



Capitolo N°10

Tratto dal libro:

"50 anni di attività con la tecnica della
registrazione e riproduzione analogica"

[INDICE](#) del libro

SPECIALE PROBLEMATICA PER LA LETTURA DEL DISCO

Wolfgang Wegner (TFK)

Trad. e riv. da Edgardo Magnaghi

Il principio meccanico del metodo di lettura con puntina comporta particolari problemi di esplorazione e rilevamento. In primo luogo la loro descrizione risulta impegnativa a causa di elementi geometrici che richiedono una buona preparazione tecnica. In questa relazione saranno trattate e discusse: la forma del solco, la diafonia (separazione), l'errore dell'angolo apertura puntina, l'effetto pinza e la distorsione della traccia quando si presenta il fenomeno di risonanza.

La registrazione e la riproduzione del suono con il metodo della puntina si basa fondamentalmente sul seguente principio: uno spillo affilato incide, in una speciale lamina rotante, un solco a forma di spirale con incluso un movimento ad angolo retto rispetto il senso di rotazione, che corrisponde a vibrazioni acustiche trasmesse da un trasduttore elettromeccanico. Perciò il solco viene inciso con una modulazione a forma d'onda nella quale sarà più tardi costretta a muoversi, in modo analogo, la puntina per la riproduzione del disco. Quest'ultima, accoppiata ad un successivo trasduttore elettromeccanico, fornirà ai terminali d'uscita dello stesso una rigenerata tensione elettrica oscillante che, sufficientemente amplificata, sarà in grado di alimentare uno o più altoparlanti.

I processi di incisione e rilevamento sono quindi eguali, tuttavia essi sono la principale causa del sorgere di problemi di natura geometrica e di dinamicità meccanica. Questi problemi, unitamente al compito svolto dal sistema fonorivelatore e dal relativo braccio di supporto, saranno di seguito esaminati ed illustrati nel modo più comprensibile.

Problemi geometrici

1.1 Linea guida d'incisione e correzione delle distorsioni

La velocità " v " è la velocità di oscillazione con la quale agiscono lo spillo d'incisione e successivamente la puntina. Essa corrisponde alla oscillazione del suono conformemente alle variazioni della pressione acustica necessaria per il funzionamento del microfono. Il valore massimo della vibrazione acustica è prodotto dell'ampiezza " a " per la frequenza " f " secondo la seguente equazione:

$$v = \omega \cdot a = 2 \pi f \cdot a \quad (1)$$

Da questo si può osservare che, con le basse frequenze, l'ampiezza (determinata dallo spillo d'incisione), e quindi lo spazio occorrente sul disco (Fig.1), è molto grande e sarebbe causa di una forte riduzione della durata dell'audizione. Le frequenze alte rendono invece l'ampiezza così piccola da venire subissata dal fruscio del disco (causato dalla granulosità del materiale di cui è fatto). Per questi motivi si deve perciò elevare l'ampiezza nella registrazione delle alte frequenze percettibili dall'udito e ridurre l'ampiezza delle basse frequenze pure percettibili.

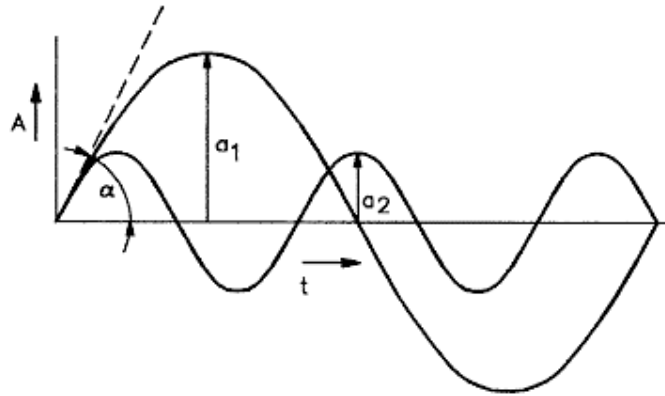
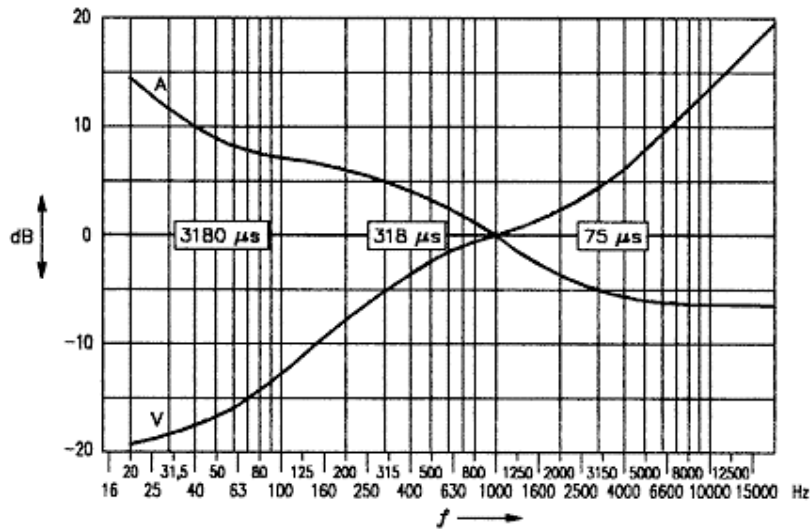


Fig. 1. Due oscillazioni sinusoidali con medesima velocità (corrispondente a medesima ripidezza $\tan \alpha$ dalla linea zero) ma con differente frequenza, hanno differente Ampiezza.

