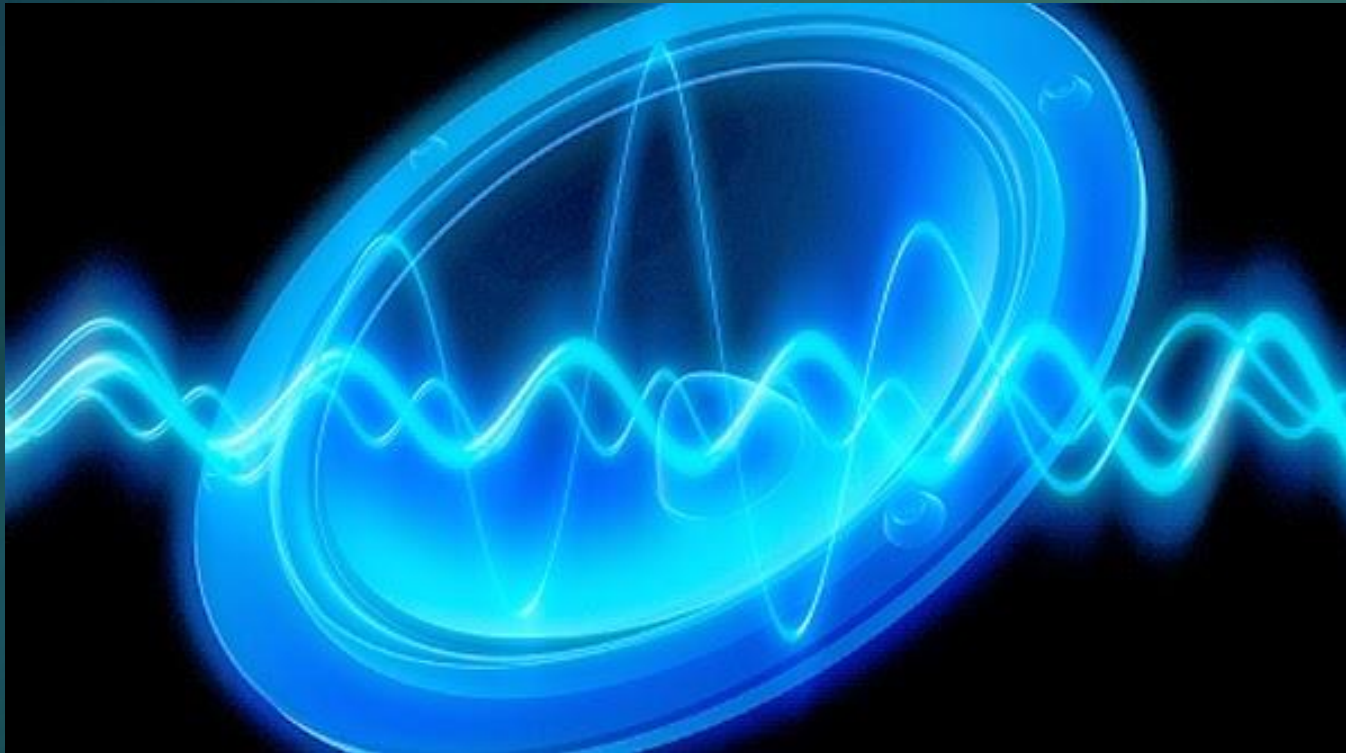


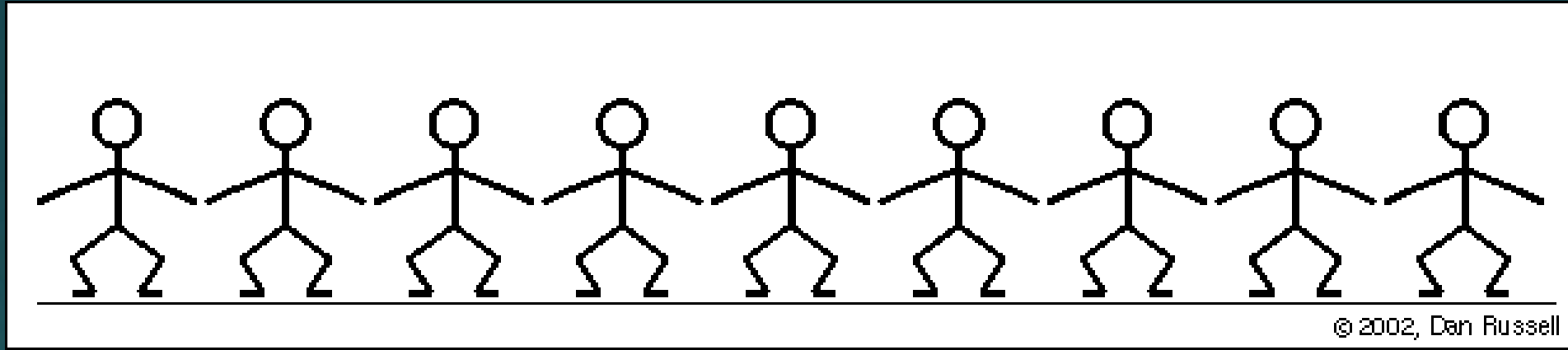
IL MONDO DELLE ONDE



CHE COS'E' UN'ONDA?



LA PROPAGAZIONE DI UNA PERTURBAZIONE



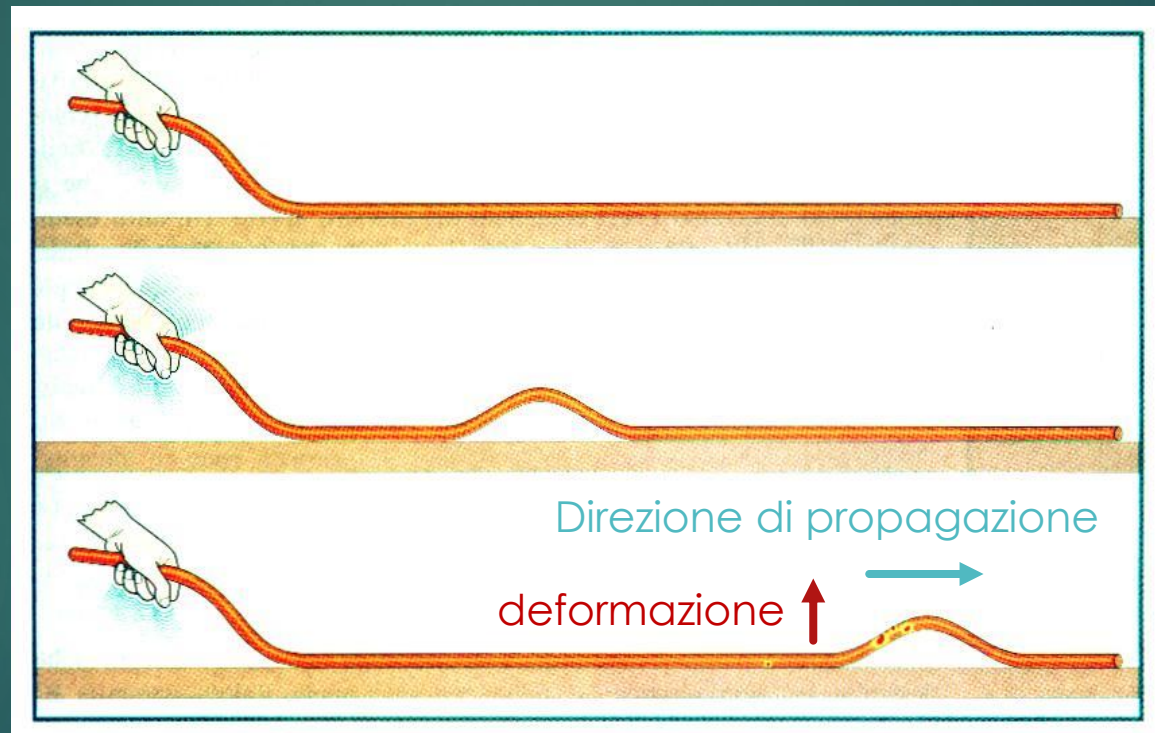
Trasferimento della perturbazione creata localmente mediante interazione tra gli elementi contigui



TRASFERIMENTO DI ENERGIA, NON DI MATERIA!

Quando deformiamo localmente una corda, la deformazione si propaga lungo la corda.

In questo caso, parleremo di propagazione di un **IMPULSO**



Quando la direzione della deformazione è **ORTOGONALE** alla direzione di propagazione parleremo di **ONDE TRASVERSALI**

PROPAGAZIONE DI UN'ONDA IN UNA CORDA

1. La velocità di propagazione di un'onda è determinata **dalle proprietà del mezzo** attraverso cui essa si propaga
2. All'aumentare della tensione aumenta anche la velocità delle onde che viaggiano sulla corda
3. Ci aspettiamo che una maggiore massa porti a un'onda più lenta

PROPAGAZIONE DI UN'ONDA IN UNA CORDA

La massa totale della corda dipende dalla sua lunghezza; ciò che conta per la velocità è **la massa per unità di lunghezza**

Densità lineare, μ

$$\mu = \text{densità lineare (massa per unità di lunghezza)} = \frac{m}{L}$$

Nel SI si misura in kilogrammi al metro (kg/m).

