

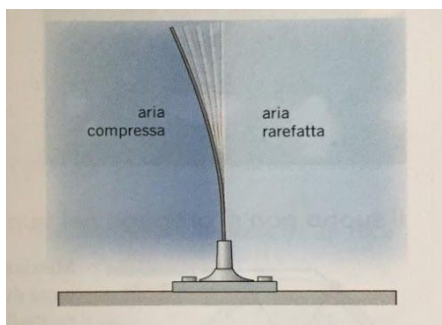


# IL SUONO

**Il suono è un'onda meccanica longitudinale stazionaria, che consiste nell'alternarsi di compressioni e rarefazioni del mezzo attraverso cui si propaga.**

Per meglio comprendere questa definizione si può fare un **esempio**:

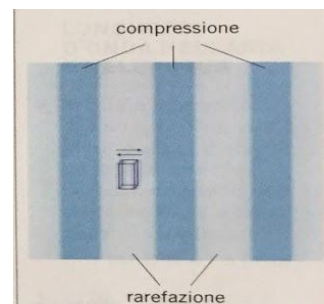
Prendiamo una sottile lamina di acciaio.



**Come viene perturbata l'aria mentre questa oscilla?**

Quando la lamina si sposta verso sinistra l'aria si comprime a sinistra e si rarefa a destra, e viceversa quando la lamina si sposta verso destra.

In un'onda che si propaga nell'aria sonora i volumetti d'aria oscillano nella stessa direzione in cui si propaga l'onda.



## Le onde sonore

Il suono è prodotto dalla vibrazione di un corpo in un mezzo materiale, come l'aria o l'acqua. Quando un corpo vibra, mette in vibrazione le particelle del mezzo nel quale è immerso che gli sono immediatamente adiacenti e trasmette a distanza la vibrazione attraverso un'onda elastica, detta onda sonora (o acustica).

Quando una corda sollecitata vibra, produce nell'aria circostante una serie ritmica di compressioni e di rarefazioni che si propagano verso l'esterno. Le variazioni della pressione dell'aria attorno a un valore medio, associate alla regolare alternanza di compressioni e rarefazioni, rappresentano l'onda sonora.

La perturbazione si allarga in modo concentrico dalla sorgente e, poiché si tratta di un'onda, non vi è trasporto di materia. Le onde sonore sono onde longitudinali, poiché la direzione di vibrazione delle molecole d'aria (o di ogni altro mezzo nel quale si propaghi l'onda) è parallela alla direzione di propagazione dell'onda.

## La sorgente:

La sorgente di ogni onda sonora è un corpo che vibra il quale mette in vibrazione le particelle del mezzo attraverso cui si propaga, il mezzo può essere di tipo aeriforme, liquido o solido, ma le onde sonore non si propagano nel vuoto.

## Le caratteristiche del suono:

A seconda delle caratteristiche dell'onda il suono cambia in **altezza** e in **intensità**, mentre a seconda della forma dell'onda il nostro orecchio percepisce un suono come una melodia o come un rumore sgradevole, quindi cambia il **timbro**.

I fenomeni della **riflessione**, dell'**interferenza** e della **risonanza**, caratteristici di tutti i tipi di onde interessano anche le onde sonore e questi risultano particolarmente visibili anche nella quotidianità.

Ogni suono è rappresentabile attraverso un'onda, più o meno complessa, a seconda che si tratti di un suono puro, come per esempio quello trasmesso da un diapason, oppure di un rumore, prodotto dalla sovrapposizione di molte onde.

**Un suono propriamente detto è un'onda sonora periodica; un rumore è un'onda sonora non periodica, ovvero che varia in modo irregolare.**

Per analizzare le caratteristiche di un'onda sonora è utile riferirsi al suono di un diapason, uno strumento costituito da una barretta di acciaio piegata a U, i cui due rami sono detti rebbi: percuotendo con un martelletto di gomma uno dei due rebbi, il diapason entra in vibrazione ed emette un suono puro (cioè di una determinata frequenza). Le onde emesse da un diapason sono sinusoidali, dove l'ampiezza dell'onda rappresenta il massimo dell'oscillazione dei rebbi.

