

Corso di Elettroacustica

Lezione 1: Il segnale audio

La natura del segnale audio

Prima di parlare del segnale audio nella sua forma di segnale elettrico, occorre parlare brevemente della natura del segnale acustico, ovvero della natura del suono. Il suono in un mezzo fluido (ad es. l'aria) è costituito da un movimento periodico di molecole, e può essere rappresentato come l'oscillazione tra due punti equidistanti da un punto centrale che rappresenta la *posizione di equilibrio*, ovvero l'assenza di suono (fig. 1).

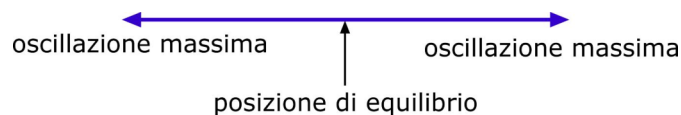


fig. 1: la posizione di equilibrio e l'oscillazione

Il movimento di molecole così descritto ha origine per l'azione di un corpo fisico che origina la vibrazione: la corda di un pianoforte, l'urto tra due oggetti, l'apparato vocale umano o animale, ecc. L'escursione tra i valori massimi di oscillazione è data dal rapporto fra *elasticità* ed *inerzia* del mezzo fluido. Le molecole messe in movimento tendono a comprimere lo spazio che le separa dalle molecole adiacenti ad esse, e queste a loro volta operano una *compressione* simile con le molecole successive, e così via, fino a quando, raggiunto il punto di oscillazione massima, le molecole invertono la direzione di movimento, generando così l'inverso della compressione, ossia una *rarefazione*. Il susseguirsi di compressioni e rarefazioni costituisce la base del suono.

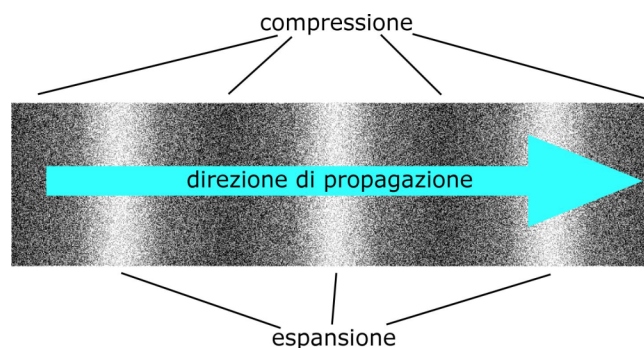


fig. 2: compressione , espansione e propagazione

La fig. 2 esemplifica graficamente il processo di compressione ed espansione in un mezzo fluido, mostrandoci anche come il processo generi una direzione di propagazione del suono, a partire dal punto in cui si è originata la vibrazione.

Se noi rappresentiamo il processo di compressione/espansione su un grafico che assegni un valore nel tempo, possiamo vedere nella fig. 3 come il suono possa essere rappresentato da una forma d'onda¹. Tale forma d'onda, nel suo stato più elementare, è costituita da una *sinusoide*, ossia dalla rappresentazione nell'asse del tempo della funzione trigonometrica *seno*.

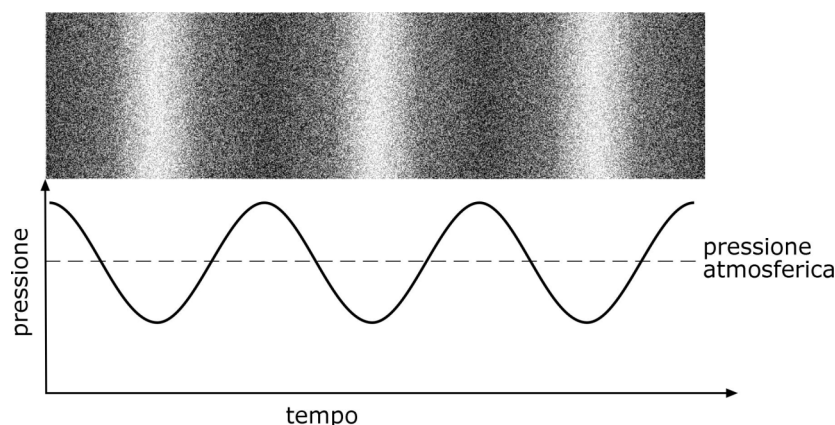


fig. 3: forma d'onda

Le considerazioni che seguono fanno riferimento, ove non specificato diversamente, all'onda sinusoidale.