L'attenuazione dell'ampiezza, in modo proporzionale al fruscio, è tuttavia possibile sino a un certo limite cioè sino a quando il segnale della modulazione utile risulta talmente basso da non poter essere amplificato. In questo modo si ottiene una risposta della frequenza di registrazione deformata denominata linea guida d'incisione (Fig.2). Essa dovrà essere più tardi nuovamente corretta mediante il sistema fonorivelatore oppure nell'amplificatore. Ogni disco però deve poter essere ascoltato su tutti gli apparecchi riproduttori per cui si è dovuto stabilire uno standard internazionale per l'andamento della linea guida d'incisione e, come costante di tempo, per l'aumento delle alte si è stabilito $75\mu s$, per la riduzione delle basse $318\mu s$ e per la limitazione $3180\mu s$.

1.2. Solco stereo

Con un solo canale, ovvero con la registrazione monofonica, lo spillo d'incisione si muove solo in direzione laterale (scrittura laterale). Con i due canali, ovvero con la registrazione stereofonica, viene utilizzata anche una componente di profondità, più precisamente la direzione della registrazione risulta, per entrambi i canali, inclinata di 45° rispettivamente verso sinistra e verso destra; gli stessi canali risultano perciò contrapposti ad angolo retto (Fig.3). Per questo motivo è così possibile esplorare il solco con una unica puntina e lo stesso ricevere due informazioni indipendenti l'una dall'altra su due distinti trasduttori la cui direzione di sensibilità si trova egualmente contrapposta in modo ortogonale.



A Ampiezza di oscillazione
 V Velocità di oscillazione

Fig. 2. Linea guida d'incisione dei dischi secondo IEC 60098/87 (3180/318/75 μ s)

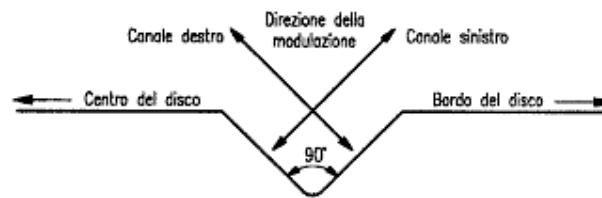


Fig. 3. Sezione trasversale del solco di un disco stereo secondo il metodo 45°/45°

1.3. Inclinazione dei lati e diafonia

Che il tasteggio agisca esattamente ad angolo retto è dunque di importanza determinante per una netta separazione dei canali. La sensibilità minima del fonorivelatore di un canale deve trovarsi esattamente perpendicolare alla direzione della modulazione dell'altro canale. Se si indica con "a" la deviazione angolare da detta ortogonalità, si può ottenere la risultante attenuazione della diafonia (perturbazione indotta) "U" rispetto la presupposta ideale dei fonorivelatori ($U = \infty$) determinata da:

$$U = 20 \cdot \log (\cot \alpha) \text{ in dB.} \quad (2)$$

Il peggioramento risulta evidente nella curva rappresentata in Fig.4 con un semplice esempio. Una diafonia di 29 dB per la posizione di un fonorivelatore con deviazione angolare di 2°.

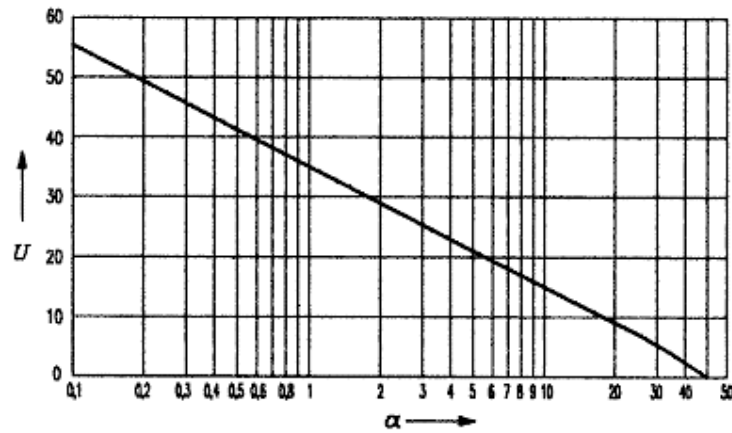


Fig. 4. Influenza della deviazione angolare α di un lato nella attenuazione della diafonia U di un fonorivelatore ideale

1.4. Distorsione per errori angolari (tracking distortion)

Per un fedele tasteggio del disco, come precedentemente discusso, è quindi necessario che l'oscillazione della puntina avvenga di fatto allo stesso modo dello spillo d'incisione e cioè su un piano disposto ortogonalmente alla direzione longitudinale del solco. Questa caratteristica era il presupposto fondamentale nella progettazione dei sistemi fonorivelatori e dei relativi bracci; ma era anche una condizione che, per diversi motivi, non si poteva completamente realizzare.

