

Fonica: Scheda 2

(a cura di Pietro Di Mascolo)

Il suono

Possiamo definire il suono come una particolare sensazione percepita dall'organo dell'udito eccitato da un agente esterno. Esso ha origine dal movimento di un corpo dotato di caratteristiche elastiche, e si propaga modificandosi attraverso un mezzo solido, liquido o gassoso, dotato anch'esso di proprietà elastiche.

I suoni che noi udiamo sono di solito molto complessi, tuttavia possiamo oggettivamente notare delle caratteristiche che possono creare una prima distinzione. Ad esempio ci sono suoni che sono molto forti, altri appena percettibili. Notiamo anche che questa caratteristica varia in misura notevole dalla distanza che abbiamo dall'evento che ha generato il suono. Notiamo anche che varia a seconda della qualità dell'evento. Per esempio se percuoto leggermente un tavolino sentirò un piccolo suono, ma se lo percuoto con tutta la forza, il suono sarà senz'altro più forte. Possiamo chiamare questa caratteristica **intensità del suono**.

Notiamo anche che a parità di intensità alcuni suoni sono più acuti ed altri più gravi. Osserviamo che in genere i suoni più acuti sono generati da oggetti di piccole dimensioni, mentre quelli gravi da oggetti più grossi. Questa sensazione non varia col variare della distanza dalla fonte del suono (solamente se ci avviciniamo o allontaniamo a grande velocità possiamo notare una differenza. È questo l'effetto doppler che vedremo in seguito). Denominiamo questa caratteristica **altezza del suono**.

Il rumore

Il rumore in genere viene definito in vari modi. Sicuramente si tratta di un fenomeno sonoro per cui possiamo estendere ad esso tutte le considerazioni che abbiamo fatto sul suono. Da un punto di vista strettamente fisico si definisce rumore un insieme di suoni non periodici (Helmholtz). Tuttavia nel corso del '900 il repertorio delle sonorità utilizzate in musica si è costantemente allargato fino a comprendere suoni che hanno le caratteristiche fisiche del rumore. Addirittura negli ultimi anni, con le tecniche digitali di campionamento, sono apparsi, in particolare nei brani musicali "tecno", veri e propri rumori usati con finalità ritmiche e addirittura melodiche. Cosa dire poi dello "scratch" con cui i disc jockey degli anni 90 inserivano nei brani musicali il violento strisciare della puntina fonografica sul disco fatto ruotare "a mano".

Per questi motivi mi sento di condividere coloro che definiscono il rumore in maniera non fisica ma funzionale, semplicemente come **suono non voluto**.

Tuttavia la nostra funzione di fonici teatrali ci spinge ad approfondire ancora l'argomento rivelandone ulteriori contraddizioni. Se, ad esempio, in una commedia è necessario inserire il rumore fuori scena di un piatto che si rompe, dobbiamo considerarlo un suono voluto o no?

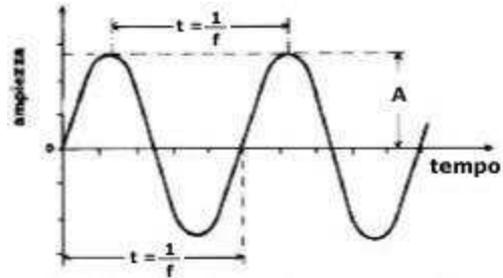
Sicuramente per il pubblico, nella finzione scenica si tratta di un suono accidentale, ma per noi che dobbiamo registrarlo, rielaborarlo e riproporlo nella maniera più realistica, è un suono voluto, al pari della musica di apertura sipario!

Come uscire allora da questa contraddizione lessicale? Probabilmente per noi tecnici sono da considerare rumori solo quei suoni veramente non voluti e fastidiosi, quali ad esempio il soffio delle ventole dei finali di potenza, il ronzio di un impianto insufficientemente messo a terra o il fruscio di una registrazione analogica.

Origine del suono

Come abbiamo già detto un suono ha origine dalla vibrazione di un corpo elastico: un diapason percosso con un colpo secco, una corda tesa strofinata da un archetto, l'aria contenuta all'interno di un flauto posta in vibrazione soffiandoci contro altra aria. Si può osservare che la vibrazione di questi corpi elastici ha un andamento *ondulatorio*, ossia descrive nel tempo un movimento che può essere rappresentato graficamente con un *onda*.

Tale onda sarà caratterizzata, a seconda della natura, delle dimensioni, e dello stato di tensione del corpo elastico che entra in vibrazione, nonché dalla causa che origina tale vibrazione, da alcune grandezze che ne definiscono l'andamento: innanzitutto la **frequenza**, ovviamente espressa in *hertz*. Si nota che tale grandezza definisce l'*altezza del suono* che abbiamo prima osservato come parametro oggettivo: in particolare con l'aumentare della frequenza un suono diviene più acuto, col diminuire diviene più grave.



Vi è poi da considerare l'**ampiezza** dell'oscillazione che determina l'*intensità del suono*. Più difficile è stabilire una unità di misura utile per le nostre considerazioni future. Indubbiamente l'*ampiezza* dell'oscillazione è proporzionale all'*energia* dell'onda, quindi, nell'*unità di tempo* alla *potenza*, tuttavia esprimere in *watt* l'ampiezza di un'onda, sebbene fisicamente corretto, ci porterebbe ad avere una grandezza che non comunica efficacemente la percezione dell'intensità del suono. Tale intensità è da noi percepita secondo un andamento non *lineare* ma *logaritmico*. Per questi motivi è stato introdotto il *decibel (dB)*.

Il decibel (dB)

Il decibel è forse la misura più usata in acustica, esso esprime secondo una scala *logaritmica in base 10*, il *rapporto* fra due grandezze *omogenee*.

Ricordiamo che per definizione il logaritmo di un certo numero in una certa base, è l'*esponente* che occorre dare a quella *base* per ottenere il *numero* dato. Ad esempio il logaritmo in base 10 di 100 è 2. Infatti $10^2 = 100$.

Il decibel è 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto di due grandezze omogenee.

Supponiamo di voler esprimere in decibel la differenza fra due potenze: w_1 e w_2 .

$$\text{dB} = 10 \log_{10} w_1 / w_2$$

Notiamo quindi che affinché la precedente espressione abbia senso occorre che esistano entrambe le grandezze w_1 e w_2 ed in particolare che sia $w_2 \neq 0$. Notiamo anche che non ha importanza di che tipo siano le grandezze w_1 e w_2 , occorre solo che siano omogenee, ossia dello stesso tipo.