PROPAGAZIONE DI UN'ONDA IN UNA CORDA

Nel caso di una corda, la velocità dell'onda è determinata da due caratteristiche:

1. la **tensione** F nella corda
2. la **densità lineare** μ della corda

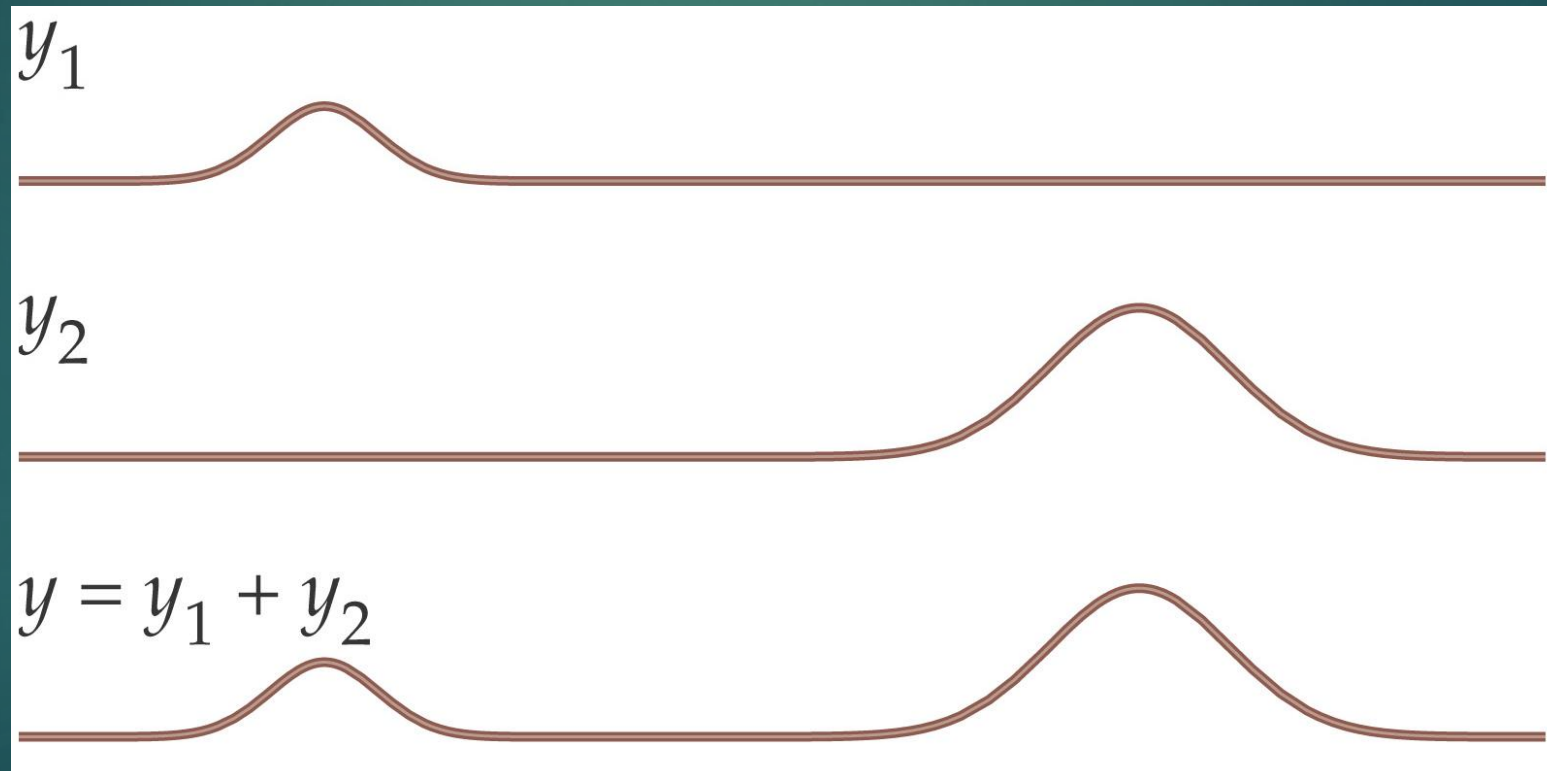
Velocità di propagazione di un'onda in una corda, v

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Nel SI si misura in metri al secondo (m/s).

SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Onde di piccola ampiezza che si propagano nello stesso mezzo si combinano (si sovrappongono) nel modo più semplice: si **sommano**



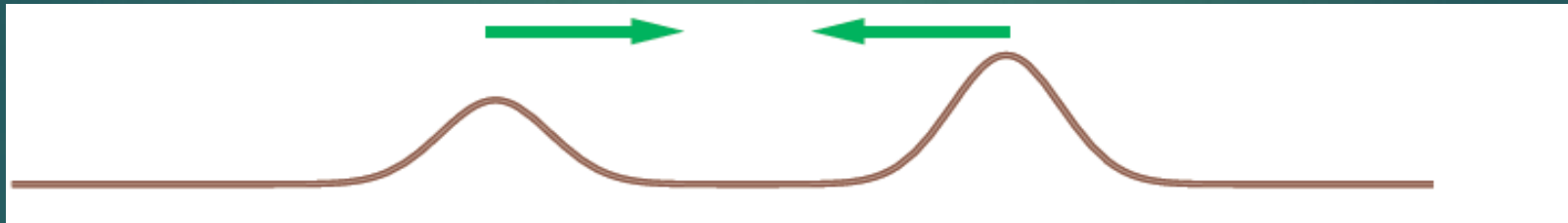
SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se due impulsi, combinandosi, danno origine a un impulso di ampiezza maggiore, abbiamo un'**interferenza costruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se due impulsi, combinandosi, danno origine a un impulso di ampiezza maggiore, abbiamo un'**interferenza costruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se due impulsi, combinandosi, danno origine a un impulso di ampiezza maggiore, abbiamo un'**interferenza costruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se due impulsi, combinandosi, danno origine a un impulso di ampiezza maggiore, abbiamo un'**interferenza costruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se due impulsi, combinandosi, danno origine a un impulso di ampiezza maggiore, abbiamo un'**interferenza costruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se l'ampiezza risultante è minore abbiamo **un'interferenza distruttiva**



SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se l'ampiezza risultante è minore abbiamo **un'interferenza distruttiva**



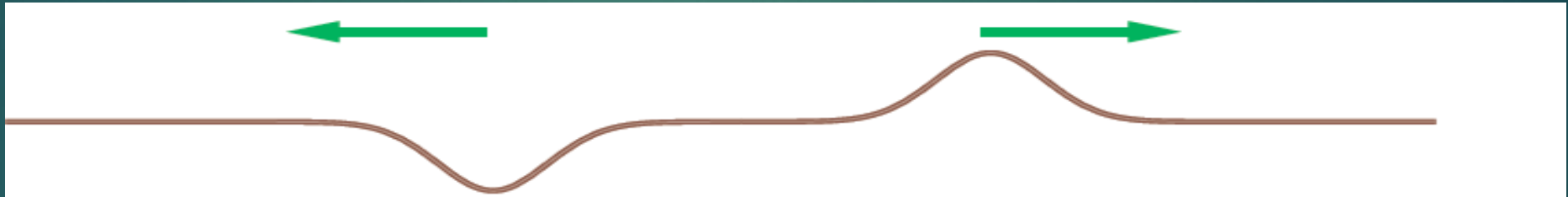
SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se l'ampiezza risultante è minore abbiamo **un'interferenza distruttiva**

Interferenza distruttiva

SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se l'ampiezza risultante è minore abbiamo **un'interferenza distruttiva**

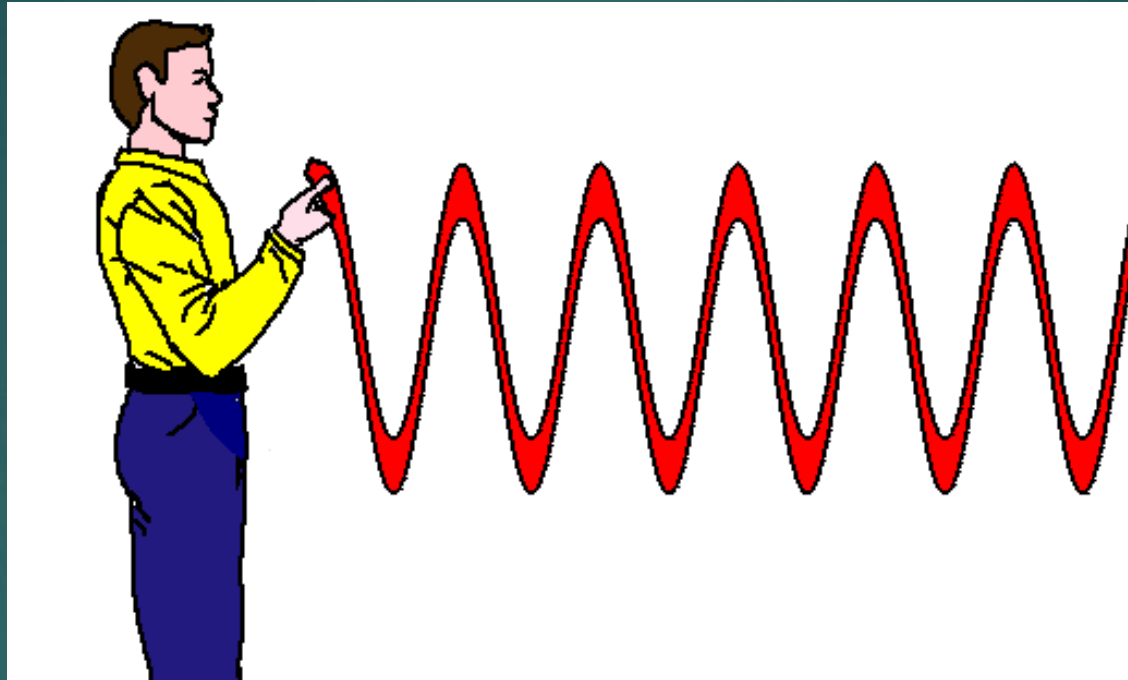


SOVRAPPOSIZIONE DI ONDE

Se l'ampiezza risultante è minore abbiamo **un'interferenza distruttiva**



ONDE PERIODICHE



Se muoviamo l'estremo della corda con moto periodico perpendicolare a essa, lungo la corda si propaga una perturbazione detta **onda periodica**.

