che sostiene il fonorivelatore, quest'ultimo ha il compito di trasformare le vibrazioni della puntina (lo **stilo**, oggi esclusivamente in diamante, una volta anche in acciaio o in zaffiro) in un debole segnale elettrico che deve essere amplificato per portarlo al livello dei segnali prodotti dalle altre apparecchiature (per esempio i registratori a nastro).

Un aspetto fondamentale da tenere in considerazione è che non sarebbe possibile incidere i solchi con un'ampiezza proporzionale al livello del segnale uniforme per tutte le frequenze, è infatti indispensabile attenuare le frequenze più basse per contenere la dimensione dei solchi ed esaltare le frequenze acute per non farle scomparire nell'inevitabile fruscio causato dallo strisciare dello stilo sul vinile. Questa equalizzazione, effettuata al momento dell'incisione, deve essere compensata da una equalizzazione speculare al momento della riproduzione.

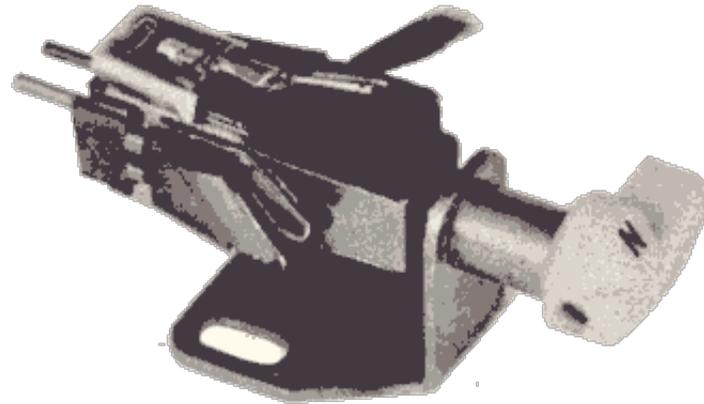
Il **preamplificatore phono** ha il compito di elevare il livello del segnale del fonorivelatore e al contempo di effettuare la corretta equalizzazione che per gli LP moderni segue lo standard **RIAA**.



Fonorivelatori Piezoelettrici

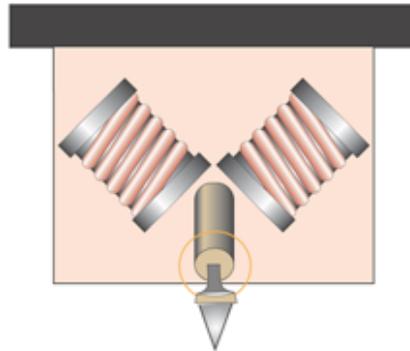
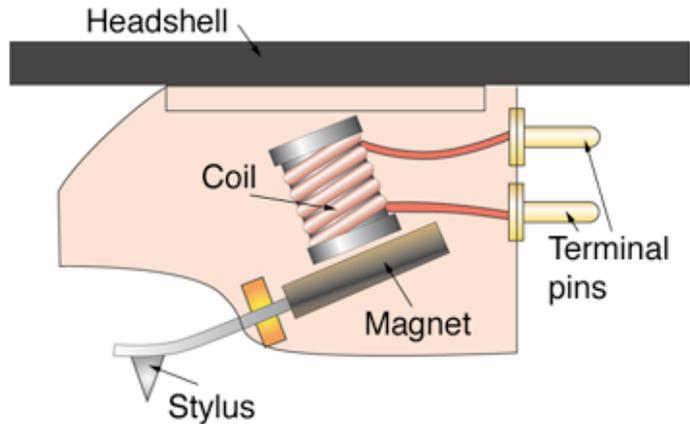
I primi fonorivelatori trasformavano il movimento in segnale elettrico sfruttando l'effetto piezoelettrico di particolari materiali (quarzo, ceramiche). Il segnale aveva un livello elevato semplificando la costruzione del preamplificatore ma la qualità globale non è esaltante e questo tipo di trasduttore è stato presto abbandonato.

Lightweight Weathers has built-in record brush, lessens wear on both record and stylus. Exceedingly delicate, it tends toward IM distortion unless handled with extreme care



Fonorivelatori a magnete mobile (MM)

In questi fonorivelatori un piccolo magnete solidale con lo stilo si muove vicino a due bobine in cui induce i segnali elettrici relativi al canale destro e sinistro.

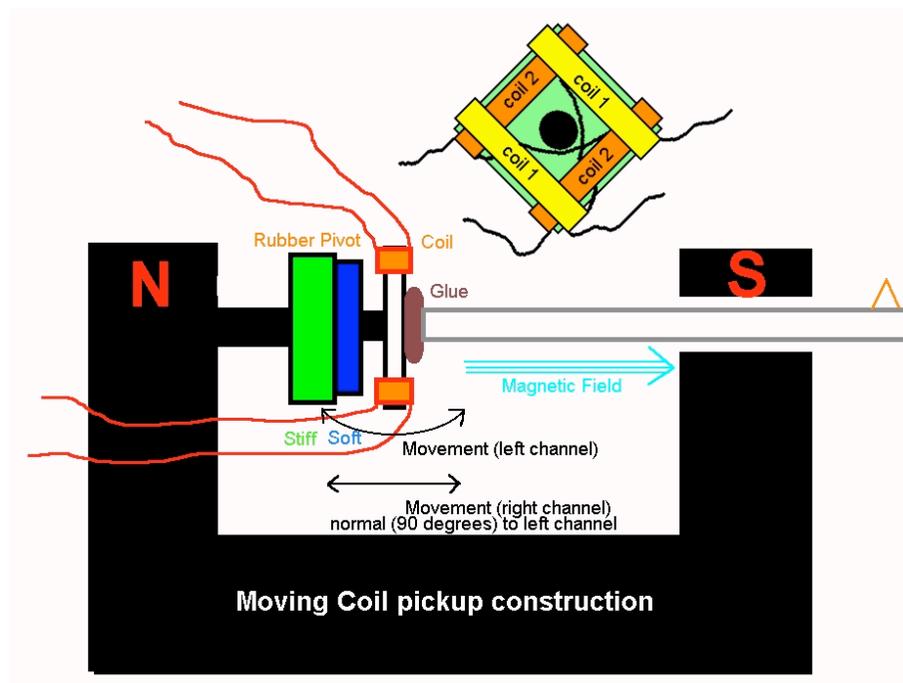


• Coils arranged for stereo reproduction



Fonorivelatori a bobina mobile (MC)

In questi fonorivelatori sono gli avvolgimenti ad essere solidali con lo stilo mentre il magnete è fissato al corpo principale. La minore massa in movimento permette un riproduzione più accurata ma la tensione generata è molto più debole e necessita di un ulteriore stadio di amplificazione (il **pre-pre phono**) realizzato talvolta mediante un trasformatore di adattamento.