Qualche esempio pratico:

- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una doppia dell'altra, il valore sarà di circa 3 dB infatti $\text{Log}_{10} 2 \approx 0,3$
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una dieci volte l'altra, il valore sarà di 10 dB infatti $\text{Log}_{10} 10 = 1$
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una cento volte l'altra, il valore sarà di 20 dB infatti $\text{Log}_{10} 100 = 2$

- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una mille volte l'altra, il valore sarà di 30 dB infatti $\text{Log}_{10} 1000 = 3$

D'altra parte possiamo immaginare per il decibel anche valori negativi. Questo si ha quando fra le grandezze di cui vogliamo esprimere il rapporto, quella che appare al numeratore è minore di quella che appare al denominatore. Facciamo qualche esempio anche di questi casi:

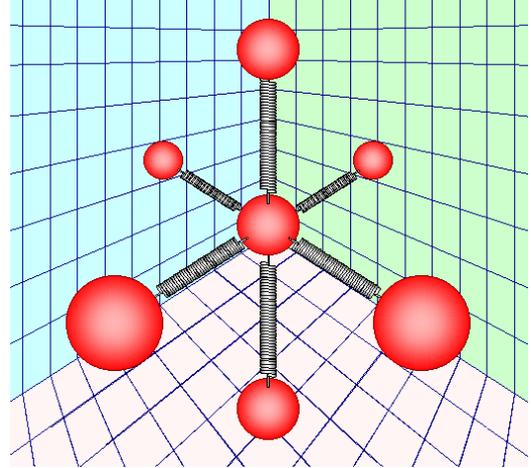
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una la metà dell'altra, il valore sarà di circa -3 dB infatti $\text{Log}_{10} 1/2 \approx -0,3$
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una un decimo dell'altra, il valore sarà di -10 dB infatti $\text{Log}_{10} 1/10 = -1$
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una un centesimo dell'altra, il valore sarà di -20 dB infatti $\text{Log}_{10} 1/100 = -2$
- Se vogliamo esprimere in decibel la differenza fra due potenze una un millesimo dell'altra, il valore sarà di -30 dB infatti $\text{Log}_{10} 1/1000 = -3$

Come abbiamo visto il decibel si può considerare una misura *relativa*, non dipende infatti da una sola grandezza ma dal *rapporto* di due grandezze omogenee. Tuttavia ci sono certi casi in cui tale misura si può immaginare *assoluta*. Questo avviene quando al denominatore si pone una misura stabilita per convenzione internazionale. Un esempio di misura assoluta in decibel è quella dell'intensità sonora, che convenzionalmente è espressa in riferimento alla soglia di udibilità:

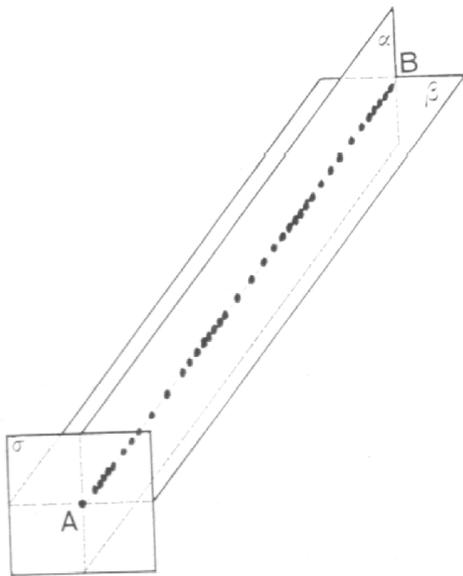
Livello di intensità dB	Condizione ambientale	Effetto sull'uomo
140	Soglia del dolore	Lesioni dell'orecchio nel caso di ascolto prolungato
120	Clacson potente, a un metro	
110	Picchi d'intensità di una grande orchestra	Zona pericolosa per l'orecchio
100	Interno della metropolitana	
90	Picchi di intensità di un pianoforte	
80	Via a circolazione media	Zona di fatica
75	Voce forte, a un metro	
70	Conversazione normale, a un metro	
60	Ufficio commerciale	
50	Salotto calmo	Zona di riposo (giorno)
40	Biblioteca	
30	Camera da letto molto calma (notte)	Zona di riposo (notte)
20	Studio di radiodiffusione	
0	Soglia di udibilità	

Propagazione del suono

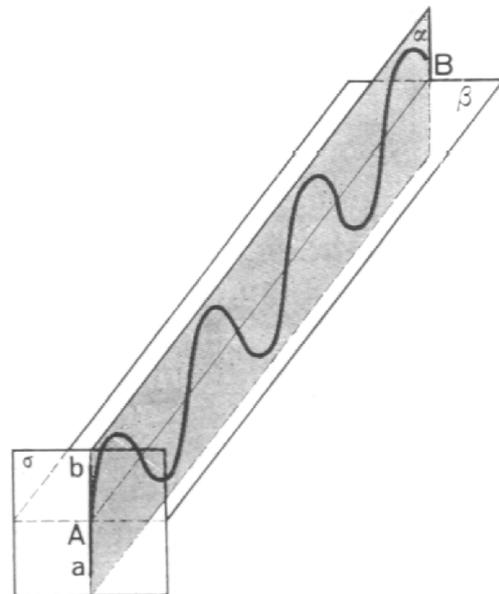
Abbiamo detto che il suono si propaga nei mezzi elastici, fra questi ovviamente l'aria. Per capire come questo avvenga in pratica consideriamo la struttura dell'aria. Questa è formata da tante molecole unite fra di loro da legami elastici. Possiamo immaginare le molecole di aria come sfere unite ad altre sfere tramite molle. Quando un corpo vibra, comunica il suo movimento alla prima molecola d'aria, (la prima sfera nel modello). Questa molecola spostandosi in avanti "spinge" la molecola successiva, la quale "spinge" quella a sua volta successiva, e così via. Un attimo dopo i legami elastici, (le molle nel modello), "richiamano" indietro la molecola nella sua posizione iniziale di equilibrio. Per effetto della forza d'inerzia la molecola supera il punto centrale di equilibrio, raggiungendo una posizione quasi speculare al punto di massima escursione in avanti. Questi movimenti si trasmettono alle molecole contigue in un certo tempo. Per effetto di tali movimenti avremo delle zone in cui vi è compressione dell'aria, e delle altre in cui vi è rarefazione. Queste diverse zone si ripeteranno a partire dalla sorgente, nel senso di propagazione del suono. Questo effetto prende il nome di **onda longitudinale**.