(mostrare lo strumento)



## l'intensità:

**L'intensità dipende dall'ampiezza dell'oscillazione: a suoni più intensi corrispondono ampiezze maggiori e a suoni meno intensi, cioè più deboli, corrispondono ampiezze minori.**

Se colpiamo con più forza i rebbi del diapason otteniamo un suono più forte e l'onda corrispondente avrà ampiezza di oscillazione maggiore creando compressioni e rarefazioni dell'aria più marcate.

Più precisamente, l'intensità è definita come l'energia emessa nell'unità di tempo dalla sorgente sonora su una superficie di un metro quadrato ed è proporzionale al quadrato dell'ampiezza della vibrazione della sorgente. Nel Sistema Internazionale l'intensità del suono si misura in watt/m<sup>2</sup>.

$$I = \frac{E}{A \cdot \Delta t}$$

Intensity (W/m<sup>2</sup>) is defined as Energy (J) divided by Area (m<sup>2</sup>) and Interval of time (s).

$$I = \frac{P}{A}$$

Intensity (W/m<sup>2</sup>) is defined as Power (W) divided by Area (m<sup>2</sup>).

La nostra percezione del suono non è direttamente proporzionale all'intensità sonora, per questo è stata introdotta una misura della sensazione sonora: livello di intensità sonora.

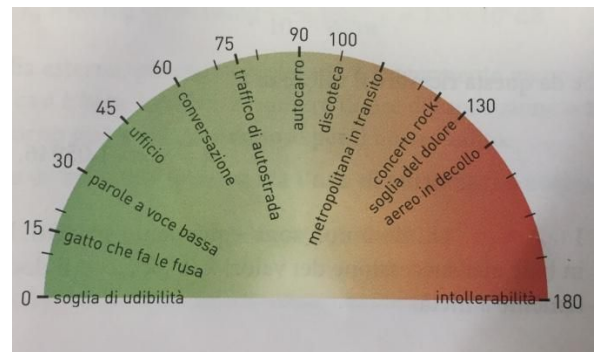
Il livello sonoro si misura in decibel (dB): al valore del suono più debole udibile dal nostro orecchio viene assegnato il valore di 0 dB e corrisponde a circa  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>. All'aumentare dell'intensità del suono aumenta il livello sonoro; per valori di livello sonoro superiori a 120 dB, la sensazione percepita dall'orecchio diventa dolorosa e quel valore viene detto soglia del dolore.

Livello di Intensità sonora (W/m<sup>2</sup>)

Intensità sonora (W/m<sup>2</sup>)

$$L_s = 10 \log_{10} \cdot I / I_0$$

Minima intensità percepibile (W/m<sup>2</sup>)  
=  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>



(si può verificare facendo emettere due suoni uno più forte uno più debole dal diapason e andando ad analizzarli con il telefono)

### L'altezza:

L'altezza dipende dalla frequenza dell'oscillazione, che distingue i suoni gravi da quelli acuti.

**I suoni più gravi corrispondono a onde di frequenza minore**  
(quindi di lunghezza d'onda maggiore);  
**I suoni più acuti corrispondono a onde di frequenza maggiore**  
(quindi minori lunghezze d'onda).

I suoni percepibili dall'orecchio umano hanno frequenze comprese tra circa 16 Hz e 20.000 Hz: al di sotto di 16Hz i suoni sono classificati come **infrasuoni**, al di sopra di 20.000 Hz come **ultrasuoni**.