L'onda è formata da una successione di regioni della corda che oscillano alternativamente verso l'alto e verso il basso e si propagano verso destra trasferendo la perturbazione.

ONDE PERIODICHE

Fermiamo il tempo!

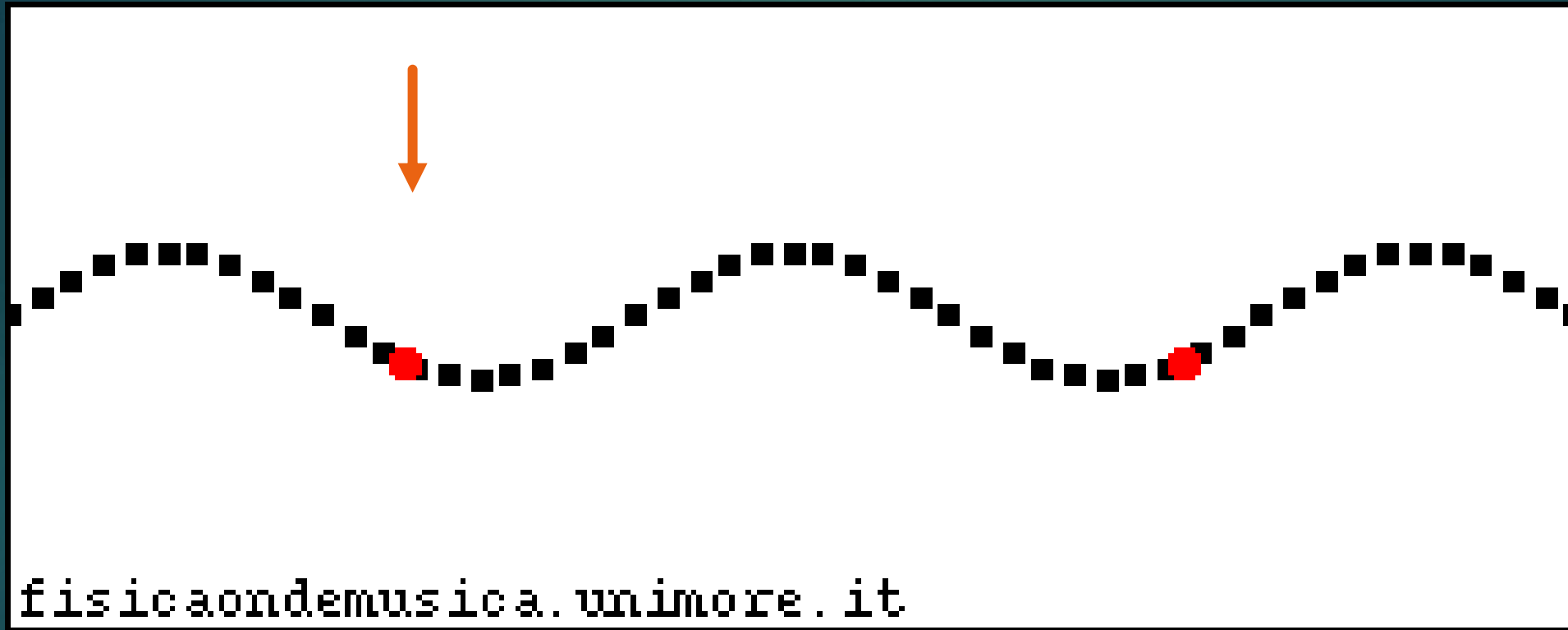


Lunghezza d'onda, λ

λ = distanza dopo la quale un'onda si ripete

Nel SI si misura in metri (m).

ONDE PERIODICHE



Periodo T: tempo necessario perché un punto, partendo dal massimo valore di deformazione, ritorni allo stesso punto.

ONDE PERIODICHE

Definiamo **FREQUENZA** f , l'inverso del periodo T

$$f = \frac{1}{T}$$

Nel Sistema di misure internazionale, la frequenza si misura in **Hertz**

$$\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

ONDE PERIODICHE

Periodo T: tempo necessario perché **una lunghezza d'onda passi per un dato punto**

Velocità di propagazione di un'onda, v

$$v = \frac{\text{distanza percorsa}}{\text{tempo impiegato}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Nel SI si misura in metri al secondo (m/s).

ONDE PERIODICHE

ESEMPIO:

Supponiamo un'onda con una frequenza $f = 10000 \text{ Hz}$ che si propaga con una velocità $v = 343 \text{ m/s}$.

Qual è la lunghezza d'onda?

$$v = \lambda \cdot f \quad \longrightarrow \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343 \text{ m/s}}{10000 \text{ Hz}} = 0.0343 \text{ m} = 3.43 \text{ cm}$$

EQUAZIONE DI UN'ONDA

$$y = A \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{\lambda} x - 2\pi f t \right)$$

Ampiezza

Parte spaziale

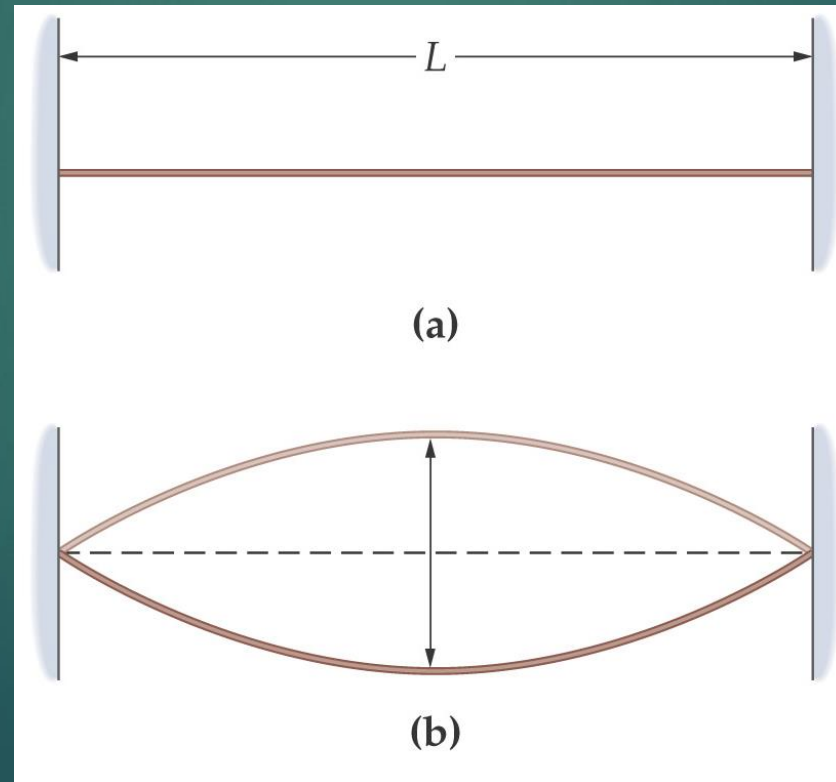
Parte temporale

The diagram shows the wave equation $y = A \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{\lambda} x - 2\pi f t \right)$ on a dark teal background. Three red ovals highlight the terms A , $\frac{2\pi}{\lambda} x$, and $2\pi f t$. Red arrows point from the labels 'Ampiezza', 'Parte spaziale', and 'Parte temporale' to these respective terms. A solid red rectangle is located in the top right corner of the slide.

ONDE STAZIONARIE

Un'onda stazionaria occupa **una posizione fissa ma oscilla nel tempo**

Le onde stazionarie sono tipiche delle corde fissate ai due estremi (ad esempio negli strumenti musicali) e delle colonne d'aria vibranti



ONDE STAZIONARIE

La frequenza minima, o **fondamentale**, su una corda fissata a entrambi gli estremi corrisponde a una lunghezza d'onda doppia della lunghezza della corda

Onde stazionarie in una corda

Frequenza e lunghezza d'onda fondamentale:

$$f_1 = \frac{v}{2L} \quad \lambda_1 = 2L$$

Frequenza e lunghezza d'onda dell' n -esima armonica, con $n = 1, 2, 3, \dots$:

$$f_n = nf_1 = n \frac{v}{2L} \quad \lambda_n = \frac{\lambda_1}{n} = \frac{2L}{n}$$

ONDE STAZIONARIE

Perché corde diverse abbiano frequenze fondamentali diverse devono avere lunghezza e/o densità lineare diverse