- Si chiama onda longitudinale quella in cui la direzione dell'oscillazione e quella della propagazione coincidono.

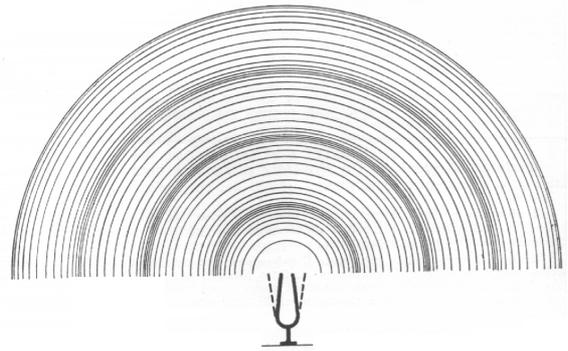


onda longitudinale



onda trasversale

Data una sorgente di suono, questo si propaga allo stesso modo in tutte le direzioni. Possiamo dire che si propaga secondo fronti d'onda sferici. La superficie del fronte d'onda aumenta in proporzione col quadrato della distanza dalla sorgente. Di conseguenza l'energia che possiede il fronte d'onda si distribuisce su tutta la superficie, per cui su una singola unità di superficie avremo un'energia che decresce proporzionalmente al quadrato della distanza. Siccome l'energia è proporzionale all'intensità sonora, possiamo dire che:



- L'intensità sonora decresce con il quadrato della distanza.

Volendo esprimere in decibel questa variazione:

- Raddoppiando la distanza, l'intensità sonora decresce di 6 dB
- Decuplicando la distanza, l'intensità sonora decresce di 20 dB

Quindi se ad esempio misuriamo un'intensità di 100 dB ad un metro da un diffusore acustico:

- A due metri avremo 94 dB
- A dieci metri avremo 80 dB

Si nota quindi come il fattore distanza sia molto rilevante nell'attenuazione dell'intensità acustica.

Il suono si propaga ad una velocità che dipende dalla natura del mezzo elastico in cui si diffonde. Inoltre tale velocità è influenzata, sebbene in misura minore, dalla temperatura, dalla pressione e dall'umidità. Vediamo qual'è la velocità del suono in alcuni mezzi elastici (in metri/secondo):

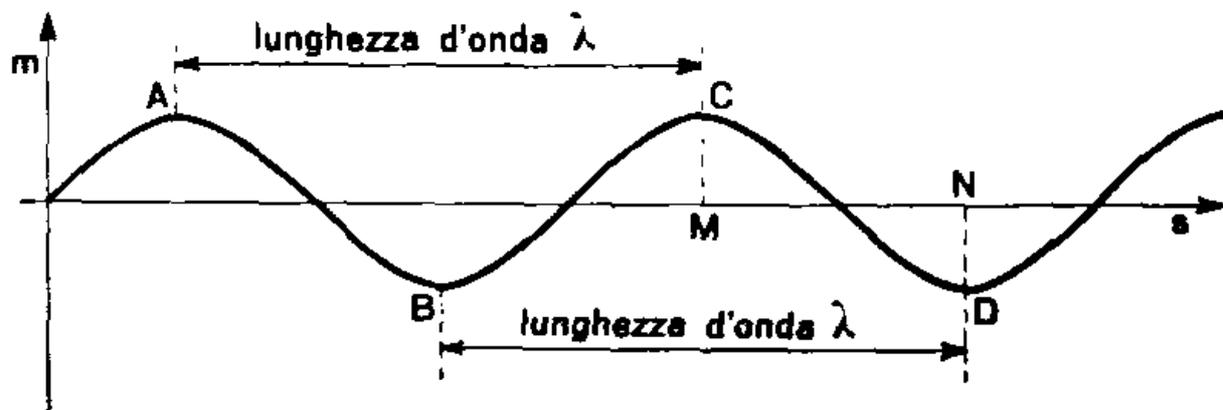
Anidride carbonica	258
Ossigeno	317
Aria	340
Acqua	1.437
Rame	3.560
Marmo	3.810
Ferro	5.000

Fra i compiti del tecnico vi è quello di *allineare* l'impianto, ossia di applicare un *ritardo* ad ogni diffusore acustico in modo che il suono riprodotto dai vari diffusori giunga all'ascoltatore nel medesimo momento. La seguente tabella ci dice quale ritardo è necessario applicare in funzione della distanza:

Distanza (metri)	Tempo (millisecondi)
10	29
20	58
30	88

$$T = m / 340$$

Un'altra grandezza importante legata alla propagazione del suono è la **lunghezza d'onda**, ossia la distanza fra due punti consecutivi dell'onda che vibrano in *concordanza di fase*.



La lunghezza d'onda si misura in metri ed è funzione della frequenza e della velocità di propagazione secondo la formula:

$$\lambda = v / \nu \quad (\lambda = \text{lunghezza d'onda}, v = \text{velocità di propagazione}, \nu = \text{frequenza})$$

La lunghezza d'onda assume un'importanza particolare quando ha una misura paragonabile con le dimensioni dell'ambiente ove si diffonde il suono, in quanto determina direttamente il fenomeno delle *onde stazionarie* (che verrà esaminato in seguito). Riproduciamo una tabella che mostra la lunghezza d'onda in aria libera, per alcune frequenze udibili.

Frequenza (in hertz)	Lunghezza d'onda (in metri)
20	17
30	11,3
50	6,8
100	3,4
250	1,36
800	0,425
2.000	0,17
5.000	0,068
10.000	0,034
20.000	0,017

Capacità dell'udito umano

Abbiamo fin qui esaminato il suono e la sua propagazione secondo dei principi fisici, definendone alcune grandezze fondamentali quali la frequenza e l'intensità. La domanda che ci poniamo ora è: Quali suoni sono in grado di essere percepiti dal nostro orecchio?

La capacità dell'udito umano varia fortemente da individuo a individuo, e decade nelle prestazioni con l'aumentare dell'età. Appositi studi fonometrici hanno stabilito che mediamente:

- **L'uomo è in grado di udire suoni la cui frequenza è compresa dai 20 ai 20.000 Hz**

Tale gamma di suoni è chiamata **gamma udibile**. I suoni la cui frequenza è al di sotto dei 20 Hz sono chiamati **infrasuoni** (o **gamma subsonica**). I suoni la cui frequenza eccede i 20.000 Hz sono chiamati **ultrasuoni**.

Alcuni animali hanno una *gamma udibile* maggiore di quella dell'uomo, in particolare per quanto riguarda il limite superiore. Vi sono ad esempio alcuni *ultrasuoni* che possono essere uditi dai cani ma non dall'uomo.