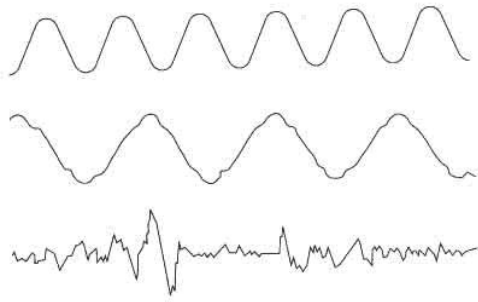
(si può verificare facendo emettere due suoni uno più grave uno più acuto da due diapason differenti e andando ad analizzarli con il telefono)

### Il timbro:

**Il timbro dipende dalla forma della vibrazione.**

Due suoni emessi da due strumenti diversi che possiedano stessa intensità e stessa altezza differiscono sempre per il timbro, che è determinato dalla forma dell'onda prodotta dallo strumento. Il diapason emette un suono puro, detto armonica, il cui andamento è descritto da una sinusoide

Uno strumento musicale, per esempio una chitarra, emette un suono complesso, la cui onda è determinata dalla sovrapposizione di più onde, ovvero di più armoniche. L'onda corrispondente a un rumore, invece, essendo composta da un elevato numero di onde sonore che si sovrappongono disordinatamente, assume un aspetto molto irregolare.



(si può verificare facendo emettere due suoni da due elementi differenti: diapason e voce?! andando ad analizzare con il telefono la loro forma)

## Riflessione

Quando un'onda sonora incontra un ostacolo può accadere che lo superi, ovvero che venga trasmessa, oppure che venga assorbita o riflessa.

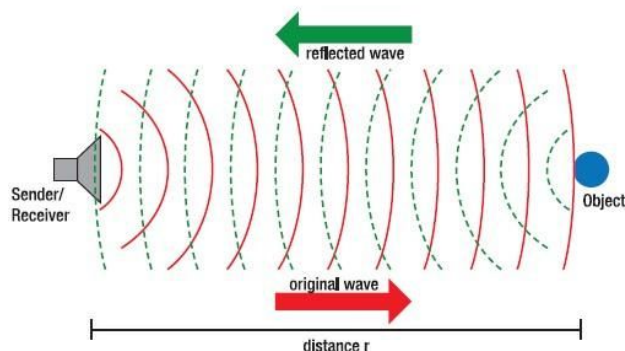
La riflessione avviene quando un'onda sonora incontra un ostacolo di grandi dimensioni e rimbalza all'indietro. Per la legge della riflessione, che vale per tutti i tipi di [onde](#), l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

### Curiosità: l'eco:

L'orecchio umano percepisce come distinti due suoni intervallati da almeno un decimo di secondo. In tale tempo le onde sonore, che in condizioni normali viaggiano a circa 330 m/s, percorrono circa 33 metri. Se la distanza tra la sorgente del suono e l'ostacolo è almeno la metà di tale valore (circa 16,5 m), l'onda incidente e quella riflessa non si sovrappongono e l'ultima parte del segnale emesso (per esempio, una sillaba nel caso di una parola) dalla sorgente si percepisce distintamente come ripetuta.

Tale fenomeno è l'eco; se la distanza tra sorgente e ostacolo è maggiore, aumenta l'intervallo dal segnale percepibile; se invece la distanza è minore, i due suoni si sovrappongono parzialmente originando il fenomeno del rimbombo.

Se poi le superfici riflettenti sono più di una, si origina un'eco multipla, ovvero il suono viene ripetuto più volte.