Geometria dei bracci ed errore di Tracking

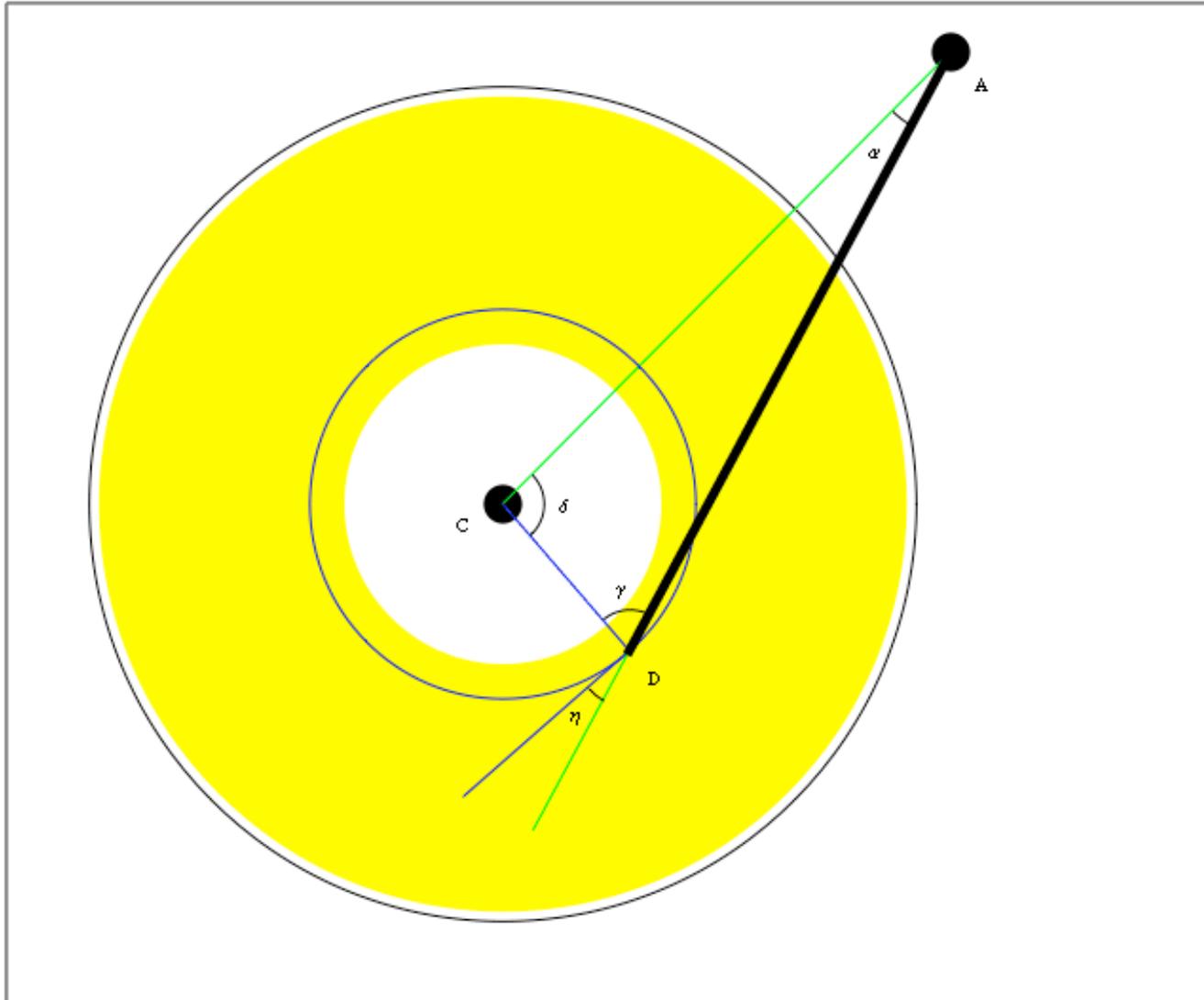
Prendiamo dapprima in considerazione un giradischi con braccio dritto e testina allineata al braccio, sembra strano, ma ne fanno ancora per uso discoteca.



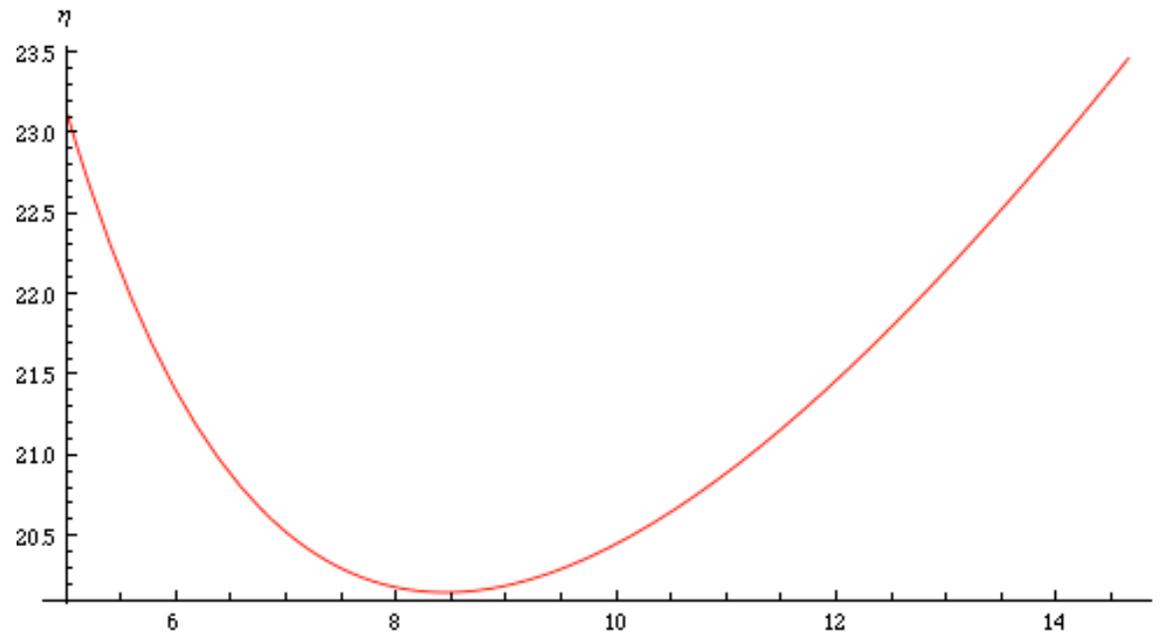
Un giradischi da discoteca con braccio dritto.