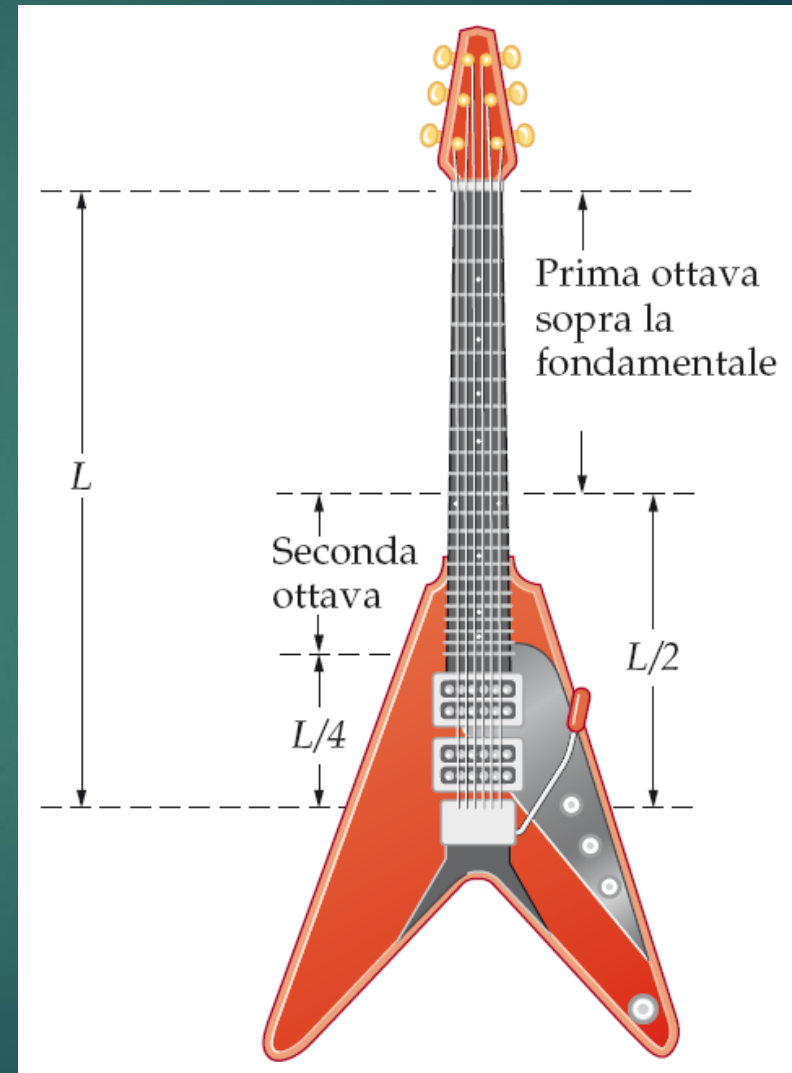
Le corde di una chitarra hanno **tutte la stessa lunghezza ma densità diverse**

Ricorda che:

Velocità di propagazione di un'onda in una corda, v

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Nel SI si misura in metri al secondo (m/s).



ONDE STAZIONARIE



Le corde di un pianoforte hanno lunghezza e densità diverse: questo spiega la forma di un pianoforte a coda

Una volta decisa la lunghezza e la composizione della corda, quest'ultima viene accordata alla frequenza desiderata variandone la tensione

Gli strumenti a corda sono concepiti in modo che la differenza di tensione tra le varie corde sia limitata, così da limitare il rischio di deformazioni e altri danni



ONDE LONGITUDINALI



■ ONDA LONGITUDINALE

Un'onda è **longitudinale** quando la direzione della perturbazione è uguale alla direzione di propagazione dell'onda.

ONDE LONGITUDINALI PERIODICHE

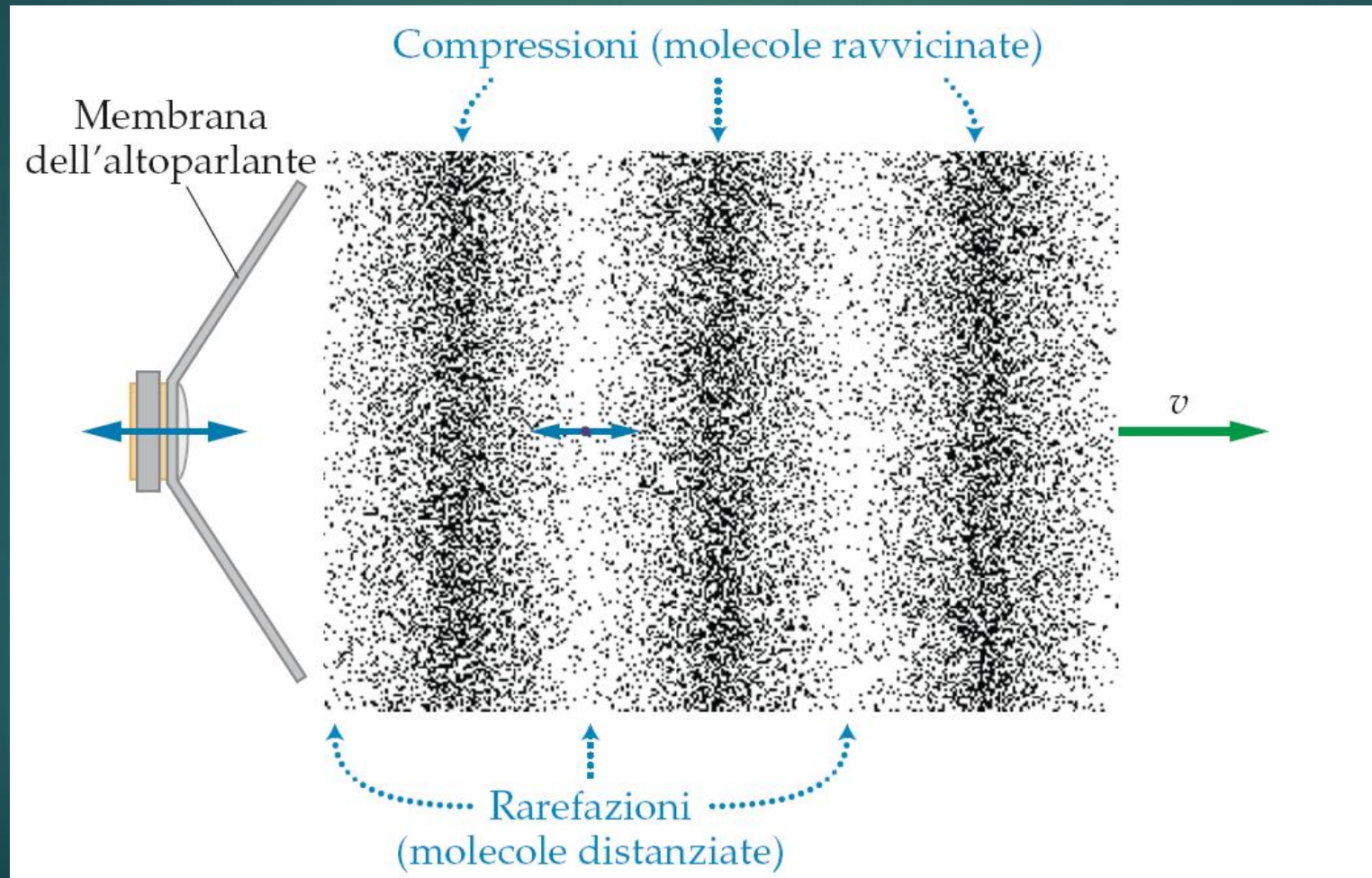


Se muoviamo avanti e indietro con moto periodico un estremo della molla nella direzione della sua lunghezza, lungo la molla si propaga un'onda periodica.

L'onda è formata da una successione di regioni della molla alternativamente compresse e diradate che si propagano lungo la molla.

ONDE SONORE

Le onde sonore sono onde longitudinali

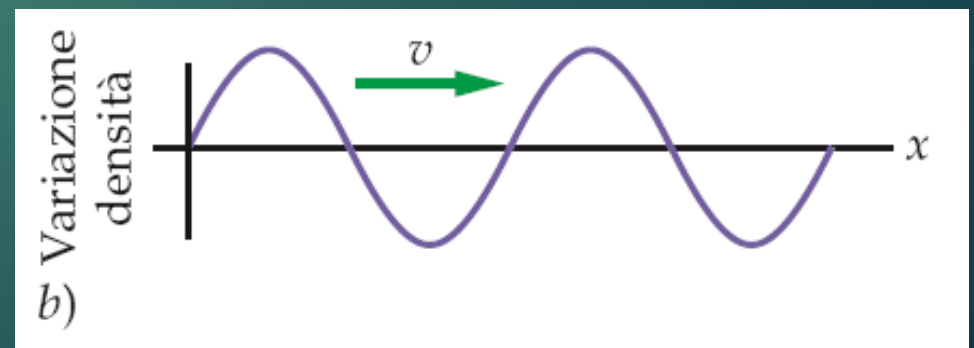
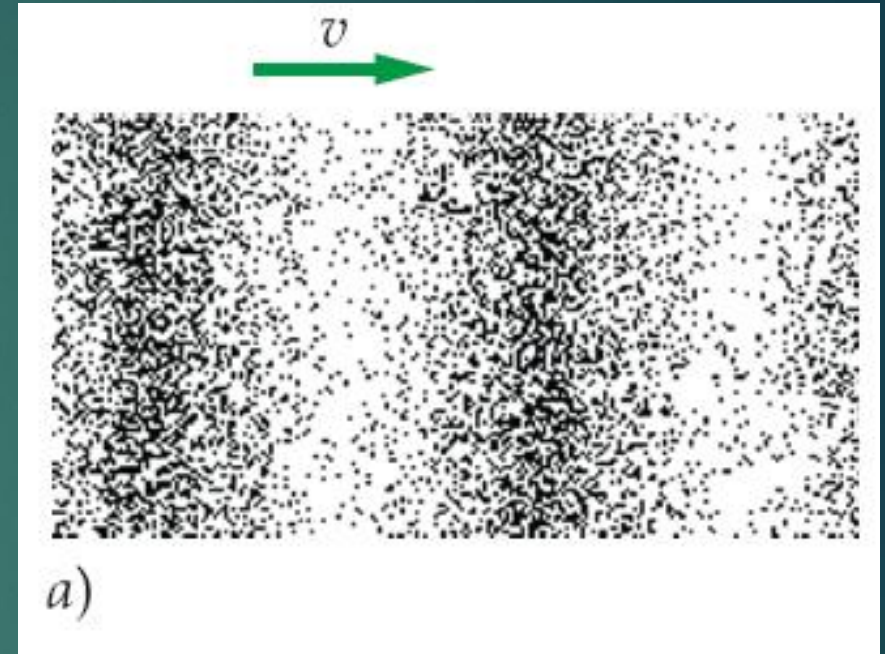


ONDE SONORE

Un'onda sonora modifica localmente il numero di molecole per unità di volume

$$\text{DENSITA}' = \frac{\text{NUMERO DI MOLECOLE}}{\text{UNITA' DI VOLUME}}$$

In un'onda sonora la grandezza che oscilla è la densità dell'aria (o del mezzo in cui si propaga l'onda)



ONDE SONORE

La velocità del suono varia in funzione del mezzo di propagazione; in generale, più è denso il materiale e maggiore è la velocità delle onde sonore al suo interno

Materiale	Velocità (m/s)
Alluminio	6420
Granito	6000
Acciaio	5960
Vetro Pyrex	5640
Rame	5010
Plastica	2680
Acqua dolce (20 °C)	1482
Acqua dolce (0 °C)	1402
Idrogeno (0 °C)	1284
Elio (0 °C)	965
Aria (20 °C)	343
Aria (0 °C)	331

ONDE SONORE

Il suono per propagarsi ha bisogno di un mezzo materiale



Il suono nel vuoto non si propaga!