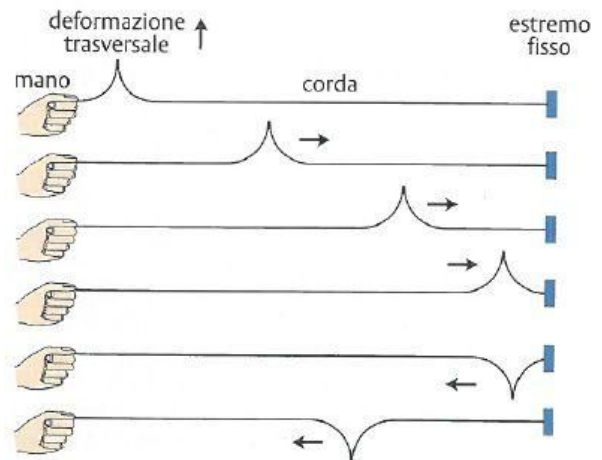


## Onde stazionarie:

### Le onde sonore sono onde stazionarie

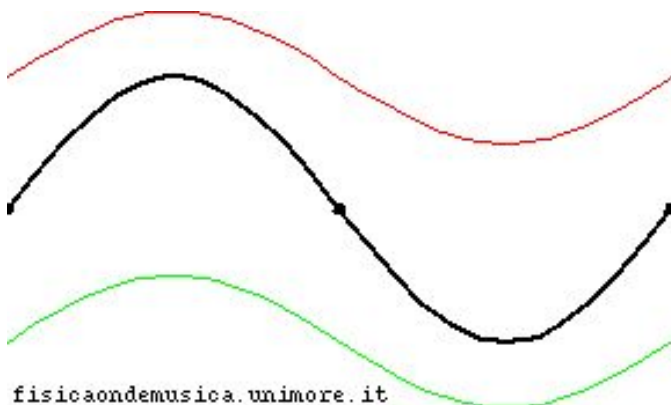
La figura mostra un impulso trasversale in una corda ancorata a un estremo fisso. L'impulso si propaga verso destra lungo l'intera corda, si riflette e torna indietro capovolto. Questo è, come le onde sonore nel fenomeno dell'eco, un esempio di riflessione di un'onda.

La sovrapposizione di più onde, tutte della stessa frequenza, che si propagano lungo la corda dà origine a un fenomeno complessivo detto onda stazionaria:



### Un'onda stazionaria

- è un'onda che non si propaga, ma rimane sempre nella stessa zona di spazio ed esistono alcuni suoi luoghi in cui non si ha oscillazione (nodi), ed altri in cui si ha sempre la massima oscillazione (ventri), essi non cambiano nel tempo.
- è un'onda che non trasporta energia da un punto all'altro dello spazio che essa occupa, ma resta distribuita in modo invariato nel tempo.



Osservando l'immagine a lato si nota che l'oscillazione in nero è stazionaria. Infatti ogni nodo, indicato da un dischetto nero, resta fisso nel tempo, e così ogni ventre, che si colloca a metà strada tra due nodi consecutivi. In rosso e verde, invece, sono indicate onde viaggianti, i cui nodi (e ventri) si muovono con velocità costante rispettivamente verso destra e verso sinistra. Osserviamo che l'onda stazionaria può essere ottenuta sommando le due onde viaggianti.

fisicaondemusica.unimore.it

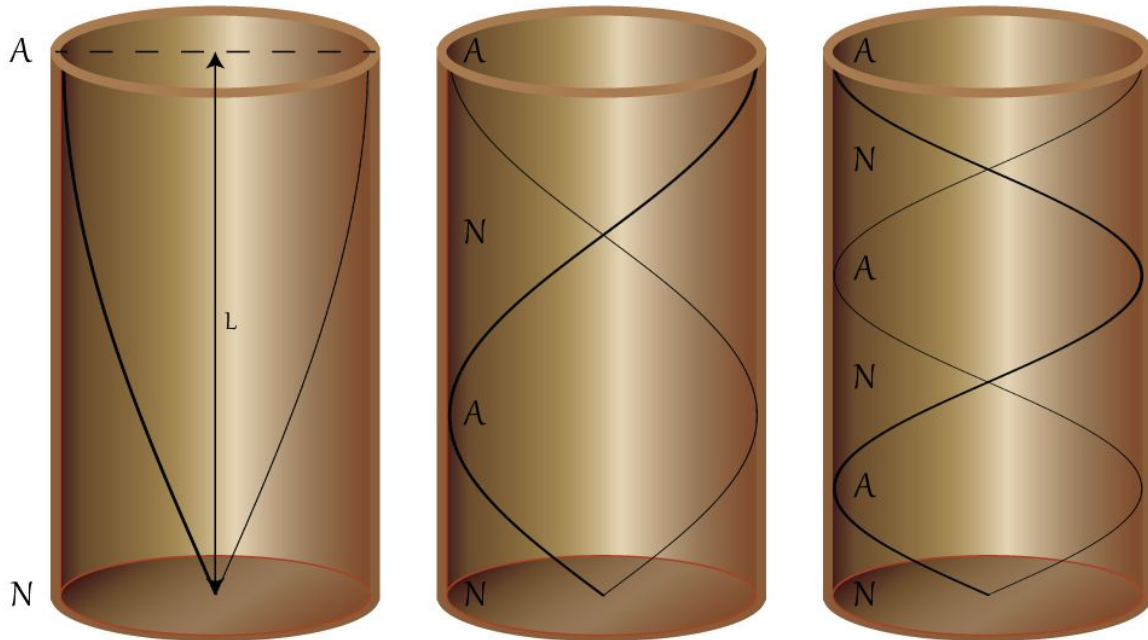
[Formazione onde stazionarie.gif](#)