Grandezze dell'onda

Un'onda acustica, libera di muoversi in un dato ambiente, avrà una grande varietà di comportamenti, si originerà in seguito ad un certo impulso fisico, seguirà un suo percorso caratterizzato nella sua conformazione dal modo stesso in cui la vibrazione ha avuto inizio, subirà riflessioni, rifrazioni e diffrazioni a seconda degli ostacoli che incontrerà e dei mezzi che attraverserà, si combinerà con altre onde acustiche generando a sua volta tutta una serie di fenomeni derivati, arriverà infine al nostro orecchio ad eccitare gli organi di senso che esso custodisce. Nella sua forma elementare, l'onda è definita da una serie di parametri, che rappresentano le grandezze dell'onda.

Le grandezze fondamentali dell'onda sono:

- 1) Frequenza
- 2) Periodo
- 3) Lunghezza
- 4) Fase
- 5) Ampiezza

¹ Come è facile intuire anche dalla figura, il valore della pressione atmosferica, che varia a seconda dell'altitudine e delle condizioni meteorologiche, rappresenta la posizione di equilibrio di cui sopra, e ci fa capire che qualsiasi misurazione della pressione acustica non ha senso come valore assoluto, ma come valore relativo alla pressione atmosferica misurata in un dato luogo e in una data condizione ambientale.

L'onda è una funzione ciclica, ovvero il suo valore ritorna il medesimo, dopo un certo lasso di tempo, quando l'oscillazione ha completato il suo ciclo. Questa grandezza temporale è chiamata *periodo*, ed è espressa nell'unità di tempo, ossia in secondi. Il numero di cicli effettuati nell'unità di tempo stabilisce la *frequenza*, e la sua unità di misura è lo *Hertz*², ossia il numero di cicli per secondo. La relazione che intercorre quindi tra frequenza (F) e periodo (T) è data dalle formule:

$$F = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{F}$$

Nella tabella sottostante sono esemplificati alcuni valori delle due grandezze.

Frequenza (hertz)	Periodo (secondi)
10	0,1
100	0,01
1000	0,001
10000	0,0001

La grandezza nota come *lunghezza d'onda* stabilisce invece una relazione tra la frequenza dell'onda e la velocità con cui essa si propaga. Se noi ci occupiamo di onde acustiche tratteremo prevalentemente di onde che si propagano in aria libera, per cui, conoscendo il valore della velocità del suono c , pari a:

$$c = (331,4 + 0,62t) \text{ mt/sec}$$

dove t = temperatura dell'aria in gradi centigradi³

possiamo ricavare il valore λ della lunghezza d'onda, secondo le formule:

$$\lambda = \frac{c}{F}; \lambda = T \cdot c$$

Abbiamo ancora una tabella per esemplificare la relazione tra le due grandezze, per $c = 342 \text{ mt/sec}$.

² da Heinrich Hertz, ricercatore tedesco nel campo dell'elettromagnetismo. Lo Hertz ha rimpiazzato nel 1960 la precedente dizione *cps* (cicli per secondo)

³ I valori più comunemente usati nella pratica sono quelli tra 342 e 344 mt/sec, e si riferiscono alla velocità del suono ad una temperatura di circa 20°. Nelle grandi installazioni sonore, dove alcune casse acustiche vengono allineate temporalmente mediante linee di ritardo applicate al segnale audio, è possibile, nel caso si disponga di sofisticate apparecchiature di taratura, immettere tra i dati anche quello della temperatura, per evitare che escursioni termiche possano compromettere una calibrazione complessa.

Frequenza (hertz)	λ (metri)
20	17,1
200	1,71
2000	0,171
20000	0,0171

Per introdurre il concetto di *fase*, dobbiamo considerare che, essendo l'onda sinusoidale il risultato di una funzione trigonometrica, la descrizione dei suoi valori avviene all'interno di un ciclo periodico di 360° , come si può osservare in fig. 4.

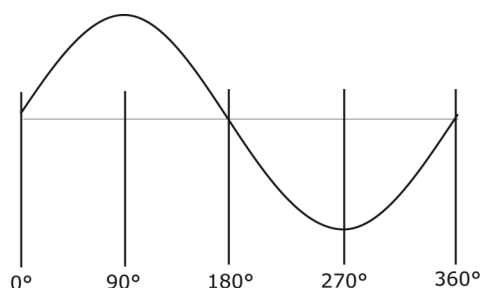


fig. 4: il ciclo dell'onda

Il valore della fase riguarda sempre il rapporto tra due onde, e precisamente descrive la posizione angolare relativa all'interno del ciclo dell'onda.