ONDE SONORE

Perchè un aereo fa “rumore”?

L'aereo durante il suo percorso comprime le molecole d'aria che si trova di fronte, creando delle onde che si diffondono in tutte le direzioni.



ONDE SONORE

L'orecchio umano è in grado di udire suoni di frequenza compresa tra **20 Hz** e **20 000 Hz**

Suoni con frequenze superiori a 20 000 Hz sono detti **ultrasuoni**

Suoni con frequenze inferiori a 20 Hz sono detti **infrasuoni**

ONDE SONORE

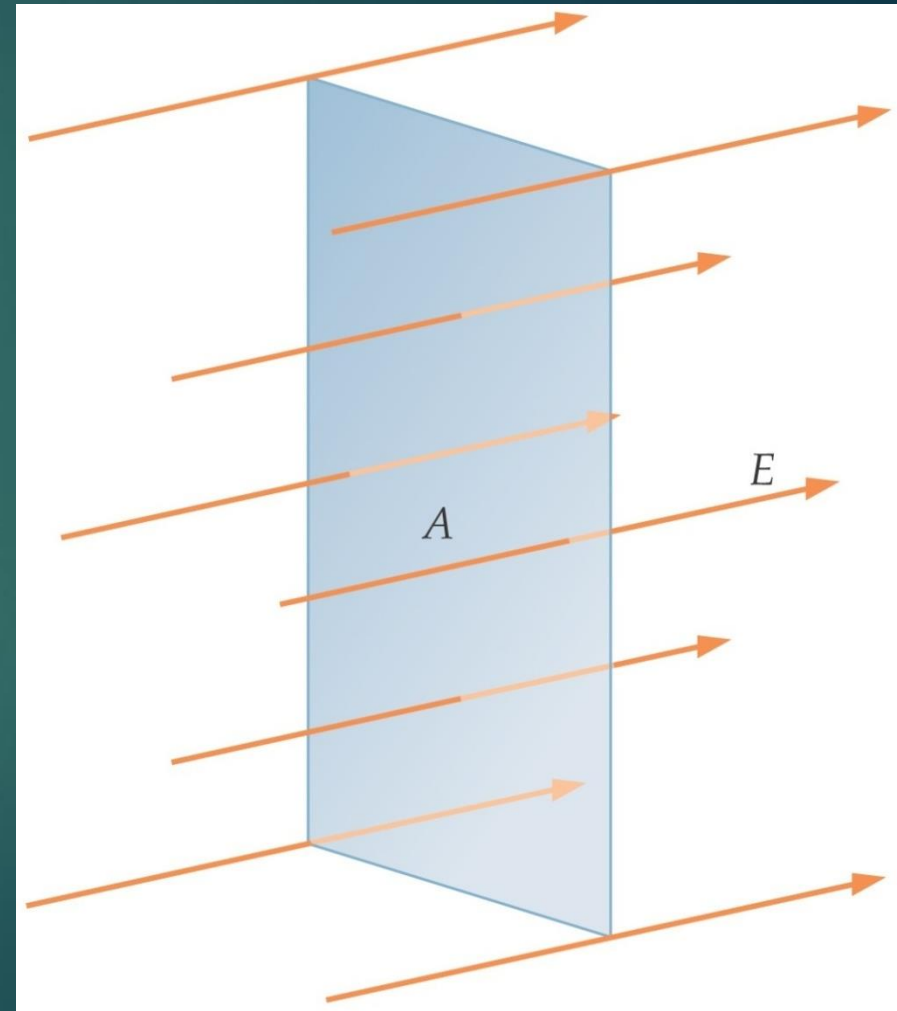
L'**intensità** di un suono è la quantità di energia che attraversa una data area in un dato intervallo di tempo

$$I = \frac{E}{At}$$

L'intensità del suono emesso da una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza

Intensità in funzione della distanza da una sorgente puntiforme

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$



ONDE SONORE

Per definire i **valori di intensità** si utilizza una **scala logaritmica**

Livello di intensità, β

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Nel SI si misura in decibel (dB), che è una grandezza adimensionale.

Minimo valore di intensità rilevabile, I_0

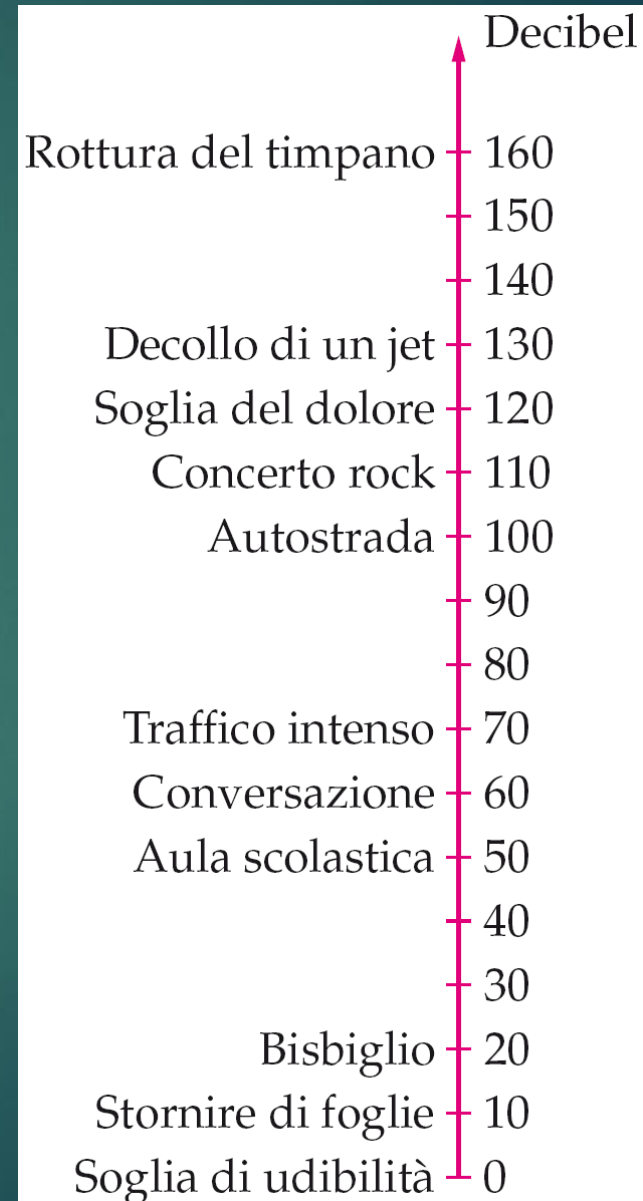
$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

ONDE SONORE

La **quantità β** è detta bel;

di solito si usa il **decibel (dB)**, che corrisponde a un decimo di bel

L'intensità di un suono raddoppia ogni volta che il livello di intensità aumenta di 10 dB



COME SI RIVELA UN'ONDA SONORA?