Vediamo lo schema geometrico di un giradischi di questo tipo. Si individuano le seguenti grandezze:

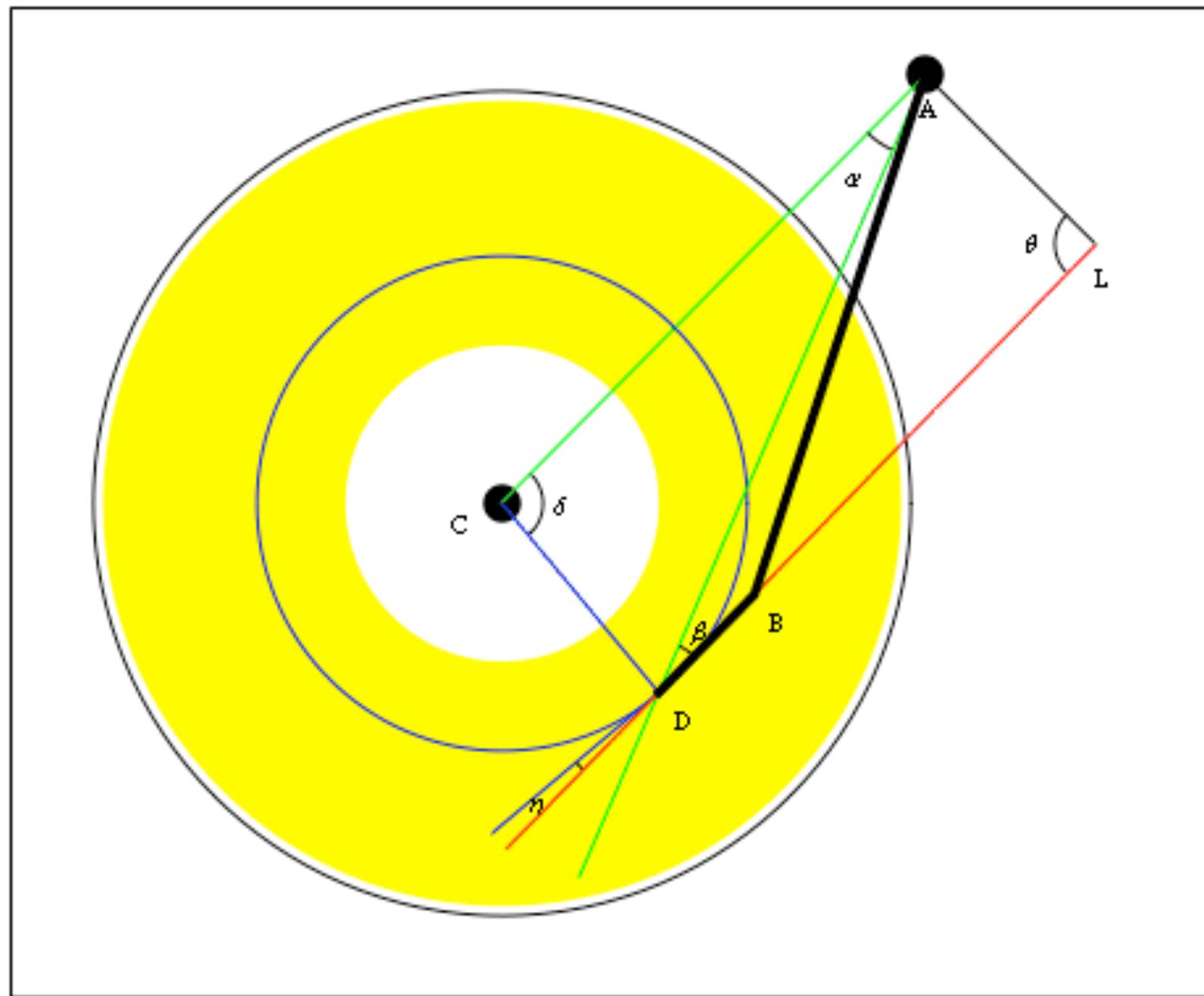
- la **lunghezza effettiva** l ovvero la distanza tra il perno del braccio A e la puntina D;
- la distanza p tra il perno del braccio A e il perno del piatto C;
- il cosiddetto **overhang** che è la differenza $le - p$ (di solito positiva);
- l'**errore di tracking** che l'angolo η tra l'asse della testina, e la tangente al solco;
- la distanza d tra la puntina D e il perno del piatto C.



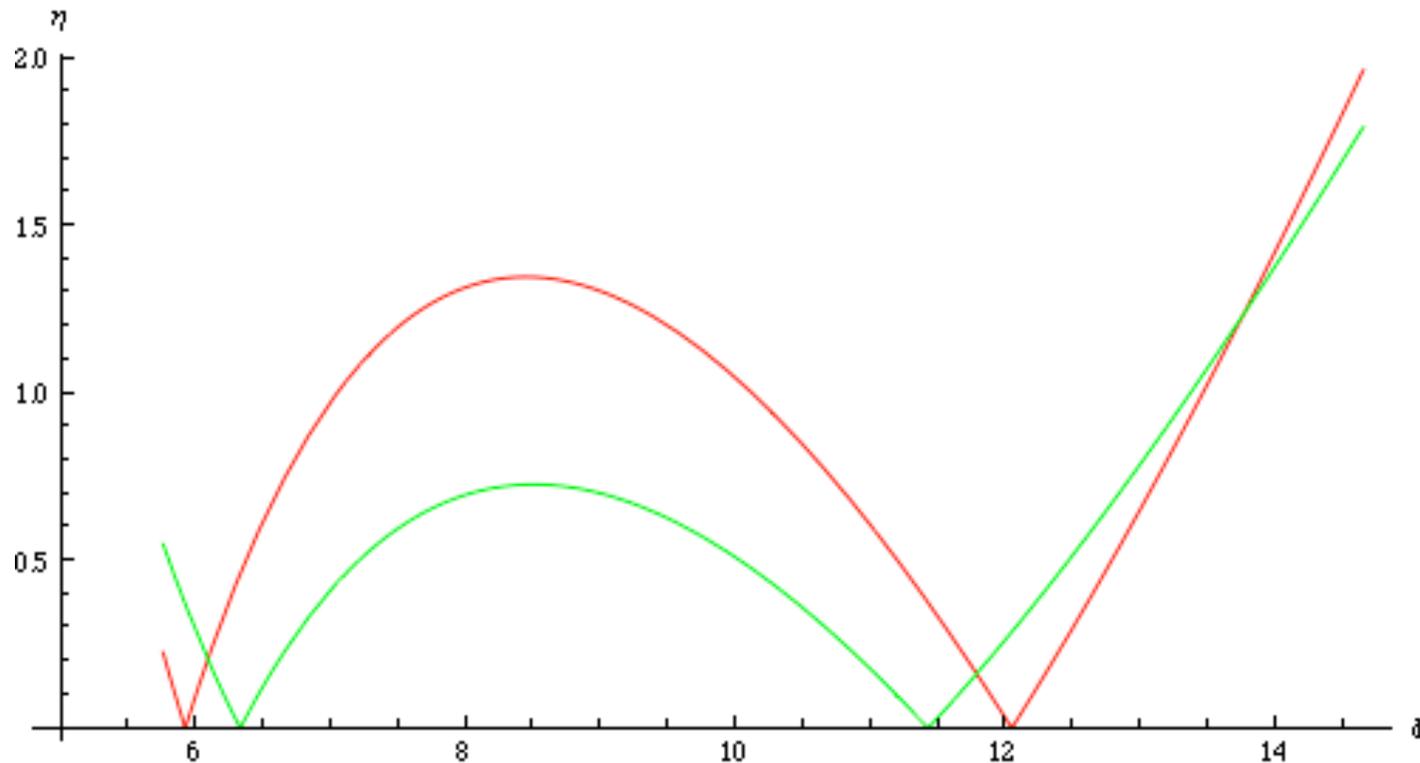
È facile calcolare con la trigonometria a quanto ammonta l'errore di tracking. Vediamone il grafico in funzione della distanza d dal centro del piatto, per $p=230$ mm, $l=245$ mm.