Che effetto può avere una deviazione sull'ortogonalità dei due piani nella fedeltà della riproduzione? In pratica questa deviazione angolare si può distinguere in errore sull'angolo di traccia verticale ed errore sull'angolo di traccia orizzontale, denominato anche errore di tangenza poiché viene allontanata la linea di collegamento tra la puntina e il punto di rotazione della tangente. Le conseguenze sono eguali per entrambi: il tasteggio di un fonorivelatore assume la forma di una curva sinusoidale e se il movimento della puntina avviene con un angolo d'errore "d" rispetto l'ordinata, l'andamento della curva e di conseguenza della tensione d'uscita, varierà in modo obliquo al sistema di coordinate (con l'angolo $(p/2) + d$ tra ascissa e ordinata) (Fig.5). Nasce così una serie di suoni armonici dei quali però è importante solo la seconda armonica (doppia frequenza) poiché le oscillazioni di valore superiore risultano trascurabili. Tutto ciò viene sintetizzato come fattore di distorsione quadratico nella seguente formula:

$$k_2 = \frac{v^{\wedge}}{c} \cdot \tan \delta = \frac{v^{\wedge}}{R \Omega} \cdot \tan \delta \approx \frac{v^{\wedge} \delta}{R \Omega} \quad (3)$$

dove siano: "c" la velocità di scorrimento del solco, "R" il raggio del solco, cioè la distanza dal centro del disco, e $W = 2 \pi n / 60$ la velocità angolare del disco, in cui "n" rappresenta il numero di giri/min-1.

Si può notare che questo fattore di distorsione aumenta rapidamente dove la velocità si fa piccola e nei solchi interni del disco.

Nel tracciato di curva deformata, Fig.5 in basso, è possibile vedere che il movimento della puntina risulta più rapido su un lato rispetto l'altro. Qualora venisse rappresentata una seconda frequenza più alta, essa di conseguenza subirebbe una modulazione con intensità proporzionata alla frequenza di modulazione.

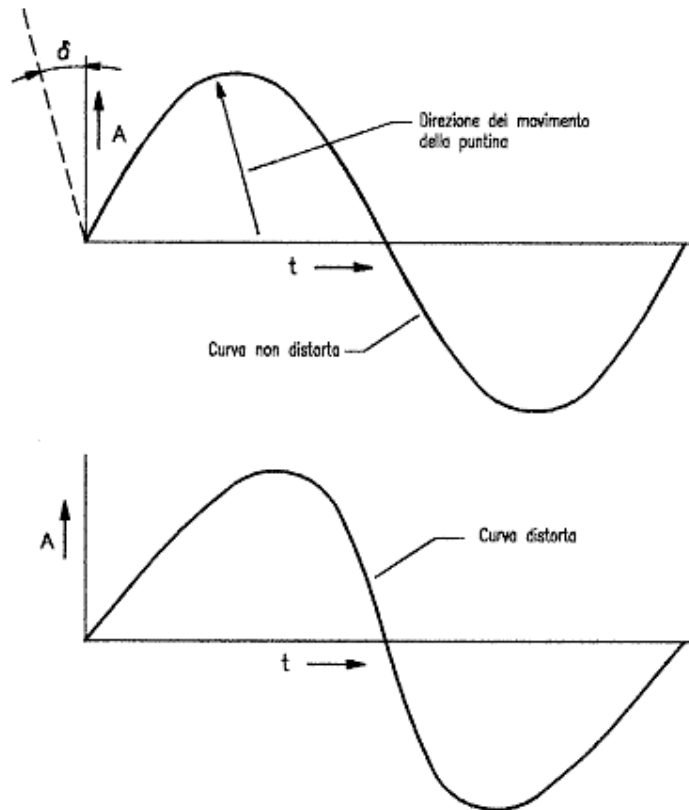


Fig. 5. Distorsione della traccia a causa di errore angolare δ

1.5. Distorsione della traccia (tracking distortion)

Questa distorsione nasce dal fatto che il solco viene inciso sul disco con un utensile a spigoli taglienti e deve essere susseguentemente esplorato con una puntina la cui estremità è sferoidale (Fig. 6). A causa di questa differenza geometrica, il centro di questa sfera non descrive esattamente la curva incisa in precedenza dall'utensile tagliente. La sua reale configurazione di movimento si manifesta con lo scandaglio di scrittura durante lo scorrimento della sfera sulla sinusoide (Fig. 7), definita mediante un fattore di distorsione quadratico

$$k_{2v} = \pi \cdot \frac{r f v_v}{c^2} = \pi \cdot \frac{r f v_v}{R^2 \Omega^2} \quad (4)$$