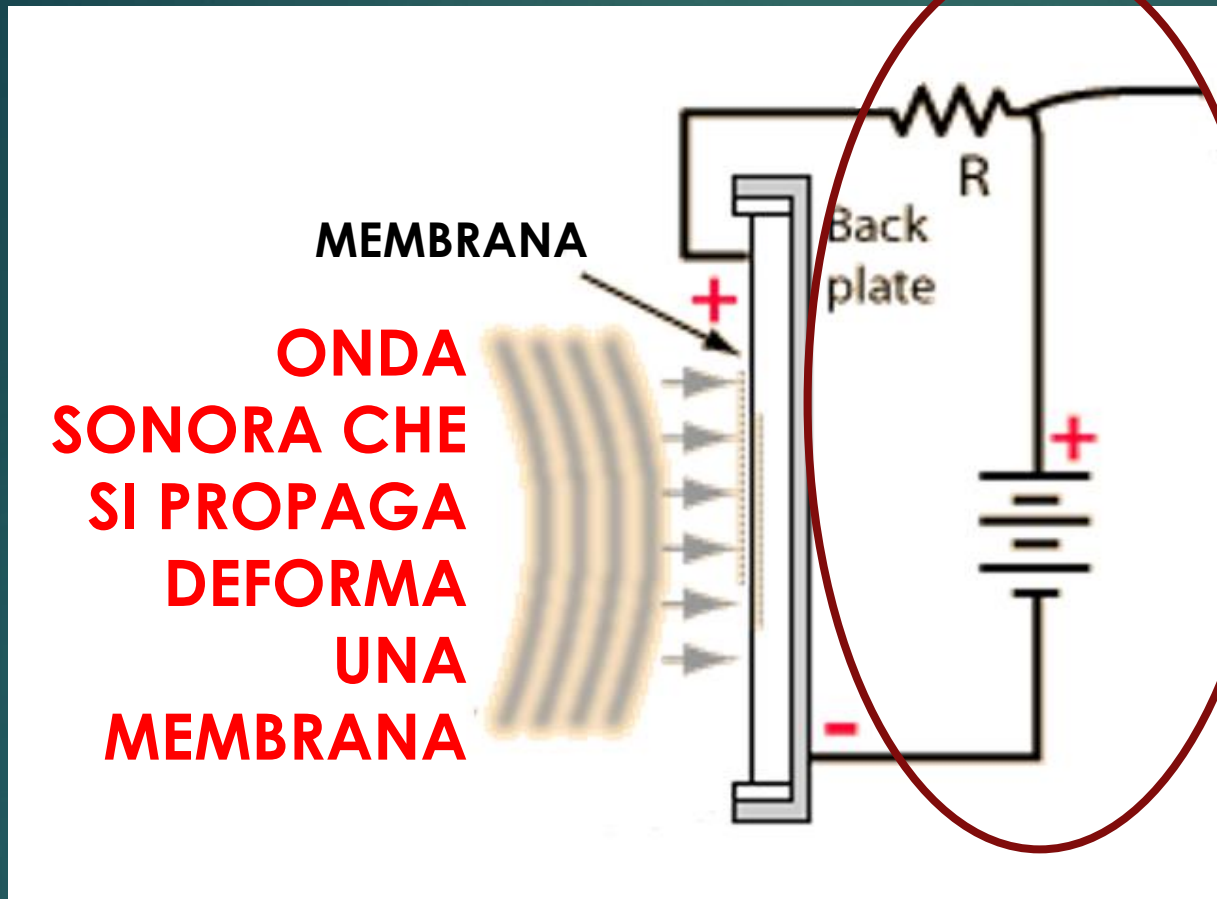
**SORGENTE
SONORA**

**MEZZO DI
PROPAGAZIONE**

RIVELATORE



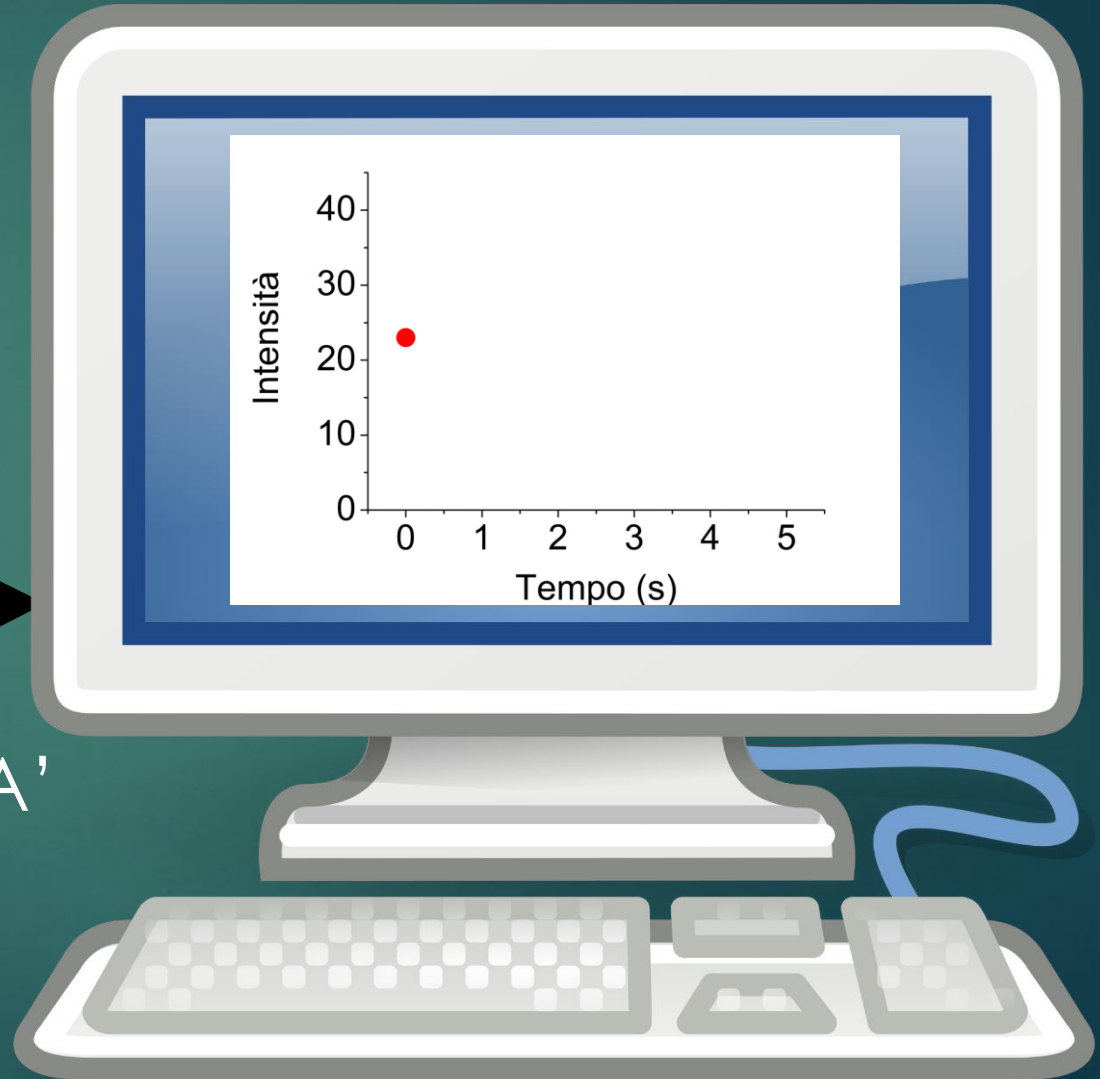
COME FUNZIONA UN MICROFONO?



Circuito elettrico che trasforma la deformazione meccanica in un segnale elettrico

UN DISPOSITIVO CHE TRASFORMA UNA GRANDEZZA FISICA IN UN'ALTRA GRANDEZZA FISICA E' UN **TRASDUTTORE**

COME SI RIVELA UN'ONDA SONORA?



IL COMPUTER REGISTRA L'INTENSITA'
DELL'ONDA IN DIVERSI ISTANTI DI
TEMPO

CAMPIONAMENTO DELL'ONDA

COME SI RIVELA UN'ONDA SONORA?



JEAN BAPTISTE JOSEPH FOURIER (1768-1830)

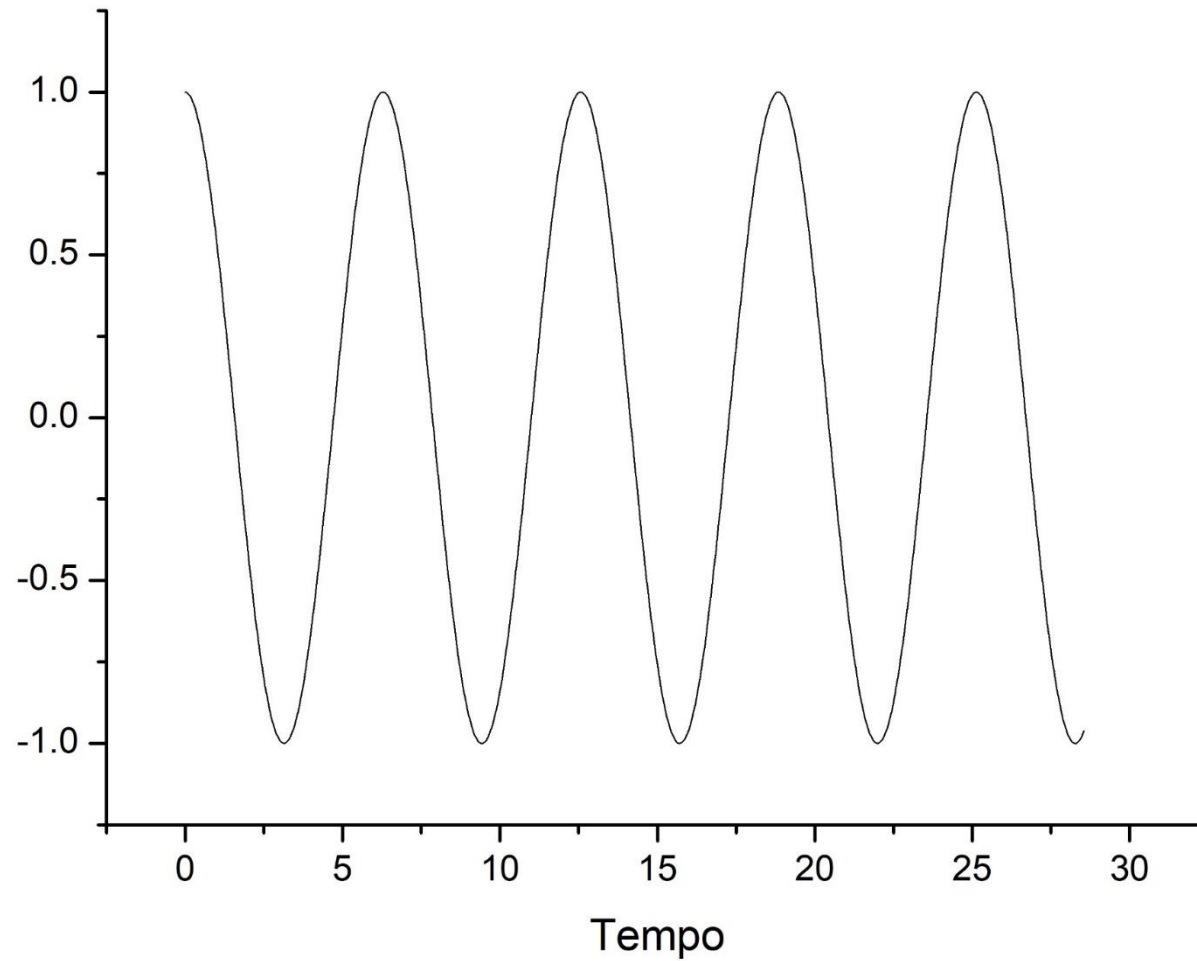


« Ogni segnale in funzione del tempo può essere rappresentato come una somma di seni aventi ampiezza e frequenza diverse »

$$\text{Segnale} = A \text{sen}(2\pi f_1 t) + B \text{sen}(2\pi f_2 t) + C \text{sen}(2\pi f_3 t) + \dots$$