Il fatto che questo errore sia **sempre** positivo suggerisce di disallineare la testina rispetto al braccio di un angolo β detto angolo di offset. Lo schema del giradischi diviene quello di **seguinte**, e l'errore di tracking si riduce esattamente di β gradi assumendo valori negativi.

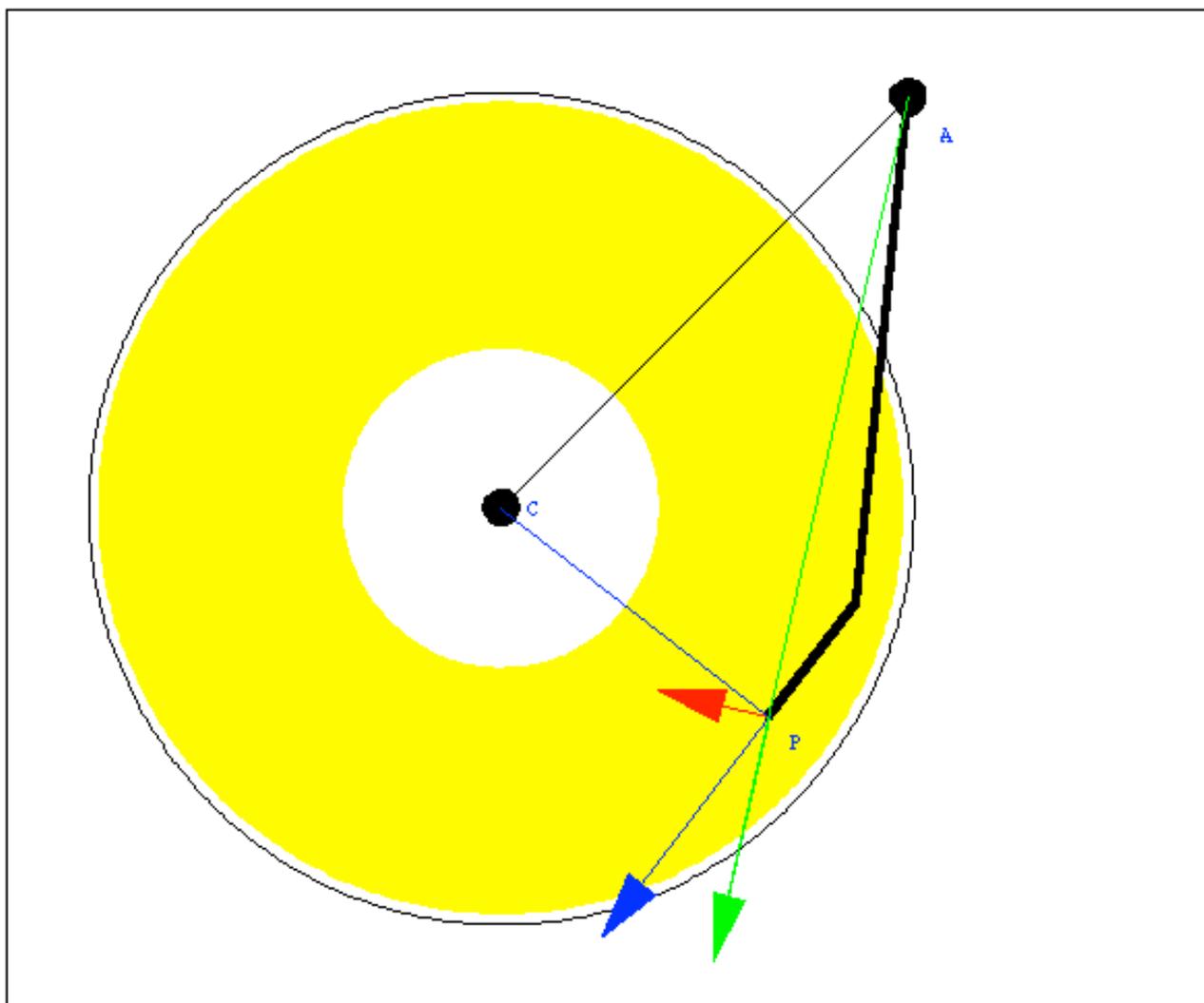


Ecco il valore assoluto dell'errore di tracking per due bracci Fidelity Research. Si vede che in questo modo il massimo errore è passato da oltre 23 gradi a poco più di 2 per il braccio corto, i risultati sono ancora migliori per il braccio lungo.



Fin qui tutto chiaro, la situazione si complica clamorosamente quando si passa a considerare il problema dello skating (in Italiano pattinamento) e la sua soluzione (antiskating). Se possiamo la puntina su un disco liscio (io uso la sesta facciata della messa in Si Minore di Bach, che nella esecuzione di Harnoncourt non è incisa) e avviamo il giradischi SENZA antiskating inserito, il braccio scorre verso il centro del disco. Se si inserisce l'antiskating il braccio torna

indietro e trova un punto di equilibrio stabile verso il centro del disco. La ragione è che esiste una forza che tende a spostare il braccio dalla sua posizione.



Esemplificazione della forza di skating. In blu si vede il vettore della forza di attrito radente a cui si oppone la reazione del vincolo (il perno del braccio). Questa forza si scompone in una componente (in verde) che è annullata dal **vincolo** e in una componente (in rosso) che tende a far ruotare il braccio attorno al perno, spingendolo verso il centro del disco. NB l'angolo ACP non è un angolo retto.