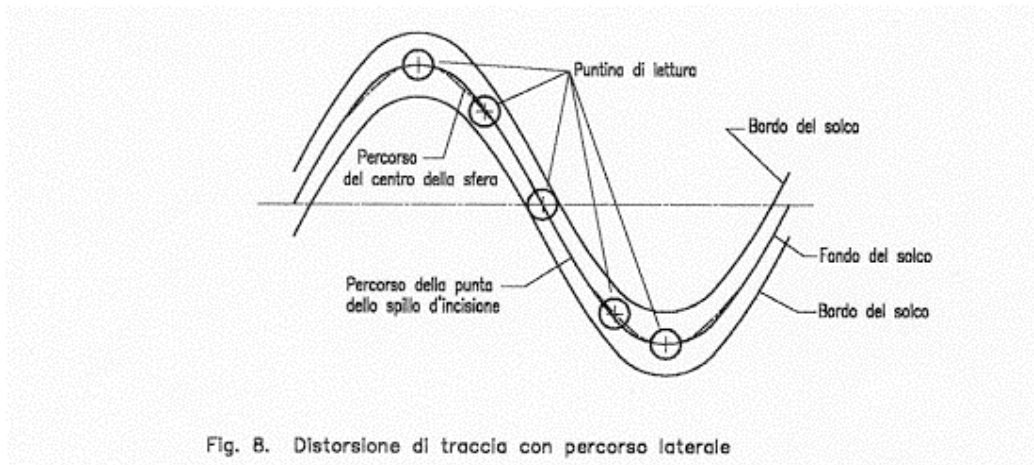
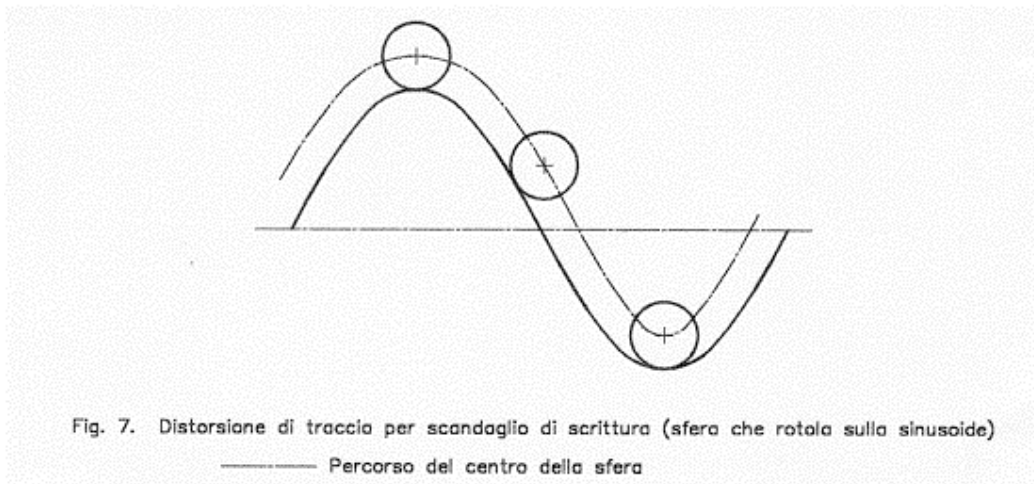
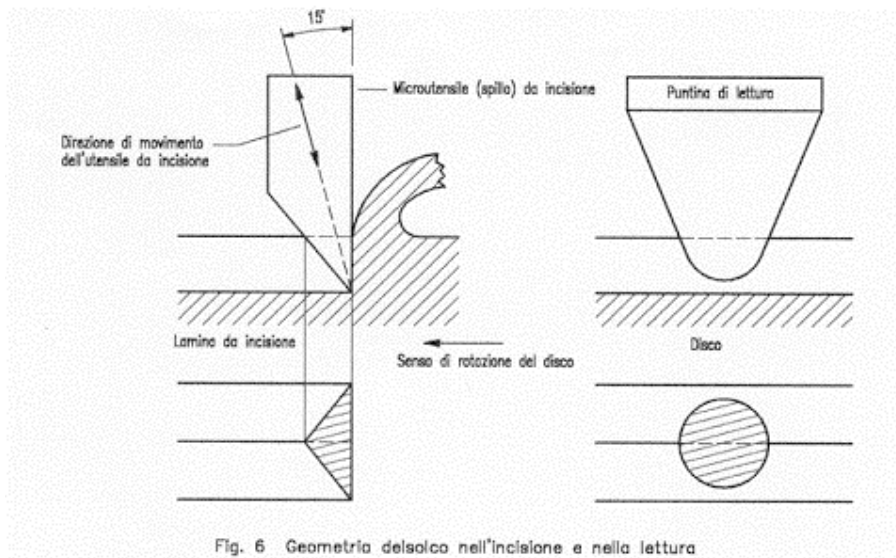
e un fattore di distorsione cubico

$$k_{3v} = \frac{3}{2} \pi^2 \cdot \frac{r^2 f^2 v^2}{c^4} = \frac{3}{2} \pi^2 \cdot \frac{r^2 f^2 v^2}{R^4 \Omega^4} \quad (5)$$

dove "r" rappresenta il raggio di arrotondamento della puntina di lettura determinante il percorso laterale (Fig. 8) che è definito dal fattore di distorsione quadratico e che diventa fattore di distorsione cubico in :

$$k_{3h} = \frac{3}{4} \pi^2 \cdot \frac{r^2 f^2 v_h^2}{c^4} = \frac{3}{4} \pi^2 \cdot \frac{r^2 f^2 v_h^2}{R^4 \Omega^4} \quad (6)$$