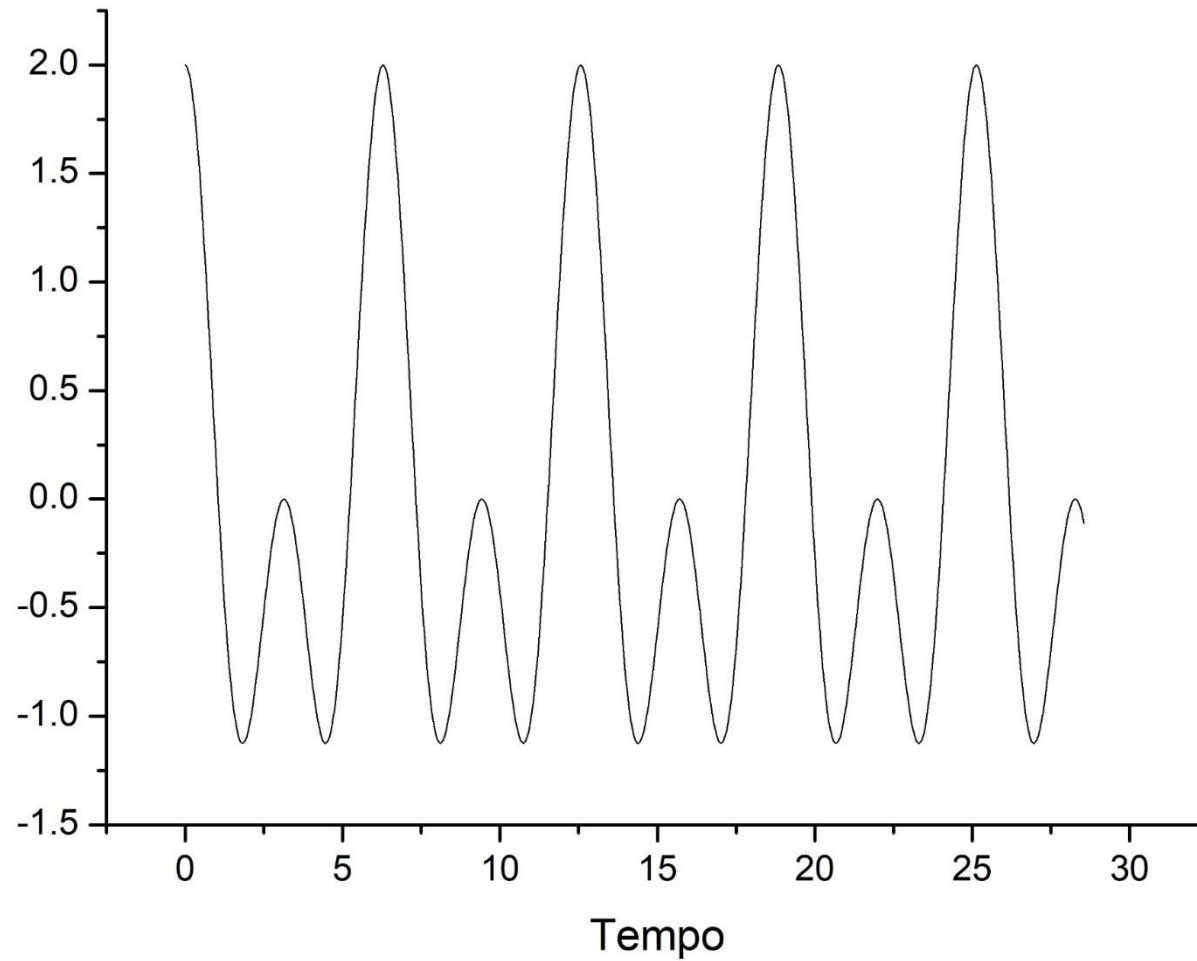
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

f



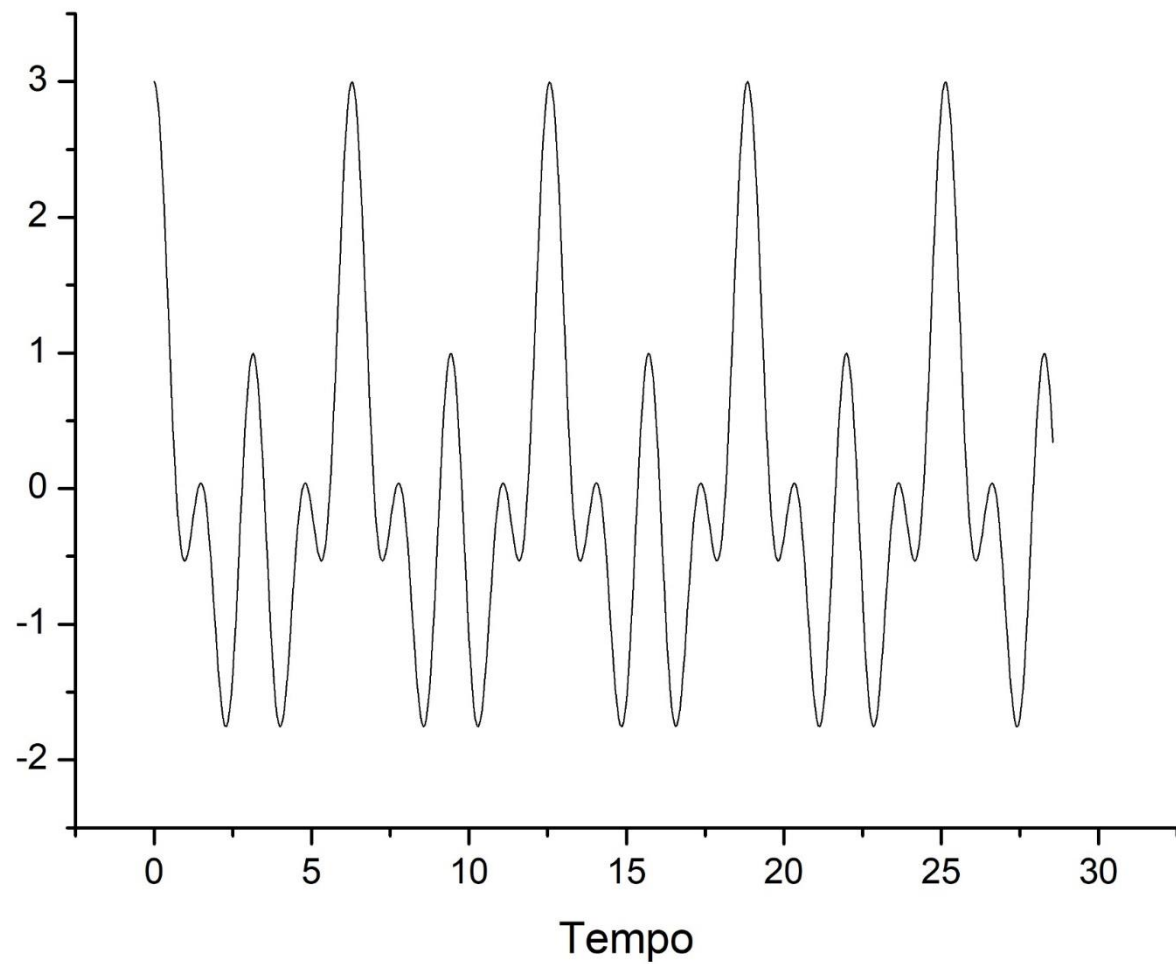
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