Analizzando la figura si possono fare le seguenti osservazioni

- Il moto del disco causa una forza di attrito sulla puntina che agisce nella direzione del moto (vettore blu tangente al solco nel punto di contatto).
- Il braccio può solo ruotare intorno al suo perno, la forza blu va quindi scomposta in una componente (in verde) che viene annullata dalla reazione vincolare e in una componente (in rosso) che rappresenta la forza di skating.
- Lo stesso risultato si ottiene osservando che siccome il prolungamento della direzione della forza di attrito non passa per il perno del braccio si crea un momento torcente proporzionale alla forza stessa e alla distanza del perno del braccio dal prolungamento della direzione della forza
- Per tutti i bracci con overhang positivo (la totalità dei bracci reali non tangenziali) la forza di skating è sempre diretta verso il centro del solco.
- **In prima approssimazione l'angolo di offset e l'errore di tracking non hanno nessuna relazione con la forza di skating.**
- Con un po' di trigonometria si vede che la componente di skating (in rosso) è pari alla forza di attrito moltiplicata per il coseno dell'angolo **CPA**.
- Ad essere pignoli bisognerebbe tenere conto anche del fatto che il solco non è circolare ma a spirale e (in assenza di skating o con skating equilibrato) il bordo esterno spinge comunque il braccio verso il centro del disco.

Concludiamo riassumendo un po' di fatti e di ipotesi a proposito della geometria del braccio

- È un fatto che geometricamente un braccio è definito completamente da soli tre parametri: la lunghezza effettiva, l'overhang e l'angolo di offset.
- È un fatto che bracci più lunghi hanno un minore errore di tracking.
- È un fatto che tutti i bracci con overhang positivo sono soggetti ad una forza di skating diretta verso il centro e proporzionale al peso di lettura.
- È probabile che in realtà la forza di skating dipenda anche dalla forma della puntina, dalla modulazione del solco, dalla cedevolezza verticale e orizzontale della sospensione, dal VTA (Vertical Tracking Angle) e dall'offset e chi più ne ha più ne metta, ma non è facile trovare relazioni semplici per queste dipendenze.

L'amplificatore

L'invenzione del triodo (**Lee de Forest 1907**) rese possibile l'amplificazione di segnali elettrici e dette praticamente inizio all'**elettronica**. Un **amplificatore** ha lo scopo di elevare i segnali a livello di linea (da qualche millivolt a pochi volt) ad un livello di tensione e di potenza sufficiente a pilotare i **sistemi di altoparlanti**.

Per comprendere il funzionamento di un amplificatore è necessario introdurre alcuni concetti base di elettronica.

Un **segnale elettrico** si presenta come una **differenza di potenziale V** tra due conduttori, se i due conduttori sono connessi da una **resistenza R** nella resistenza scorre un **corrente I** per cui vale la legge di **Ohm**

$$V = I R$$

Il prodotto **$P = V I$** dà la **potenza** dissipata sulla resistenza e l'integrale di P nel tempo l'**energia** prodotta.

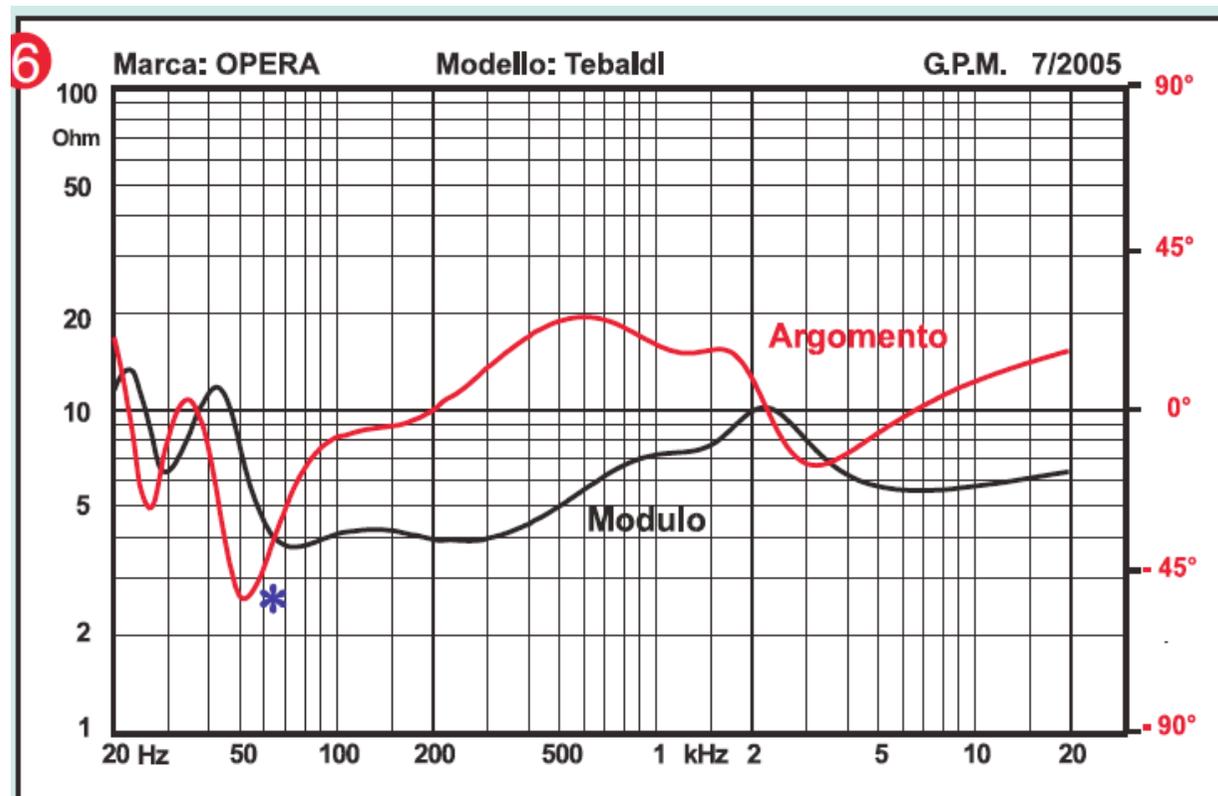
Tanto per intenderci una tensione di **220 V** chiusa su una resistenza di **110 Ohm** fa scorrere una corrente di **2 Ampere** per una dissipazione di **440 Watt** (una piccola stufa). Dopo un'ora il contatore ci ha addebitato **440 Wattora** di energia.

Potrebbe sembrare che abbassando la resistenza si possa aumentare a piacere la corrente e quindi la potenza, questo in parte è vero (questa è la ragione perché un corto circuito, ovvero una resistenza di chiusura molto bassa, può incendiare una casa); bisogna però tenere conto

della resistenza interna del generatore che impedisce di estrarre dal medesimo una corrente a piacere (*in altre parole con una pila a stilo non si può far andare un carro armato da 10 tonnellate*).