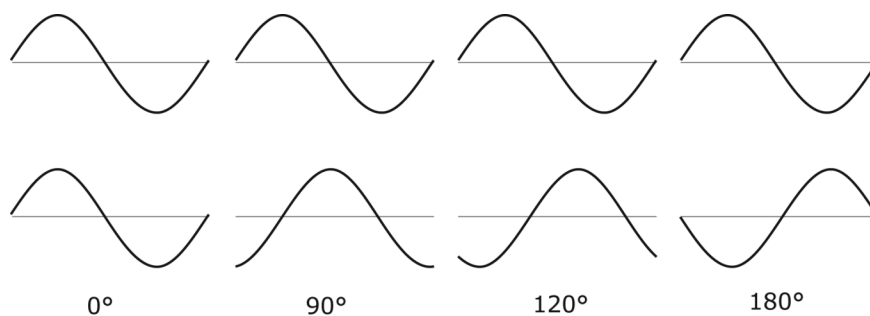


fig. 5: la fase

Nella fig. 5 è possibile osservare come l'onda disegnata in basso abbia una rotazione di fase, nei quattro esempi, rispettivamente di 0° , 90° , 120° e 180° rispetto all'onda disegnata in alto. Si noterà anche come una rotazione di fase di 180° implichi un cambio di segno dei valori (da positivo a negativo e viceversa), mentre i valori assoluti rimangano uguali.

Dell'ultima grandezza, l'*ampiezza*, si parlerà più avanti.

Propagazione dell'onda

La propagazione dell'onda non avviene secondo un unico modo. Le onde generate in un mezzo fluido possono essere di due tipi:

- 1) Onde longitudinali
- 2) Onde trasversali

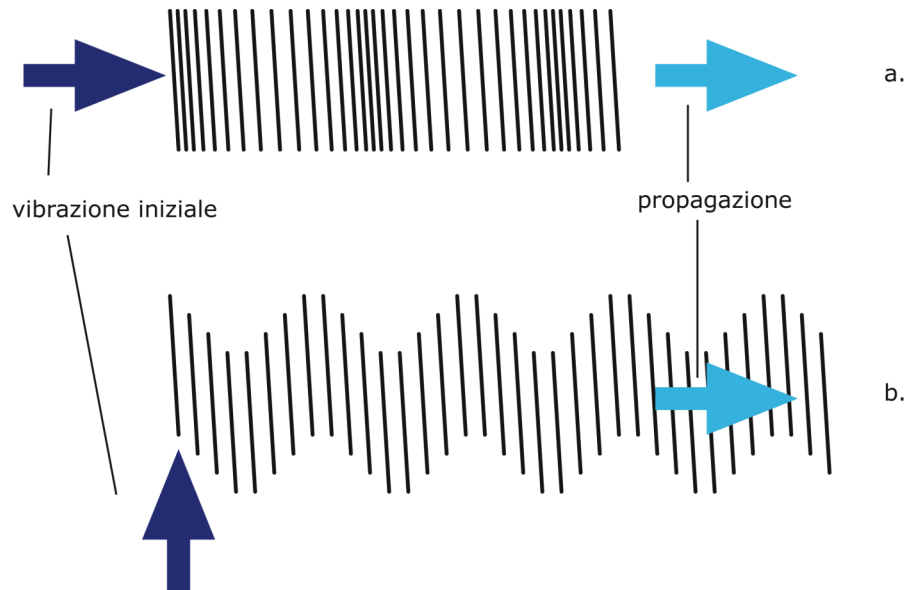


fig. 6: onde longitudinali (a.) e trasversali (b.)

Se noi immaginiamo una molla convenientemente lunga, abbiamo due modi di far propagare un'onda attraverso di essa, esemplificati in fig. 6: possiamo applicare un impulso nella direzione della molla, nel qual caso genereremo un'onda longitudinale, oppure possiamo applicare un impulso in modo ortogonale, generando così un'onda trasversale. Un semplice esempio di onda longitudinale è rappresentato dall'aria oscillante in una canna d'organo o in un tubo vibrante, mentre un esempio di onda trasversale lo fornisce una corda di pianoforte percossa da un martelletto.

Fronte d'onda

Le onde sono composte da un insieme di molecole in movimento oscillatorio, ma in questo insieme i valori delle singole molecole, ossia la loro posizione rispetto alla fase di compressione o a quella di rarefazione, possono essere uguali o differenti. L'insieme delle molecole con valori uguali costituisce il "fronte d'onda" (wavefront). Il fronte d'onda a sua volta suddivide l'onda in tre tipi:

- 1) Onde piane

- 2) Onde circolari
- 3) Onde sferiche

Un'onda piana si distingue dal fatto che le molecole a valore uguale sono disposte su di una retta, come illustrato in fig. 7.