Gli indici "v" e "h" indicano in questa occasione le componenti cinetiche rispettivamente verticale e orizzontale. Per ragioni di completezza, come già spiegato, nel fattore di distorsione quadratico sono considerate di importanza minore, eccetto la 2a armonica, ulteriori armoniche di numero pari e nel fattore di distorsione cubico, eccetto la 3a armonica, ulteriori armoniche di numero dispari.



1.6. Distorsione per effetto pinza (pinch effect)

Oltre al problema precedente, la particolare forma dell'utensile da incisione comporta il problema che il solco normalmente in un percorso laterale, certamente di profondità costante, risulta però di larghezza oscillante, in modo che le pareti del solco stesso non presentano dappertutto il medesimo angolo contrapposto (Fig. 9). Il movimento della puntina a forma sferica sarà, per questo motivo, non solo laterale ma anche verticale e cioè con la frequenza doppia. L'estrapolazione della componente cinetica verticale aggiuntiva della puntina durante il movimento nel percorso laterale del solco, quindi come fattore quadratico di distorsione, si può calcolare con :

$$K_{2v} = \pi \cdot \frac{r f v_h}{c^2} = \pi \cdot \frac{r f v_h}{R^2 \Omega^2} \quad (7)$$

Anche qui appare nuovamente la 2a armonica di numero pari accompagnata da armoniche di valore superiore. Come evidenza questa particolareggiata analisi matematica, anche con le distorsioni di traccia e per effetto pinza, la presenza di due o più singole frequenze, può far emergere, in posizione di fase, una risultante frequenza aggiuntiva come descritto nel caso della distorsione per errore angolare. Nello stesso modo, anche le distorsioni di traccia e per effetto pinza, come risulta evidente nella formula (7), la modulazione diventa più grande quando la velocità diventa più piccola e nei solchi interni del disco.

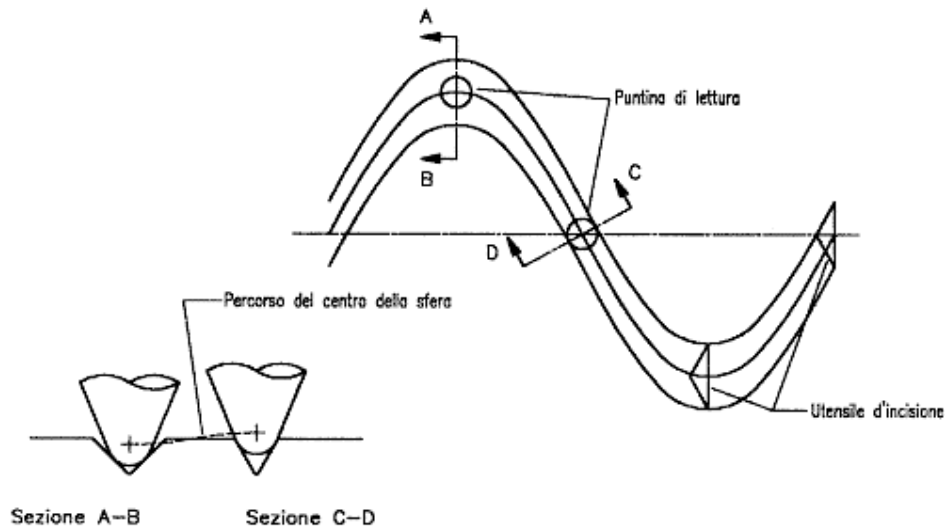


Fig. 9. Distorsione per effetto pinza

1.7. Soppressione della distorsione per errori angolari (errore di tangenza)

Durante l'incisione del disco l'utensile tagliante viene fatto avanzare su un asse radiale verso il centro del disco, in questo modo la sua guida di comando si mantiene sempre nella direzione ortogonale alla tangente del solco. Al contrario il rivelatore di un normale braccio descrive sempre un arco modificando continuamente la sua direzione. Esso può perciò non mantenere sempre la direzione ortogonale alla tangente del solco. Tuttavia, mediante una esperta progettazione del braccio, è possibile tenere l'errore angolare orizzontale di traccia con valore molto piccolo. Negli anni 70, la richiesta del mercato di apparecchi HiFi sempre più perfetti ha convinto alcuni costruttori a realizzare giradischi con il braccio che avanzava radialmente verso il centro del disco, come avviene durante l'incisione, eliminando così completamente l'errore di tangenza. Questi giradischi, comunemente conosciuti come giradischi con braccio tangenziale, erano però molto costosi.