Con segnali rapidamente variabili la cosa si complica in quanto alla resistenza bisogna sostituire l'**impedenza** che tiene conto sia della resistenza che dell'**induttanza** e della **capacità** del carico. L'impedenza è una grandezza **complessa** (nel senso dell'analisi matematica) ed è anche una grandezza **complicata** (nel senso che è un gran casino lavorarci).

Quando si parla di casse da **4 Ohm** o da **8 Ohm** si fa una semplificazione brutale in quanto l'impedenza (in modulo e fase) dipende dalla frequenza.



La potenza che un amplificatore riesce a trasferire al sistema di altoparlanti dipende quindi sia dall'impedenza interna dell'amplificatore che dall'impedenza di carico del sistema di altoparlanti.

La capacità di un amplificatore di fornire potenza viene di solito misurata come la potenza media che questo è in grado di dissipare su una resistenza di **8 Ohm** per un tempo indefinito (*ovvero si trattano le casse come fossero una stufa*).

Come abbiamo visto però l'impedenza delle casse non è costante e i segnali musicali sono rapidamente variabili e raramente chiede all'amplificatore la massima potenza. La misura di potenza impulsiva studia la capacità dell'amplificatore di fornire potenza per quei pochi millisecondi che tipicamente formano un picco di un programma musicale.

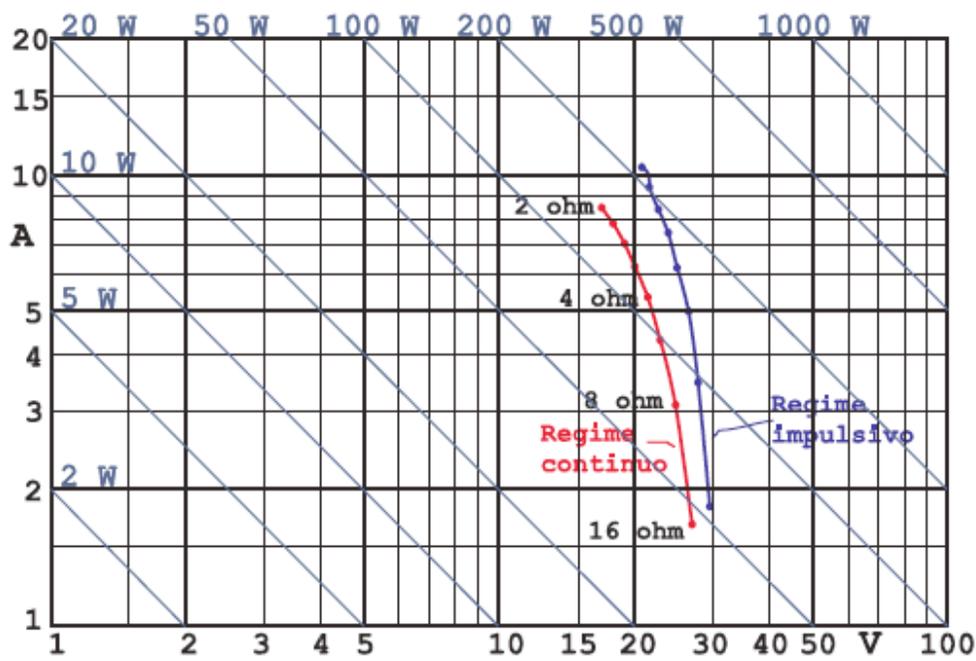
Una misura che chiarisce in modo pressoché completo la potenza di un ampli. fornendo anche un'idea abbastanza chiara di come è fatto dentro. è la **Caratteristica di Carico Limite** che mostra nel piano **tensione-corrente** la potenza continua e impulsiva fornita dalla ampli per vari valori del carico. In ascissa abbiamo la tensione in ordinata la corrente, le rette diagonali blu rappresentano la curve di pari potenza, (sono rette perché la scala è doppio logaritmica, altrimenti sarebbero iperboli).



Caratteristica
di carico
limite

Rotel
RB-06

Data: 8/06
Firma: F.M.



	8 ohm	POTENZA	4 ohm	PUNTI DI PROVA (OHM)
CONT.	76.5+75.1 W		115.1+112.8 W	2.0, 2.3, 2.7, 3.2
IMP.	96.4+96.5 W		155.4+155.4 W	4.0, 5.3, 8.0, 16.0

Il rumore

La **temperatura** è la misura dell'energia media degli atomi di un corpo. Lo **Zero Assoluto** vale circa **-273 gradi centigradi**, è teoricamente irraggiungibile e rappresenta la temperatura alla quale l'energia termica è nulla.

A qualunque altra temperatura gli elettroni si agitano causando un rumore **ineliminabile** detto **rumore termico**. Quel fruscio che si sentiva tra una stazione e l'altra in una vecchia radio AM è il rumore termico dell'antenna e della discesa, amplificato dal **controllo automatico di volume** che cerca di far sentire una stazione che non c'è.

La rappresentazione del rumore termico è statisticamente una gaussiana a valore medio nullo derivante dai contributi elementari indipendenti delle singole particelle mosse dall'agitazione termica. Ai capi di una resistenza al quale non è applicata alcuna tensione si presenta una tensione di rumore variabile nel tempo che dipende dalla temperatura assoluta T .

Sperimentalmente, un resistore a circuito aperto presenta una tensione di rumore di cui si può calcolare statisticamente il valore quadratico medio:

$$V_{eff}^2 = 4 kT R \Delta f$$

dove k è la costante di **Boltzmann**, T è la temperatura in gradi **Kelvin** e Δf è la banda di frequenza di osservazione. La potenza di rumore massima che un resistore può erogare non dipende dalla resistenza ma solo dalla temperatura, come descrive la formula di **Nyquist**:

$$P = \frac{V_{eff}^2}{4R} = kT \Delta f$$

Nelle formule sopra riportate il rumore termico tende all'infinito all'aumentare della banda Δf in contraddizione con l'esperienza. Questo perché nei resistori reali vi è sempre una capacità parassita in parallelo che limita la banda passante.