Se consideriamo i suoni compresi nella gamma udibile, ci accorgiamo che all'aumentare della frequenza, non aumenta linearmente la sensazione dell'altezza del suono. Per esempio fra un suono a 20 Hz e un suono a 30 Hz, ad una differenza di 10 Hz corrisponde una chiara differenza nell'altezza del suono udito. Fra un suono di 6.000 Hz ed uno di 6.010 Hz, pur con una differenza sempre di 10 Hz, non corrisponde nessuna differenza udibile nell'altezza del suono. Dobbiamo quindi considerare la gamma udibile non come linearmente correlata alla sensazione dell'altezza dei suoni.

L'acustica musicale ci suggerisce il modo di stabilire una relazione diretta fra frequenza e sensazione di altezza dei suoni. Musicalmente infatti la gamma udibile è divisa in un certo numero di *ottave* ed ogni ottava in un certo numero di *note* (12 nella scala temperata occidentale). È a tutti chiara l'affinità sonora che vi è fra le note corrispondenti di ottave diverse, ad esempio il do della prima ottava con il do della seconda. Possiamo in definitiva dire che la suddivisione della gamma udibile in ottave e note musicali, dal punto di vista dell'altezza del suono, soddisfa pienamente la nostra esigenza di avere intervalli di frequenze che rappresentino in qualunque punto della gamma, la stessa differenza come risultato sonoro.

Presupposto fondamentale della divisione dei suoni in ottave e in note è che: data una nota appartenente ad un'ottava, la corrispondente nota appartenente all'ottava successiva avrà una frequenza **doppia**.

Se, secondo le convenzioni internazionali, il *la* centrale ha frequenza di 440 Hz, il *la* dell'ottava successiva avrà frequenza di 880 Hz, e quello della seguente 1760 Hz.

Possiamo finalmente dividere la nostra gamma udibile in un modo aderente alla sensazione che noi abbiamo dell'altezza dei suoni. Le ottave standardizzate internazionali hanno le seguenti estensioni:

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. da 16 a 32 Hz | 6. da 500 Hz a 1 KHz |
| 2. da 32 a 64 Hz | 7. da 1 KHz a 2 KHz |
| 3. da 64 a 125 Hz | 8. da 2 KHz a 4 KHz |
| 4. da 125 a 250 Hz | 9. da 4 KHz a 8 KHz |
| 5. da 250 a 500 Hz | 10. da 8 KHz a 16 KHz |

La sensibilità del nostro orecchio non è costante per tutte le frequenze. Il digramma delle *curve ipsofoniche* rappresenta il variare della sensibilità a in funzione della frequenza.

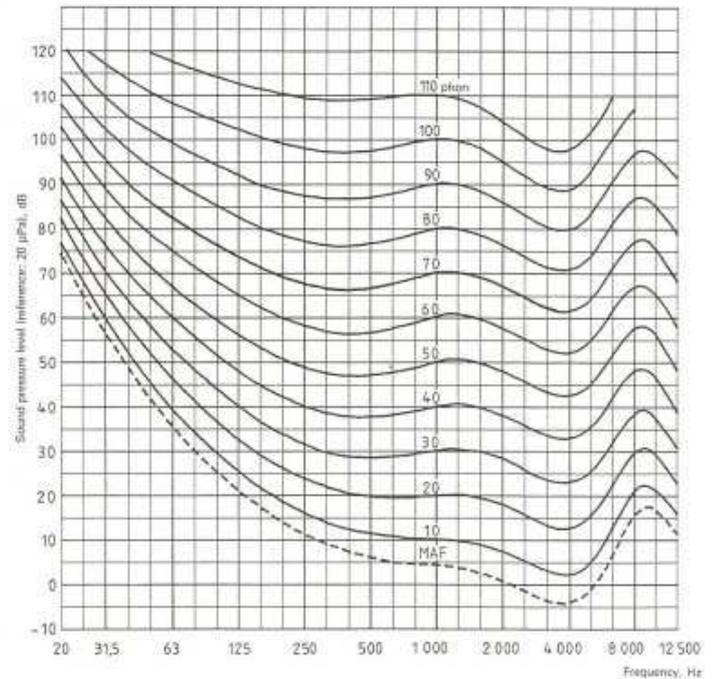
La linea tratteggiata rappresenta la soglia di udibilità, quindi possiamo osservare per esempio, che un suono avente una frequenza di 31,5 Hz ed un'intensità di 30 decibel non viene percepito dall'orecchio umano.

Le curve del disegno uniscono i punti in cui alle varie frequenze la sensazione dell'intensità del suono sono uguali, ad esempio se un suono a 1000 Hz di intensità 20 dB mi produce una certa sensazione, per avere quella stessa sensazione a 63 Hz avrò bisogno di circa 45 dB.

Per esprimere l'intensità sonora non secondo i parametri fisici ma secondo quelli dalla sensibilità umana, viene introdotta una nuova unità di misura: il **phon**.

Il *phon* rappresenta linearmente la sensazione dell'intensità sonora.

Alla frequenza di 1000 Hz il valore del *phon* coincide con quello del *decibel*.



Armoniche di un suono

I suoni dei quali abbiamo studiato l'origine e la propagazione sono stati rappresentati rispetto al tempo con una *sinusoide*. In realtà si tratta di un caso molto particolare in quanto i suoni hanno un andamento di solito più complesso. Tuttavia non è sbagliato limitare la nostra attenzione al suono sinusoidale, infatti a qualsiasi suono complesso, potendosi comunque rappresentare con una funzione periodica, possiamo applicare il teorema di Fourier:

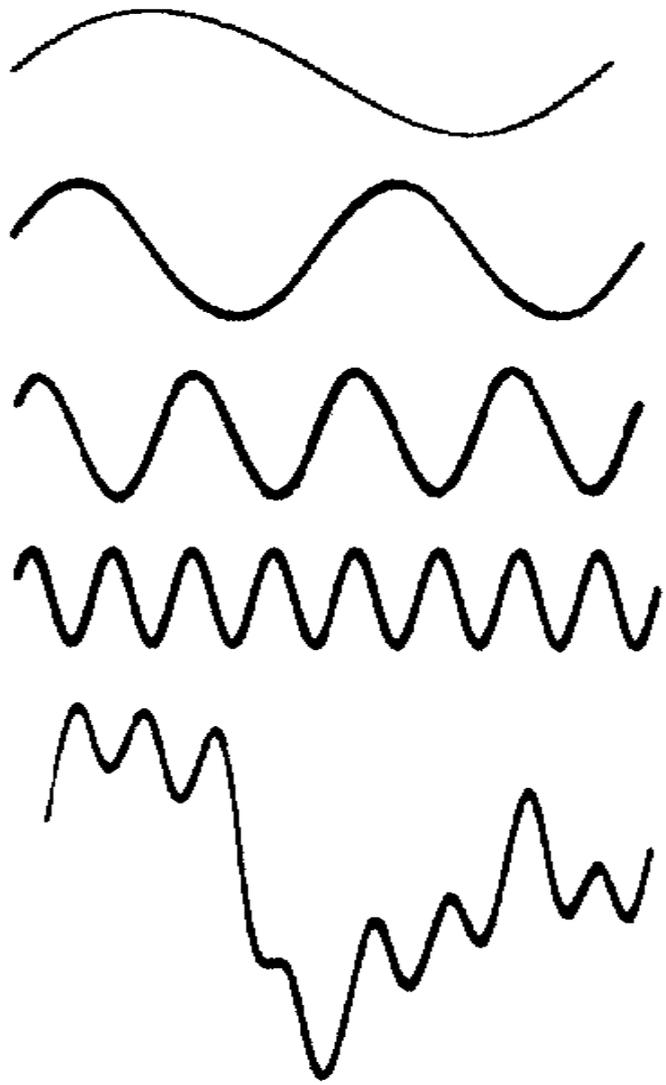
- Qualsiasi funzione periodica di frequenza ν può essere decomposta in un solo modo nella somma di funzioni sinusoidali semplici di frequenza multipla di ν , le cui ampiezze sono univocamente determinate.

Quindi ogni funzione suono complesso che abbia frequenza ν può essere considerato la somma di tanti suoni sinusoidali con frequenza multipla di ν , ed ampiezza univocamente determinata. Denominiamo tali suoni sinusoidali **armoniche** del suono complesso, per cui possiamo dire:

- Tutti i suoni complessi della medesima frequenza differiscono fra loro unicamente per l'ampiezza delle *armoniche*.

La frequenza del suono complesso, che è poi la più bassa fra le armoniche, prende il nome di **fondamentale**. Le armoniche superiori prendono il nome di **seconda armonica**, **terza armonica**, **quarta armonica** ecc. a seconda se la frequenza è 2, 3, 4... volte la *fondamentale*.

Nel disegno a lato possiamo vedere la rappresentazione della fondamentale di un suono complesso, della seconda armonica, della quarta armonica e dell'ottava armonica. L'ultimo disegno in basso rappresenta il suono complesso risultante dalla somma di queste armoniche.



- Definiamo **onda quadra**, quell'oscillazione che contiene tutte le (infinite) armoniche con la stessa intensità.

Possiamo quindi osservare che più la rappresentazione di un suono tende all'onda quadra, più questo suono aumenta l'intensità delle sue armoniche superiori.

Questo è il motivo per cui quando si utilizza un amplificatore di potenza ad una potenza che eccede quella massima, e il suono tende a squadrarsi (*clipping*), i primi componenti a soffrire sono i tweeter.

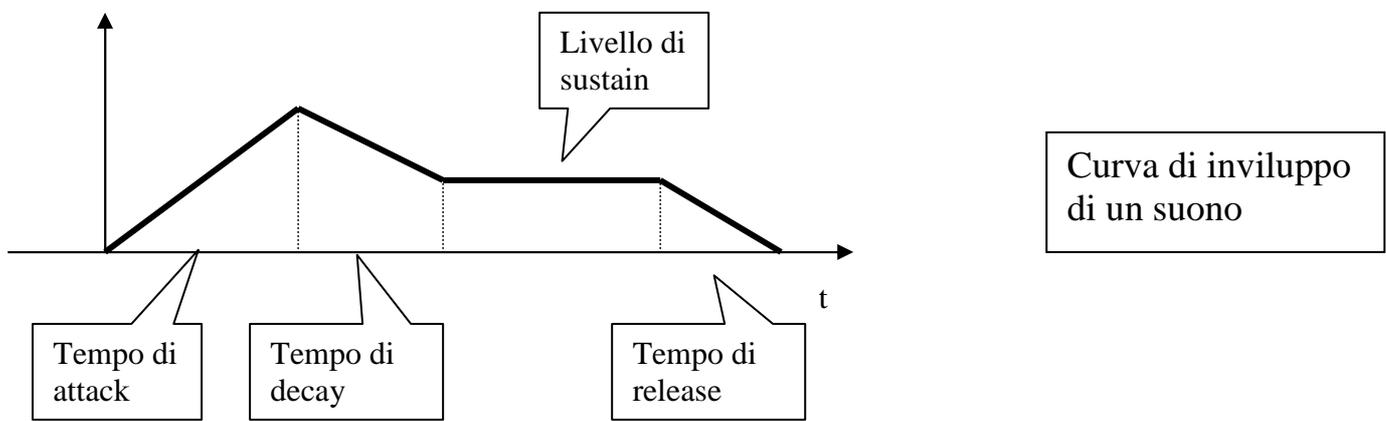
L'intensità delle armoniche determina il **timbro** di un suono, ossia la differenza che esiste fra i suoni emessi dai vari strumenti musicali. Con l'*equalizzazione* interveniamo sul timbro degli strumenti variando proprio l'intensità delle armoniche.

I suoni *naturali* hanno in genere un'intensità delle armoniche che decresce col crescere del loro ordine. Si è provato a generare dei suoni *sintetici* che hanno le intensità delle armoniche crescenti, ottenendo risultati interessanti. Esistono poi dei generatori di subarmoniche che aggiungono al suono una armonica con frequenza pari alla metà della fondamentale, col risultato di aggiungere corposità al suono.

La composizione delle armoniche può non essere costante nel tempo in cui il suono è emesso. Un suono può ad esempio iniziare con poche armoniche, arrivare ad averne una certa quantità, diminuirne il numero al momento che il suono si estingue. Questo fenomeno prende il nome di **inviluppo** del suono (in inglese **contour**) riferito alle armoniche.