Un altro dato del problema consiste nell'angolo di traccia verticale in quanto il principio dell'incisione del disco stereofonico è basato sulla componente della profondità di traccia realizzata con il minuzioso movimento verticale dello spillo d'incisione. Nessuna puntina di fonorivelatore può però seguire esattamente questa direzione di movimento poiché il proprio asse di rotazione e quindi la propria struttura portante deve essere posizionata sopra la superficie del disco. Risulta invece particolarmente complicata la costruzione dei fonorivelatori magnetici in quanto l'asse di rotazione si trova al centro del magnete, delle espansioni polari che lo circondano e della necessaria sospensione elastica. Si è dovuto quindi unificare la direzione di movimento di utensile e puntina standardizzandolo a 15° di inclinazione verticale (Fig. 6). Questo angolo standard è stato mantenuto o per lo meno avvicinato in tutti gli allora moderni fonorivelatori. Una deviazione inferiore a 5° era considerata accettabile.

L'approssimato angolo verticale, contrariamente all'errore angolare di tangenza, rimane costante su tutta la superficie incisa del disco, non così invece nei cambiadischi dove il piano di lettura varia con l'altezza della pila di dischi. In questo caso sarebbe stato necessario un sistema automatico, mai realizzato, per variare l'inclinazione del fonorivelatore o per adeguare l'altezza del braccio alla pila di dischi.

1.8. Soppressione delle distorsioni di traccia e per effetto pinza

Di norma si sarebbe potuto eliminare completamente queste distorsioni mediante la forma data alla puntina di lettura e allo spillo d'incisione, invece ciò non è avvenuto per lungo tempo in nessun disco. Come compromesso è stata utilizzata una puntina di lettura a forma ellittica o biradiale la cui sezione trasversale, lavorata a forma di ellisse, giace con il lato più

grande in posizione obliqua rispetto la direzione di lunghezza del solco. Con ciò la distorsione viene sensibilmente ridotta, però viene fortemente ridotta anche la superficie di contatto tra la puntina di lettura e la parete del solco in modo che, rimanendo invariata la forza di appoggio, salirà proporzionalmente la pressione specifica tra la puntina di lettura e la stessa parete del solco. La puntina con l'arrotondamento ellittico richiede quindi una forza d'appoggio particolarmente bassa.

Un mezzo migliore per mantenere la distorsione a valori molto bassi durante la lettura anche con una puntina a forma sferoidale era stato trovato da TELDEC : basandosi sull'esperienza ottenuta con lo studio della lettura con il procedimento geometrico tradotto in forma matematica, si poteva produrre un apparecchio elettronico in grado di calcolare preventivamente l'errore di movimento che avrebbe fatto la puntina durante la lettura e comunicarlo all'utensile d'incisione. L'incisione di questo solco quindi non sarebbe avvenuto con il solito movimento originario ma con un movimento appositamente distorto che più tardi una puntina di lettura a forma sferica avrebbe riportato nella forma di curva desiderata. L'apparecchio elettronico denominato tracing simulator doveva tenere conto, oltre all'influsso della frequenza, della modulazione e della velocità di scorrimento del solco, quindi del numero di giri del disco e del corrispondente diametro del solco. Inoltre il presupposto raggio di arrotondamento della puntina era stato standardizzato nel valore di 15mm. Tuttavia una piccola differenza di questo valore (sino a 3mm) risultava irrilevante, in questo modo anche una puntina ellittica poteva leggere con buona qualità i dischi Royal-Sound-Stereo. Mediante questo procedimento si è potuta ottenere una straordinaria riduzione della distorsione particolarmente nei diametri piccoli del solco. Mentre sino ad allora frequentemente nell'incisione del disco, a causa della distorsione che si presentava nei solchi interni, si era costretti ad abbassare il livello delle note, ora si poteva mantenere l'intero livello di altezza senza distorsione e contemporaneamente ottenere una grande separazione dal disturbo.

1.9. Limiti della modulazione (massima ponderazione della lettura)

Il limite massimo attribuibile alla modulazione è puramente teorico, esso potrebbe essere raggiunto qualora il raggio di curvatura del solco fosse così piccolo da essere uguale al raggio di arrotondamento della puntina poiché in una più brusca curvatura del solco la puntina non potrebbe entrare. Questo limite si può valutare come ampiezza di accelerazione con :

$$b = 2 \pi f \cdot v^{\circ} \leq \frac{c^2}{r} = \frac{R^2 \cdot \Omega^2}{r} \quad (8)$$

Esso però praticamente non può mai essere raggiunto. Con l'incisione che viene volutamente distorta dal tracing simulator si arriva sempre ad un limite vicino a -3dB (circa il 70%). Nella medesima incisione, la possibilità di modulazione del solco viene limitata anche dall'altezza della frequenza. Si può inoltre osservare nella precedente formula che diminuisce la velocità con l'aumento della frequenza (Fig. 10). Tuttavia la modulazione viene limitata anche con frequenze intermedie, nelle quali il raggio di curvatura del solco non è ancora certamente così piccolo, a causa della tecnica di incisione ; infatti il procedimento meccanico nell'incisione stessa consente una sola velocità di comando dell'utensile, il cui valore massimo è la metà del valore della velocità del solco, più precisamente :

$$v^{\circ} \leq \frac{c}{2} \quad (9)$$

Nelle basse frequenze dove la velocità nuovamente diminuisce, l'ampiezza non aumenta. Alla limitazione d'ampiezza provvede in questo caso la linea guida d'incisione.