Amplificatori a valvole

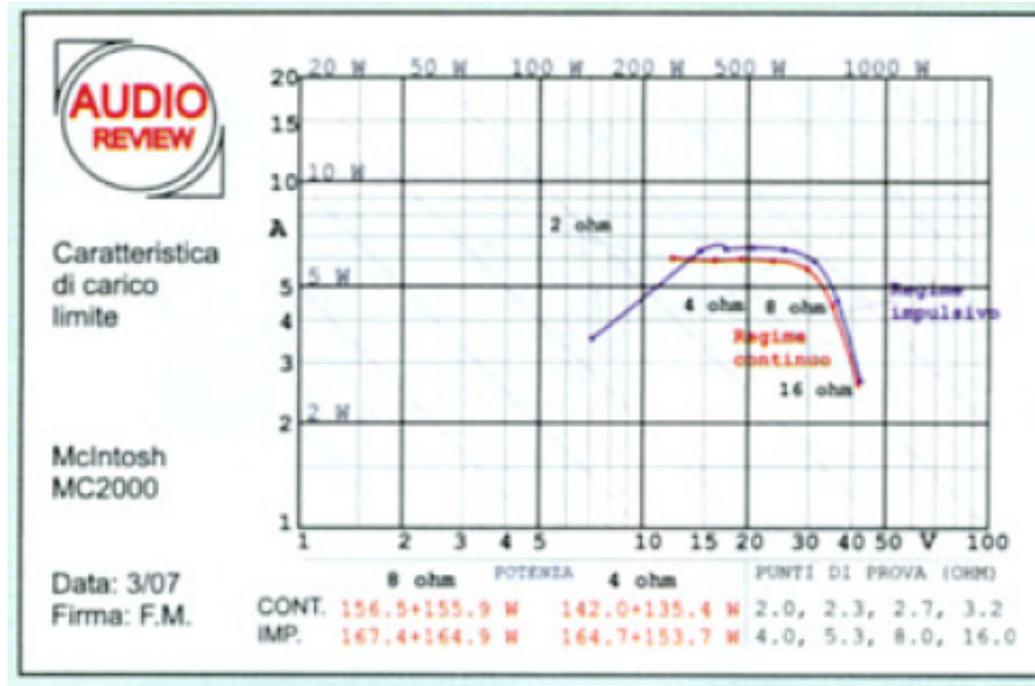
Rappresentano la storia dell'alta fedeltà. A causa della alta impedenza di uscita delle valvole è praticamente obbligatorio (tranne rare eccezioni) usare un trasformatore di uscita che rappresenta un componente critico e, se ben fatto, costoso.



In genere gli amplificatori a valvole hanno difficoltà a pilotare i carichi difficili e la loro distorsione è abbastanza alta.

Per molti appassionati però gli amplificatori a valvole sono l'unica soluzione valida per un ascolto di qualità.

Nella figura vediamo la CCL di un amplificatore a valvole di particolare pregio.



Amplificatori a stato solido

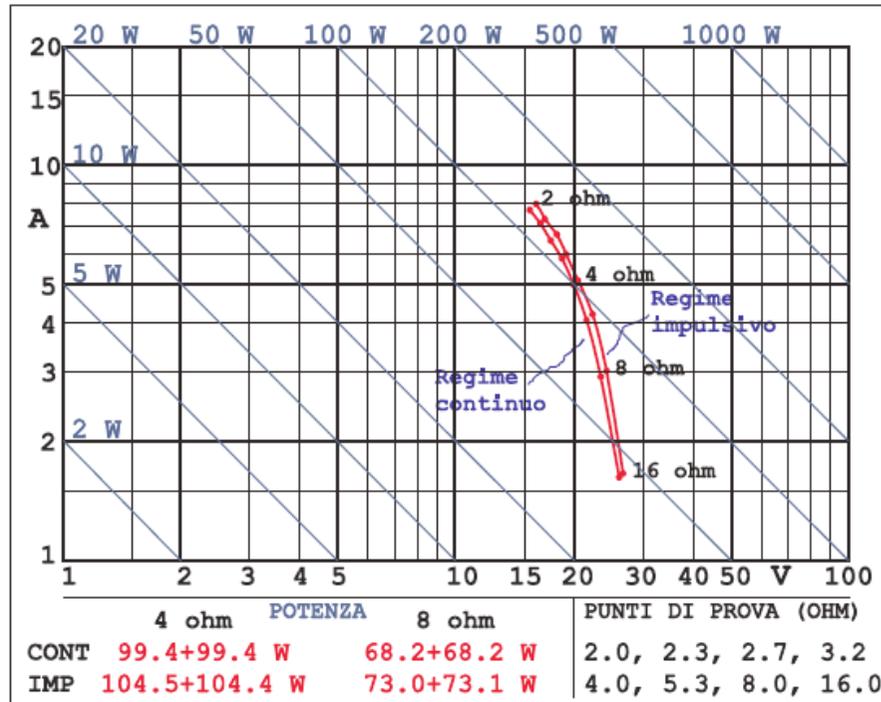
L'uso dei transistori permette di costruire amplificatori di grande potenza con ottime caratteristiche elettriche ad un costo inferiore a quello di amplificatori a valvole di potenza paragonabile