L'inviluppo di un suono è di solito definito da quattro grandezze: **attack, decay, sustain, release** (si può chiamare **inviluppo ADSR**). Definiamo concettualmente tali grandezze:

- Attack (time): il tempo che un suono impiega a raggiungere il livello massimo di armoniche
- Decay (time): il tempo che un suono impiega a raggiungere il livello normale di armoniche
- Sustain (level): il livello normale di armoniche
- Release (time): il tempo che un suono, dopo il termine della sua emissione impiega per annullarsi (e quindi annullare tutte le sue armoniche)



Fase di un suono

Due suoni possono differire oltre che per la frequenza, l'intensità e la composizione delle armoniche anche per il momento in cui vengono emessi. In genere si parla di *fase* quando questo tempo è minore del *periodo*, ossia del tempo necessario a compiere un ciclo completo. La differenza di tempo fra due suoni (figura a lato) dipende dal cosiddetto **angolo di fase**.

La funzione che esprime una rappresentazione sinusoidale è :

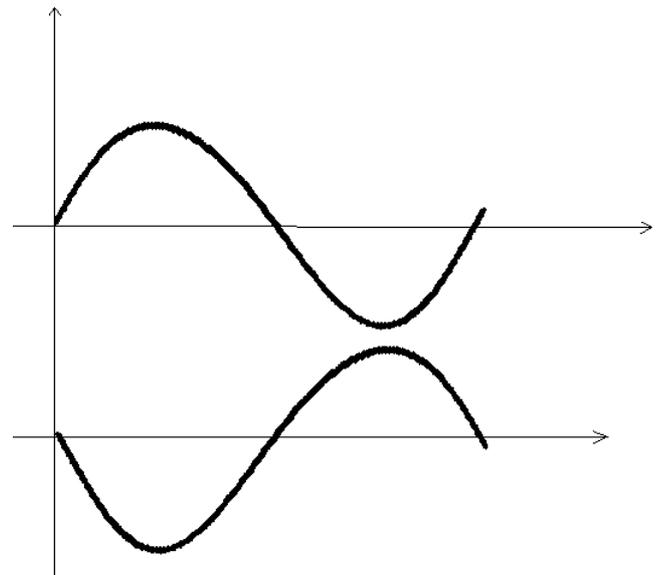
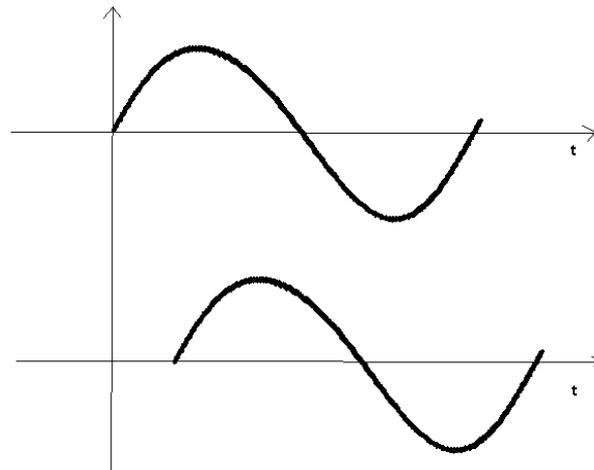
$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

La grandezza φ rappresenta appunto l'**angolo di fase**.

Esprimere la fase come un angolo ci permette di prescindere da altre grandezze, tipo la frequenza, che definiscono il nostro suono. Infatti qualunque sia la frequenza, un angolo di fase pari a $\pi/2$ corrisponde a $1/4$ del periodo, un angolo di fase π corrisponde a metà del periodo, un angolo di fase $3/2 \pi$ corrisponde a $3/4$ del periodo, e un angolo di fase di 2π all'intero periodo.

È facilmente osservabile che il suono risultante fra due suoni uguali in tutto fuorché nella fase, è molto diverso dai suoni originari, in particolare nella composizione delle armoniche. Un caso particolarmente significativo si ha quando la differenza di fase fra i due suoni è pari a $\pi/2$. Si dice che i due suoni sono in **opposizione di fase**, o in **controfase**. Il suono risultante dalla somma di due suoni in *controfase* ha intensità nulla.

- Due suoni in *controfase* si cancellano vicendevolmente.



suoni in controfase

Risonanza

- La risonanza è il fenomeno per cui un corpo capace di oscillare entra in vibrazione quando è in presenza di un altro che vibra.

Abbiamo visto che un corpo elastico può essere posto in vibrazione, e che per effetto di ciò si genera un suono. L'ampiezza di questo suono dipende in gran parte da come si è innescata la vibrazione, la frequenza invece sembra essere indipendente da questo, dipende infatti unicamente dal corpo che oscilla, e precisamente da 3 parametri:

- Le dimensioni fisiche: quanto maggiori sono, più bassa sarà la frequenza.
- La densità molecolare: quanto maggiore è, più bassa sarà la frequenza.
- La tensione meccanica a cui è sottoposto: quanto maggiore è, più alta sarà la frequenza.

Possiamo quindi dire che un corpo di un certo materiale (quindi di una certa densità molecolare), di dimensioni stabilite, e sottoposto ad una tensione meccanica data, può vibrare solo ad una ben precisa frequenza. Questa prende il nome di **frequenza di risonanza**.

Un corpo dotato di una certa *frequenza di risonanza*, entra in vibrazione spontaneamente se viene investito da un suono avente la stessa frequenza.

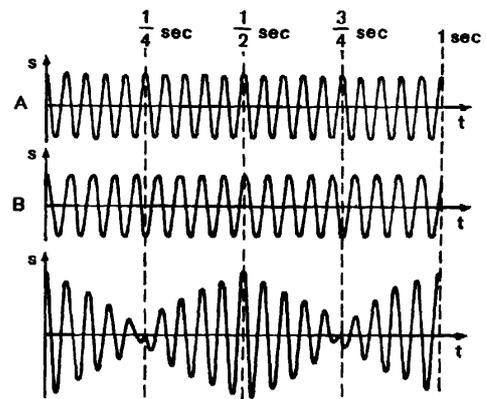
Battimenti – modulazione di ampiezza

Il fenomeno dei **battimenti** si verifica quando si sommano due suoni aventi frequenza leggermente differente. In pratica l'intensità del suono risultante oscilla nel tempo con una frequenza che è tanto più bassa quanto sono vicine le frequenze dei suoni componenti. Definiamo questo comportamento **modulazione d'ampiezza**. La frequenza che descrive questa modulazione d'ampiezza è pari alla differenza nelle frequenze dei suoni componenti.

Nell'immagine a fianco vediamo il battimento generato da due suoni aventi frequenze rispettivamente di 20 Hz e di 18 Hz. La modulazione d'ampiezza che si genera avrà una frequenza di 2 Hz.