Per i sopra dimostrati limiti nella tecnica d'incisione diventa naturalmente necessario fare riferimento alle massime caratteristiche di lettura dei fonorivelatori.

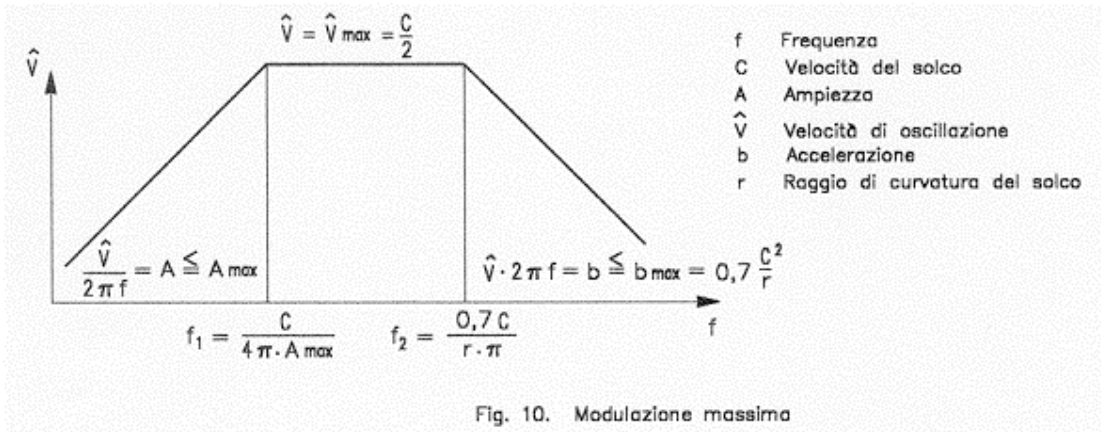


Fig. 10. Modulazione massima

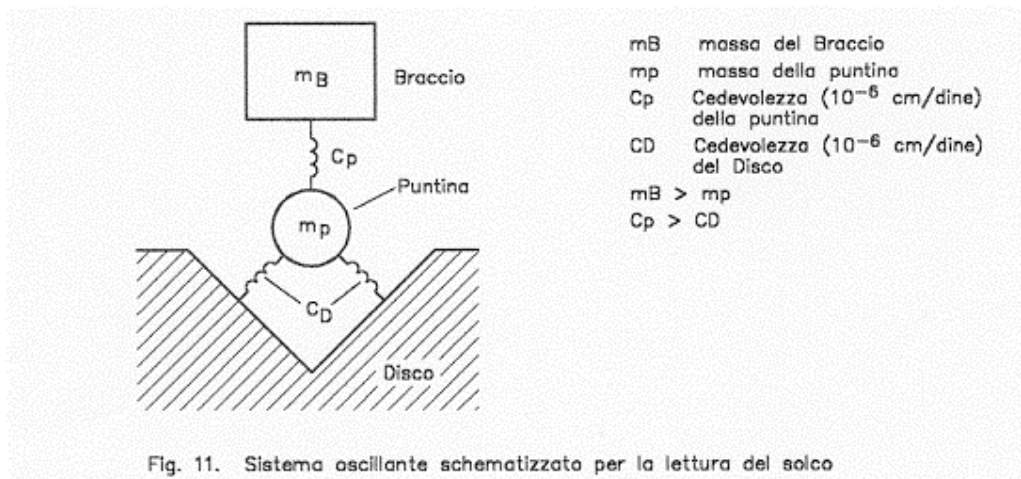


Fig. 11. Sistema oscillante schematizzato per la lettura del solco

2. Problemi di meccanica dinamica

2.1. Risonanza puntina-braccio

La puntina deve avere una sufficientemente buona cedevolezza per poter seguire il tracciato del solco. Tanto essa è grande quanto più potrà essere selezionata una piccola forza di appoggio mediante la quale la puntina possa essere costretta nel solco per un sicuro tasteggio. Però non è possibile assegnare alla cedevolezza un valore qualsiasi perché la puntina deve avere sempre un ritorno elastico nella posizione di riposo e trascinare il braccio sul disco. L'insieme di supporto deve poter trasmettere alla puntina la necessaria forza. Il supporto elastico (cedevolezza) costituisce unitamente alla massa effettiva del braccio (a causa del momento d'inerzia prodotto dal movimento rotatorio attorno all'asse di supporto della sua massa operante sul punto di lettura) un insieme sensibile alle vibrazioni (Fig. 11) con una frequenza di risonanza molto bassa, ben al di sotto della trascrizione efficace diminuendo in pratica del quadrato la stessa frequenza. Per questo, con un appropriato adeguamento della sospensione elastica della puntina alla massa del braccio e con appositi smorzatori, si colloca la risonanza del braccio il più possibile vicino oppure sotto l'estremità inferiore del campo acustico. Con ciò non potrà comparire nessuna risonanza di disturbo nella curva di risposta. La frequenza di risonanza viene determinata con :

$$f_B \approx \frac{1}{2 \pi \sqrt{m_B C_p}} \quad (10)$$

dove sono : "mB" la massa effettiva del braccio e "Cp" la cedevolezza della puntina.