## I modi normali di oscillazione o armoniche:

I modi normali di oscillazione o armoniche sono onde stazionarie in cui tutti i punti della corda oscillano di moto armonico con la stessa frequenza.

## Onde stazionarie in una colonna d'aria chiusa a un estremo

In una colonna d'aria chiusa ad un'estremità, per qualsiasi armonica, il fondo della colonna agisce da nodo, in quanto l'aria sul fondo non può oscillare mentre, al contrario, presso il collo della colonna c'è sempre un antinodo.



$\lambda_1$ , ossia la lunghezza d'onda della prima armonica, è pari a:

$$L = \lambda_1/4$$

ossia

$$\lambda_1 = 4L$$

Quindi mediante la relazione  $\lambda f = v$  troviamo  $f_1$  come:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}$$

Per trovare l'armonica successiva aggiungiamo mezza lunghezza d'onda alla precedente: in questo caso  $L$  corrisponderà a  $3/4 L$ . In questo caso l'armonica successiva sarà quindi:

$$\frac{v}{\lambda} = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$

Questa che abbiamo ricavato è la terza armonica, in quanto è il triplo dell'armonica fondamentale. Per trovare l'armonica ancora successiva aggiungiamo un'altra mezza lunghezza d'onda vediamo che  $5\lambda/4 = L$ .

Ricavando la sua frequenza troviamo che:

$$\frac{v}{\lambda} = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

Notiamo che la frequenza non varia, esistono solo la prima, la terza, la quinta, la settima armonica e così via. Generalizziamo questo ragionamento per l'n-esima armonica:

$$f_n = n f_1 = n \frac{v}{4L}$$

$$\lambda_n = \frac{\lambda_1}{n} = \frac{4L}{n} \quad \text{con } n = 1,3,5... \text{ } n \text{ dispari}$$

### La velocità del suono:

**la velocità di propagazione del suono cambia da un mezzo ad un altro, e in ciascun materiale dipende anche da temperatura e pressione.**

Sperimentalmente è stato dimostrato che:

- in aria secca, alla pressione atmosferica di  $1.01 \cdot 10^5$  Pa e alla temperatura di  $0^\circ\text{C}$  il suono si propaga ad una velocità di 332 m/s.
- in aria secca, alla pressione atmosferica di  $1.01 \cdot 10^5$  Pa e alla temperatura di  $25^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente) il suono si propaga ad una velocità di 340 m/s.

### Velocità di suono in diversi mezzi e materiali

	temperatura( $^\circ\text{C}$ )	velocità(m/s)
acciaio vulcanizzato		

La velocità di propagazione del suono nell'aria è molto inferiore alla velocità di propagazione della luce, che è di circa 300.000 km/s nel vuoto, e questo è il motivo per cui durante un temporale, per esempio, i tuoni associati ai lampi vengono uditi con un certo ritardo di tempo, che dipende dalla distanza alla quale si è verificato il fenomeno. Misurando dopo quanti secondi o frazioni di secondo udiamo un tuono dopo aver visto un lampo, in base alla velocità del suono possiamo calcolare approssimativamente a quale distanza si è prodotto il fulmine.

*(esperimento velocità suono in aria: cannuccie)*