Il battimento può essere spiegato per via analitica: facendo riferimento all'immagine a fianco notiamo che nell'arco di tempo che va da 0 a $\frac{1}{4}$ di secondo, le oscillazioni corrispondenti dei due suoni sono sempre meno in fase, fino ad essere completamente in controfase nell'istante $t = \frac{1}{4}$ sec. Da questo istante in poi le oscillazioni saranno sempre più in fase fino ad esserlo completamente nell'istante $t = \frac{1}{2}$ sec. Quindi di nuovo le oscillazioni sono sempre meno in fase fino a raggiungere la completa controfase nel punto $t = \frac{3}{4}$ sec. E così via.

Il battimento ha sempre un effetto molto fastidioso sull'ascolto. Può essere sintomo di una scadente accordatura degli strumenti musicali.



Effetto Haas

Negli anni '40 del secolo scorso il fisico Helmut Haas studiando la sensibilità del nostro udito, giunse alla constatazione di un'importante effetto: se da due sorgenti di suono, ad esempio due diffusori acustici, emette due suoni in tutto uguali, ma dei quali uno emesso con un ritardo che va da 1 a 30 millisecondi circa, il mio udito percepirà il suono come proveniente unicamente dal diffusore che emette il suono senza ritardo.

La spiegazione di questo fenomeno è da ricercarsi nella fisiologia dell'apparato uditivo. L'uomo possiede due orecchie proprio per localizzare la provenienza dei suoni. Un suono proveniente dalla nostra destra raggiungerà prima il nostro orecchio destro, successivamente il sinistro. Il nostro cervello riceve i due *segnali* provenienti dalle due orecchie, ne elabora il ritardo ed assegna la direzione della provenienza del suono. Introducendo dei ritardi artificiali, noi riusciamo ad ingannare il cervello, che attribuirà la direzione di provenienza del suono verso quello dei due che gli arriva prima.

L'effetto Haas si verifica quando la differenza di intensità sonora fra le due fonti non eccede i 10 dB. È anche opportuno notare, per lo studio delle applicazioni, che il suono nell'aria percorre in 30 millisecondi, tempo di applicazione dell'effetto Haas corrisponde circa alla distanza di 10 metri.

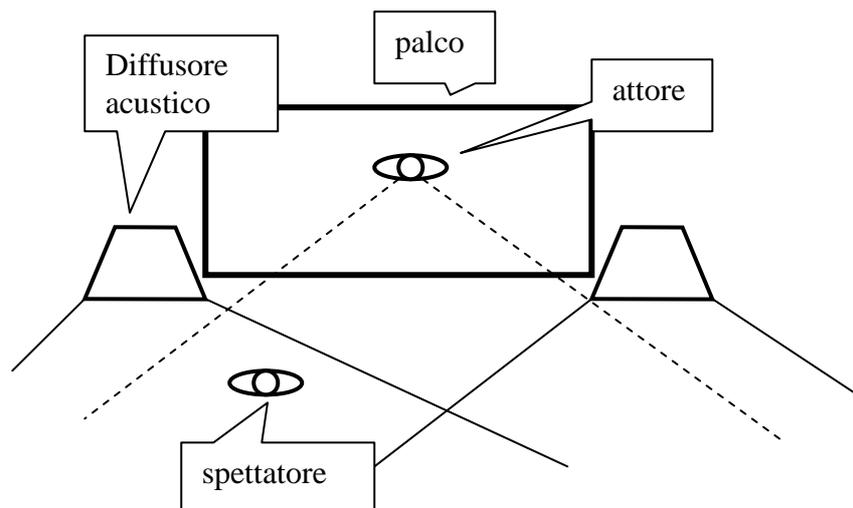
Vediamo qualche applicazione dell'effetto Haas:

1- torri di rinforzo

In molti spettacoli nei quali la partecipazione di pubblico è imponente, nei quali quindi molti spettatori si trovano ad una grande distanza dal palcoscenico. Per assicurare una copertura sonora il più possibile uniforme, è uso impiegare dei diffusori situati a circa metà della platea, di solito su torri metalliche. In ogni caso, per evitare che lo spettatore percepisca un "doppio suono" è necessario *ritardare* questi diffusori del tempo che il suono proveniente dai diffusori principali impiega per raggiungere e sommarsi a quello dei diffusori di rinforzo. Se noi a questo ritardo, sfruttando l'effetto Haas, aggiungiamo un tempo fino a 30 millisecondi, lo spettatore avrà l'impressione che il suono proviene solo dai diffusori principali.

2- voce di un attore

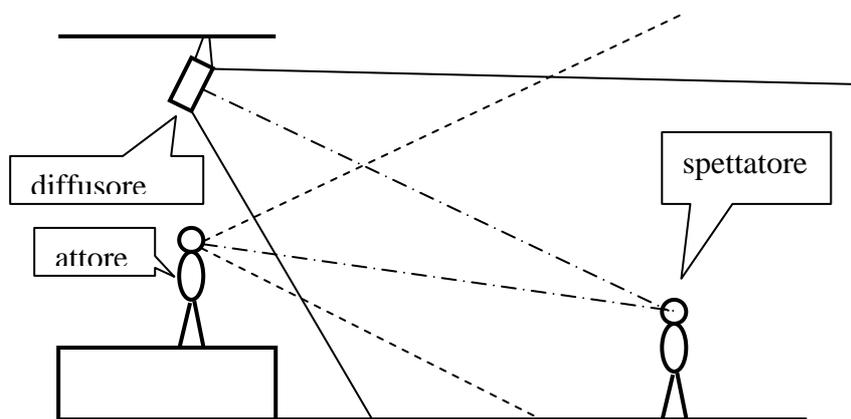
Il disegno a fianco fa riferimento alla classica disposizione di un impianto audio per la riproduzione amplificata della voce di un attore che recita. Lo spettatore ascolta sia la voce diretta dell'attore (linee tratteggiate) sia la stessa amplificata, dai diffusori acustici (linee continue). In queste condizioni lo spettatore ha l'impressione che la voce provenga unicamente dal diffusore poiché gli giunge in anticipo e con maggiore intensità rispetto alla voce diretta.



Se applichiamo ai diffusori un ritardo che oltre a compensare la distanza fisica dell'attore dai diffusori, aggiunge un tempo fino a 30 millisecondi, sfruttando l'effetto Haas, lo spettatore avrà l'impressione che il suono provenga interamente dalla bocca dell'attore.

Dal momento che probabilmente l'attore si muoverà in tutto lo spazio scenico, la scelta di aggiungere un tempo da 1 a 30 millisecondi dovrà essere tale da assicurare l'effetto Haas in qualunque posizione si trovi l'attore.