La risonanza del braccio posta all'estremità inferiore del campo da trasmettere consente dunque una risposta di frequenza evidentemente adatta per misura da trasmettere e diafonia non per il solo fonorivelatore, bensì per la combinazione fonorivelatore più braccio.

2.2. Risonanza puntina-disco

La puntina e il proprio supporto oscillante hanno una massa effettiva che, a causa della necessaria cedevolezza sul punto di contatto con la parete scanalata, determina anch'essa una capacità di oscillazione, questa volta però con una

frequenza di risonanza molto alta :

$$f_p \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{m_p C_D}} \quad (11)$$

dove sono : “mp” la massa effettiva della puntina e “CD” la cedevolezza del disco.

La condizione che questa frequenza di risonanza dipende anche dalla parete scanalata, cioè anche dalla elasticità del materiale di cui è composto il disco, consente di collocarla alla estremità superiore del campo da trasmettere lasciando pulita nella risposta di frequenza la misura da trasmettere e la diafonia e di poterla rilevare solo usando per la misurazione un apposito disco di misura.

La risonanza del disco posta all'estremità superiore aumenterà il valore del quadrato della frequenza della misura da trasmettere. Risulta molto difficile eseguire il collocamento di questa frequenza di risonanza sopra l'estremità superiore del campo acustico solo mediante la riduzione della massa effettiva della puntina (a circa 1mg o anche a meno) che può essere conseguita solo in particolari fonorivelatori di grande pregio.

Tutti i punti basilari sopra descritti si incontrano in linea di principio in tutti i bracci, di qualsiasi costruzione, e in tutti i sistemi fonorivelatori di qualsiasi tipo. Un altro capitolo sarà dedicato alla trattazione di altre caratteristiche dei bracci e dei fonorivelatori in relazione alla forma di realizzazione generalmente usata e ad altre con principi di costruzione completamente diversi.

LETTERATURA

- [1] M. Kluge : Risposta di frequenza e sollecitazione dei dischi dai fonorivelatori. Germania (1932)
- [2] E. G. Lofgren : La distorsione non lineare nella riproduzione dei dischi per deviazione angolare dell'elemento di lettura. Germania (1938)
- [3] G. Guttwein : La distorsione lineare e non lineare nella tecnica dei dischi fonografici. Germania (1940)
- [4] F. V. Hunt e W. D. Lewis : La teoria della distorsione di traccia nella riproduzione sonora delle registrazioni fonografiche. JEAS America (1941)
- [5] A. Jorysz : Bibliografia della registrazione su disco dal 1921 al 1947. USA (1947)
- [6] H. Rabe : Distorsione di riproduzione per errore angolare dovuto alla curvatura del braccio. SIEMENS (1953)
- [7] H. Meuschel : L'importanza dei dischi di prova e di misura nelle apparecchiature fonografiche. Funk-Technik (1955)
- [8] H. R. Kuhn : Dati caratteristici dei fonorivelatori e loro metodo di misurazione. Germania (1955)
- [9] La misurazione dell'oscillazione della velocità di scorrimento negli apparecchi da riproduzione sonora. Funk-Technik (1956)
- [10] G. Slot : L'impiego di puntine di zaffiro nei giradischi. Radio Mentor (1956)
- [11] J. B. S. M. Kerstens : Procedimento meccanico nella riproduzione di suoni alti nei fonorivelatori. PHILIPS (1956/57)
- [12] H. R. Kuhn : Risposta e misura delle frequenze nei fonorivelatori. Radio Mentor (1958)
- [13] W. Wegner : Valutazione e misura del rumore di disturbo dell'organo motore. Radio Mentor (1958)
- [14] H. Redlich e H. J. Klemp : Misurazione della larghezza del solco. Radio Mentor (1958)
- [15] H. Batsch : Problemi doppi nell'incisione con due componenti. Funkschau (1958)
- [16] E. P. Skov : I problemi dei dischi stereo. JEAS (1960)
- [17] U. Schmidt : La misurazione della tensione del rumore di disturbo nei riproduttori di dischi fonografici. Funk-Technik (1963)
- [18] H. Redlich e H. J. Klemp : Simulatore di traccia – Metodo nella registrazione su disco per ridurre la distorsione della riproduzione. Germania (1965)
- [19] C. R. Bastiaans : Lettura di dischi stereofonici. Funkschau (1966)
- [20] Dischi di misura per la prova dei giradischi di gran pregio. Funkschau (1966)