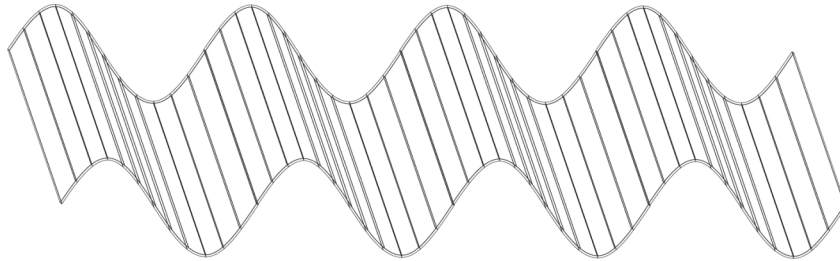


fig. 7: onda piana

In un'onda circolare le molecole a valore uguale si dispongono su di una circonferenza, e l'onda si espande quindi su di una superficie in tutte le direzioni: un esempio è rappresentato dai cerchi concentrici che si generano in uno specchio d'acqua quando viene gettato un oggetto (fig. 8).

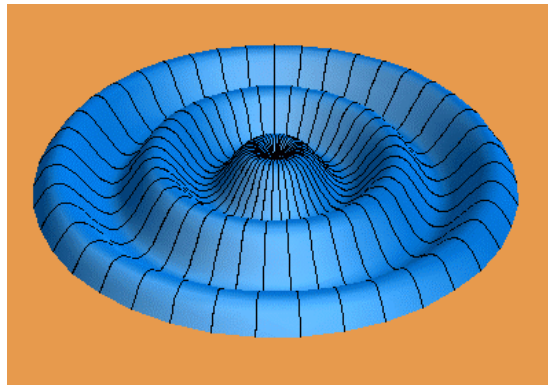


fig. 8: onda circolare

L'onda circolare si riferisce naturalmente ad una propagazione su di una superficie piana, mentre in uno spazio tridimensionale occorre parlare di *onde sferiche* per un suono che si irraggi in tutte le direzioni, oppure di *onde emisferiche* se lo spazio è delimitato dal suolo, dal soffitto, o da una parete. Un'interessante considerazione è che un'onda circolare, ad una distanza infinita dall'origine, si comporta come un'onda piana.

Monopolo e dipolo

Un'unica sorgente in grado di generare un'onda circolare prende il nome di "monopolo" (monopole, fig. 9-a.). Se noi poniamo due sorgenti monopolo, identiche in

ampiezza e opposte in fase, in posizione così ravvicinata tra di loro che la distanza è trascurabile rispetto alla lunghezza d'onda la sorgente prende il nome di "dipolo" (dipole, fig. 9-b.). In pratica, mentre una sorgente produce una compressione dell'aria, l'altra ne produce una rarefazione, stabilendo così uno specifico fattore direzionale, mentre nella direzione ortogonale alla propagazione delle due sorgenti non vi è produzione di onde acustiche.

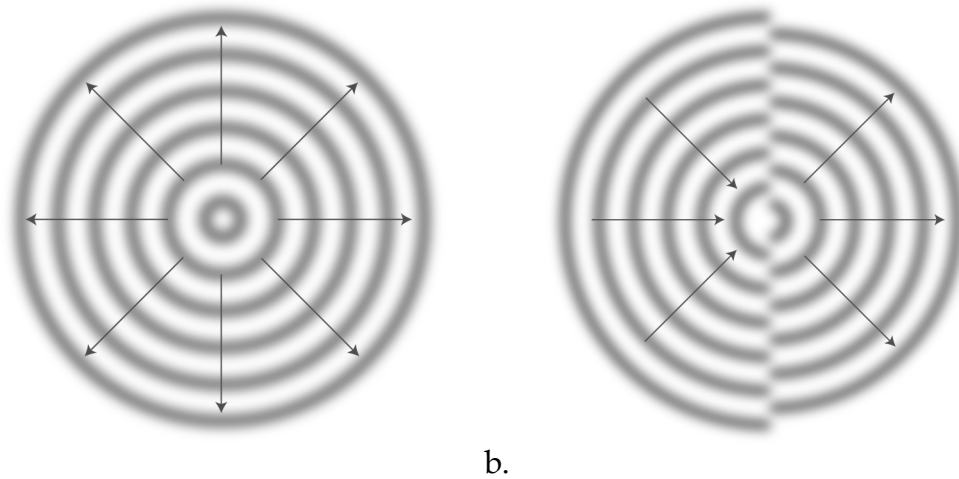


fig. 9: monopolo e dipolo