Un modo di applicare *naturalmente*, ossia senza far ricorso a linee di ritardo digitali, l'effetto che abbiamo appena visto, è quello di sospendere un unico diffusore al centro del palco, fissandolo ad esempio alla graticciata o ad una americana. In questo caso il suono che proviene dal diffusore dovrà percorrere una distanza maggiore per arrivare allo spettatore, rispetto a quello che proviene direttamente dalla bocca dell'attore (linee punto – tratteggiate), giungendovi quindi in ritardo.



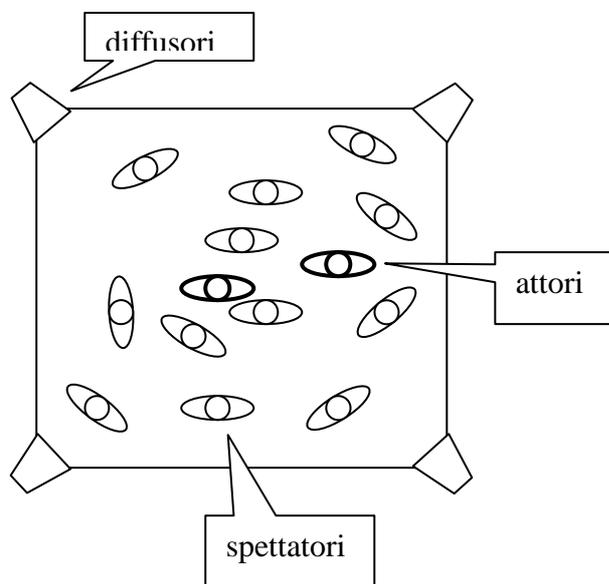
Si può osservare che l'efficacia di questa soluzione è tanto maggiore quanto è l'altezza del diffusore sospeso.

L'azione combinata di una linea di ritardo digitale su un unico diffusore sospeso è quella che dà i migliori risultati.

3- scatola di suono

In alcune forme moderne di teatro, si tende ad abbattere ogni barriera fisica, quale ad esempio il palcoscenico, fra gli attori e spettatori. Possono quindi capitare delle azioni teatrali che si svolgono *in mezzo* al pubblico. Qualora questo si svolga in spazi ristretti e richieda comunque l'amplificazione della voce degli attori, può essere utile applicare la cosiddetta scatola di suono.

Questa tecnica può essere applicata quando sia gli attori che il pubblico sono compresi in un quadrato ideale con il lato di max. 10 metri. In questo caso si dispongono 4 diffusori ai 4 angoli del quadrato ideale, e si invia loro un segnale con la voce degli attori ritardata da 1 a 30 millisecondi. Ogni spettatore ascolterà il suono diretto dall'attore, e il suono amplificato dal diffusore alle proprie spalle, ma a causa dell'effetto Haas percepirà il suono come proveniente dall'attore, né sentirà gli altri 3 diffusori in quanto a causa della distanza di 10 metri l'uno dall'altro, l'effetto Haas si applicherà anche a loro.



Stereofonia

L'effetto previsto dalla stereofonia è quello di fornire all'udito una *scena sonora* in cui sia possibile localizzare la posizione delle fonti che emettono determinati suoni. Per gli inventori della stereofonia ad esempio doveva essere possibile per l'ascoltatore di un disco, capire dove si trovano al momento della registrazione, i vari strumenti musicali.

La strada seguita per ottenere questo effetto è stata quella di registrare lo stesso evento su due tracce distinte in modo che, al momento della riproduzione, l'ascolto combinato di queste due registrazioni potesse ricreare la sensazione della localizzazione dell'origine dei suoni.

Da quando questa teoria fu enunciata, nella prima metà del secolo scorso, la stereofonia ha avuto una enorme diffusione, al punto che oggi la quasi totalità delle apparecchiature musicali di ogni genere, dei formati e dei supporti musicali, è predisposta per la stereofonia.

Esaminando tecnicamente come dalla combinazione di due tracce possa scaturire la stereofonia, osserviamo che il nostro udito, in presenza di un impianto di riproduzione stereofonico, composto

da due diffusori opportunamente distanziati, ciascuno riprodotto il contenuto di una singola traccia, è in grado di ricostruire la provenienza del suono in due modi:

- Se il suono è riprodotto dai due diffusori con diverse intensità, tenderemo ad immaginarcelo spostato verso la parte in cui è riprodotto con un'intensità maggiore.
- Se il suono è riprodotto dai due diffusori con un leggero ritardo (< 1 ms) l'uno rispetto all'altro, tenderemo ad immaginarcelo spostato verso la parte dalla quale ci arriva prima.

Abbiamo quindi trovato due modi per ottenere lo stesso effetto.

Il primo modo è quello sfruttato dai mixer che tramite un apposito comando, denominato **pan pot**, distribuisce in misura diversa per ogni singolo canale, corrispondente in genere ad un singolo suono, il segnale sulle due diverse tracce.

Il secondo modo, detto della **rotazione di fase**, è sfruttato nelle registrazioni dal vivo effettuate con due microfoni situati ad una certa distanza uno dall'altro, lungo una linea orizzontale. In questo modo il suono proveniente da uno strumento raggiunge prima il microfono più vicino e dopo un certo ritardo anche l'altro.

Si è cercato di determinare stereofonia per rotazione di fase, anche in studio con tecniche artificiali (omofonia). Tuttavia non si è andati al di là di qualche disco dimostrativo. L'effetto stereofonico della maggior parte dei dischi è ottenuto con la tecnica del *pan pot*.

La stereofonia ha senso quando le condizioni di ascolto sono ideali, per cui se da una parte in ambito domestico è possibile godere di una buona registrazione stereofonica, in uno spettacolo dal vivo, dove la maggior parte del pubblico si trova in una posizione tutt'altro che ideale, è meglio non abusare dell'effetto stereo, per non fare in modo che le varie persone non ascoltino un concerto "diverso" fra di loro.

Due casi particolari della stereofonia:

- Se un suono viene riprodotto dai due diffusori contemporaneamente nello stesso modo, l'ascoltatore percepirà un unico suono proveniente dal centro dello spazio fra i due diffusori. Questo prende il nome di **segnale di centro**.
- Se un suono viene riprodotto dai due diffusori contemporaneamente nello stesso modo, ma in controfase un diffusore rispetto all'altro, verranno percepiti due suoni distinti provenienti dai due diffusori, che non si combineranno in alcun modo fra di loro. Questo prende il nome di **segnale di controfase**.