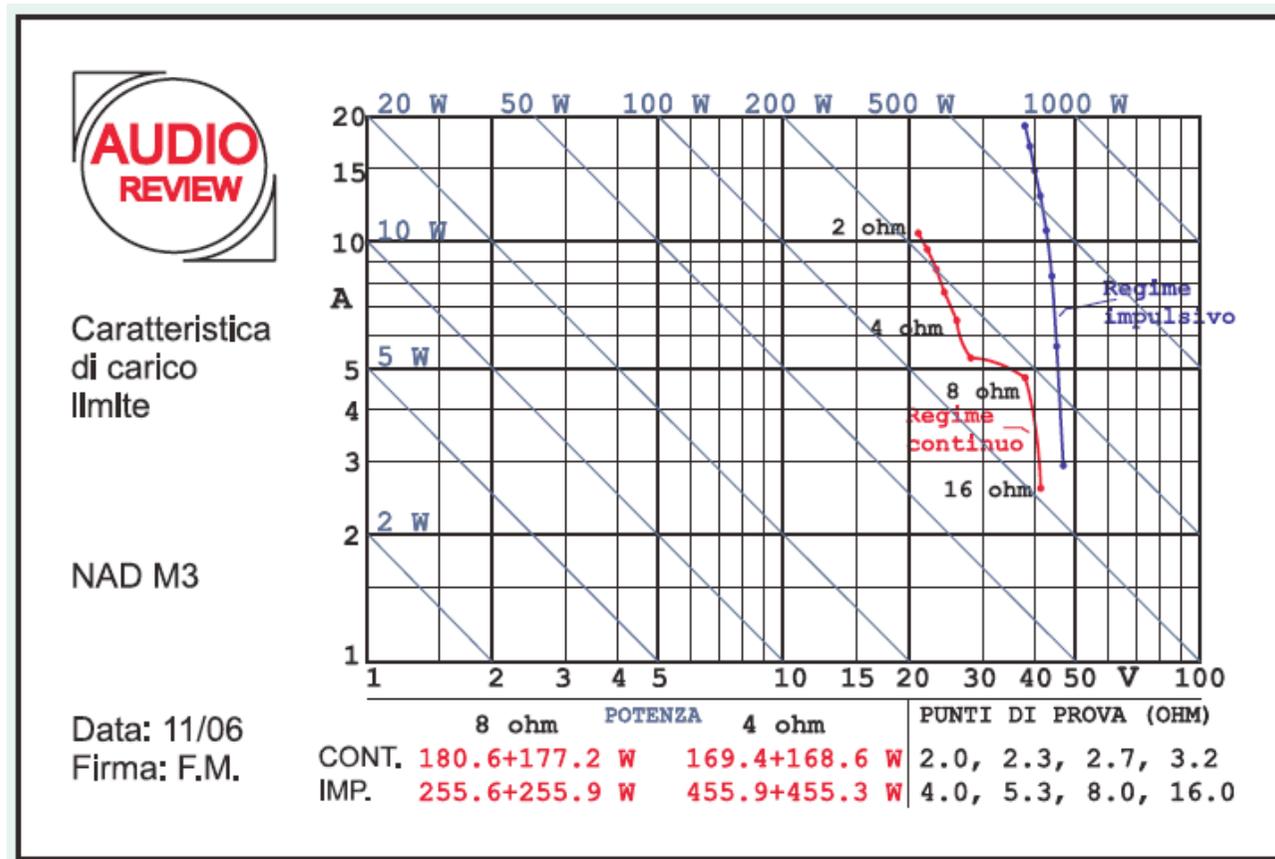
Caratteristica
di carico
limite

Denon
PMA-SA1

Data: 7/2005
Firma: F.M.



Talvolta si preferisce privilegiare la potenza impulsiva ottenendo amplificatori non troppo costosi dotati di grande possibilità di pilotaggio con segnali musicali.



Il sistema di altoparlanti

Il compito di un sistema di altoparlanti è quello di trasformare il segnale elettrico in uscita dall'amplificatore di potenza in suono, mettendo in movimento la giusta quantità di aria. Si tratta quindi di un trasduttore come i microfoni e i fonorivelatori, con la differenza che le potenze in gioco sono elevate (decine di **Watt** invece che pochi **milliWatt**) e la trasformazione avviene in senso inverso.

Una caratteristica fondamentale dei sistema di altoparlanti è che le dimensioni devono essere paragonabili alla lunghezza d'onda delle frequenze in gioco, che variano dalla decina di metri per i bassi a pochi centimetri per le frequenze acute. Questo spiega perché sia difficile fare buone casse con un solo trasduttore (per questo si parla di *sistemi*) e perché gli altoparlanti per i bassi siano tanto più grandi di quelli per gli acuti.

Un parametro di grande importanza è l'efficienza definita con il numero di Watt necessari per produrre una certa pressione sonora ad una certa distanza. Per esempio un sistema con **90 dB/1W/1m** di efficienza con **1 Watt** produce **90 dB SPL** (*Sound Pressure Level*) ad un metro di distanza.

NB. La pressione misurata in campo aperto è diversa (minore) da quella misurata in ambiente dove bisogna tenere conto delle riflessioni sulle pareti.

Altoparlanti dinamici

Gli **altoparlanti dinamici** consistono in una bobina percorsa da corrente che si muove in un campo magnetico connessa rigidamente ad una membrana sospesa elasticamente in modo da muovere aria in modo proporzionale al passaggio di corrente. Di solito un sistema dinamico monta da due a quattro altoparlanti (ma vi sono casi in cui vi è un solo trasduttore o molti di più). L'altoparlante dei bassi viene chiamato **woofer**, quello dei medi **midrange** e quello degli acuti **tweeter**.



Le frequenze da riprodurre vengono divise da un filtro (tipicamente passivo detto **crossover**) in un certo numero di gamme dette vie ognuna della quali viene riprodotta da uno o più altoparlanti di dimensione adeguata. Le possibili scelte progettuali sono pressoché infinite qui ci limitiamo a citare tre casi.

- I **sistemi passivi** in cui il crossover è una rete RCL inserita tra i morsetti e gli altoparlanti e si usa un solo ampli per canale.
- I sistemi multiamplificati in cui il **crossover** è **elettronico** e messo prima dell'amplificazione e bisogna usare un amplificatore per ogni via.
- I **sistemi attivi** in cui crossover elettronico e amplificazione dedicata sono all'interno della cassa permettendo una accurata ottimizzazione del tutto.

Sistemi elettrostatici

I sistemi elettrostatici consistono in una membrana conduttiva molto leggera sospesa tra le armature di un condensatore. In questo caso la membrana è sollecitata in ogni suo punto con il risultato di una minore distorsione a spese di una scarsa efficienza. I sistemi elettrostatici sono adatti a un appartamento ma non certo a sonorizzare un cinema o una discoteca e in ogni caso richiedono potenze elevate.



Il problema dell'interazione con l'ambiente

In realtà quello che suona non è il sistema di altoparlanti ma il **sistema altoparlanti-stanza** ed è impossibile ottenere buoni risultati se non si ottimizza la combinazione. Se si pone un altoparlante in aria libera la membrana emette in entrambe le direzioni (anteriore e posteriore) e se la cosa non avviene per scelta progettuale (e conseguente inserimento in ambiente accuratamente studiato) si ottengono risultati disastrosi. Vediamo alcune tecniche per risolvere questo problema.

- **Baffle infinito**

La soluzione più semplice è quella di “uccidere” la radiazione posteriore inserendo l'altoparlante a filo in una parete oppure in una cassa di grandi dimensioni.



- **Caricamento a tromba**

L'adattamento membrana-ambiente viene ottenuto con un condotto a forma di tromba (la forma esatta va determinata con sofisticati modelli matematici) che aumenta l'efficienza e la direzionalità. Le trombe per le frequenze basse sono di grandi dimensioni e possono essere realizzate in legno o, addirittura, in muratura. I sistemi a tromba richiedono amplificatori meno potenti e sono molto indicati per sonorizzare grandi spazi (cinema, teatri, stadi, ecc.). In ambiente domestico possono rappresentare la soluzione ideale solo se progettati con cura e installati a regola d'arte.



- **Caricamento bass-reflex**

Se nella cassa si pratica un foro con un tubo di accordo di dimensioni corrette si può trasformare l'emissione posteriore in una emissione anteriore con la fase corretta per rinforzare il suono. Nella figura si vede un sistema di grande prestigio (**Altec 19**) che presenta una tromba per gli acuti e un caricamento bass-reflex per i bassi.



- **Sospensione pneumatica**

Prima della diffusione dei computer non era semplice calcolare esattamente le dimensioni del tubo d'accordo che spesso veniva tarato ad orecchio. Una tecnica di progettazione meno efficiente del **bass-reflex** ma di grande pulizia sonora era la tecnica della sospensione pneumatica in cui la cassa era a tenuta stagna e l'aria in essa contenuta fungeva da molla di ristoro dei coni. Le **AR 3a** che vediamo in figura rappresentavano un dei modelli di prestigio più facilmente inseribile in un ambiente domestico.