2f



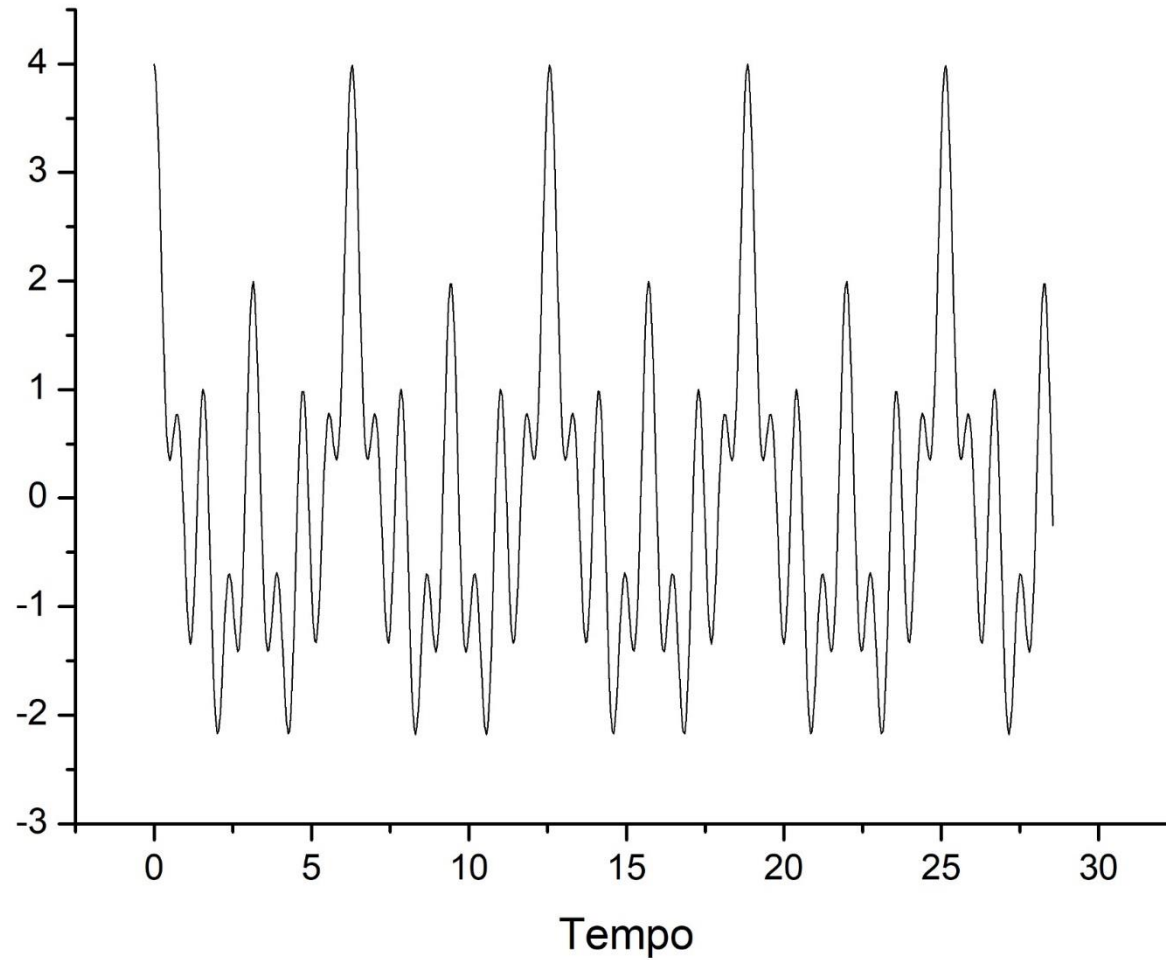
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

4f



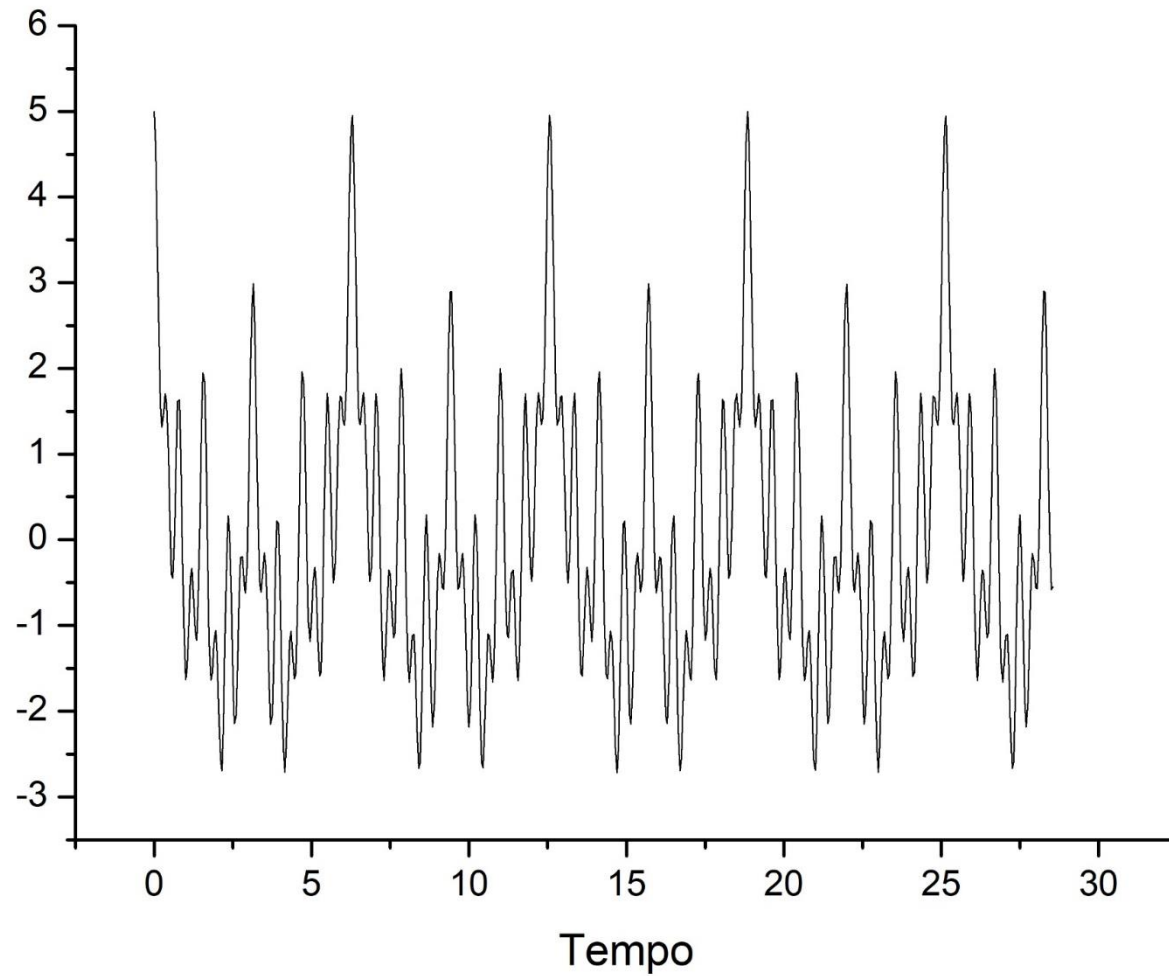
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

8f



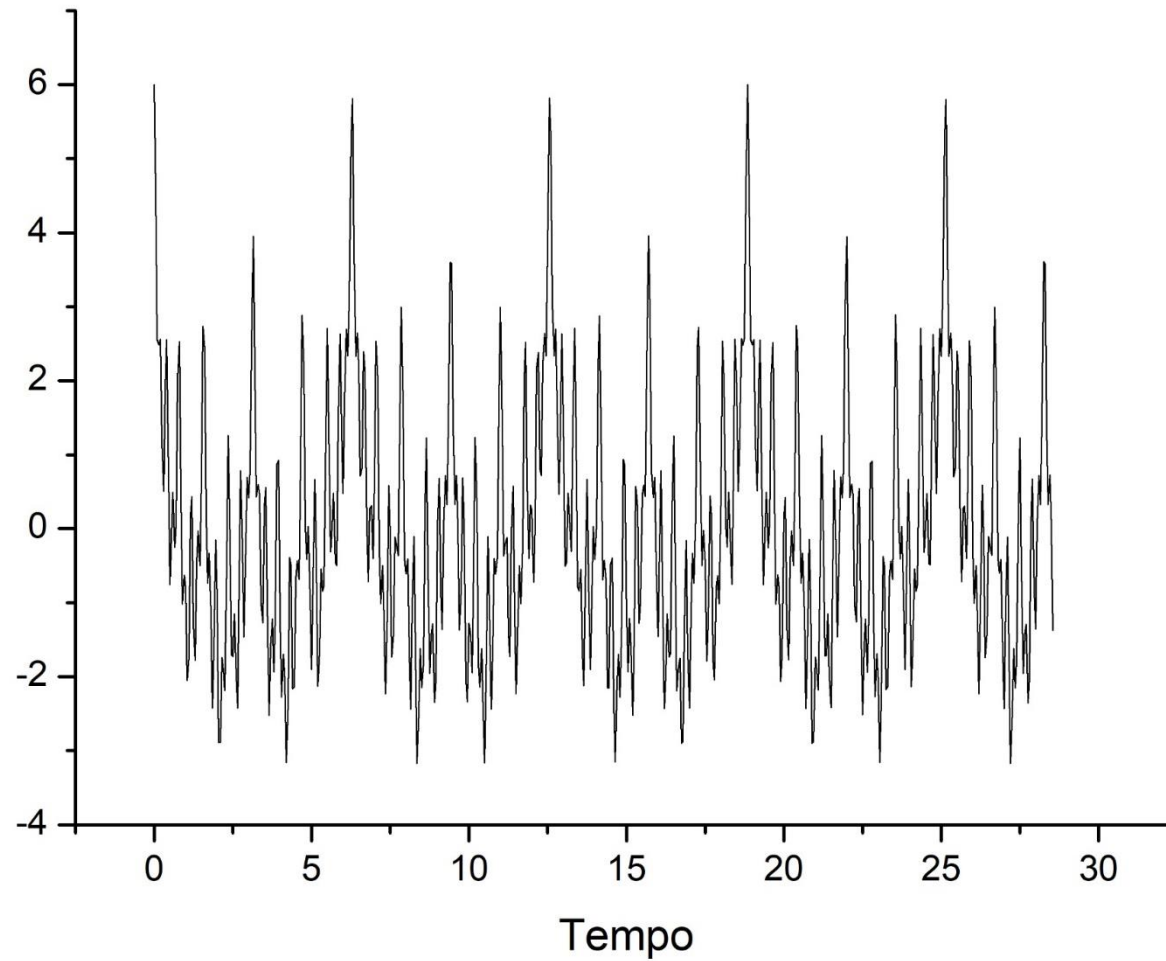
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

16f



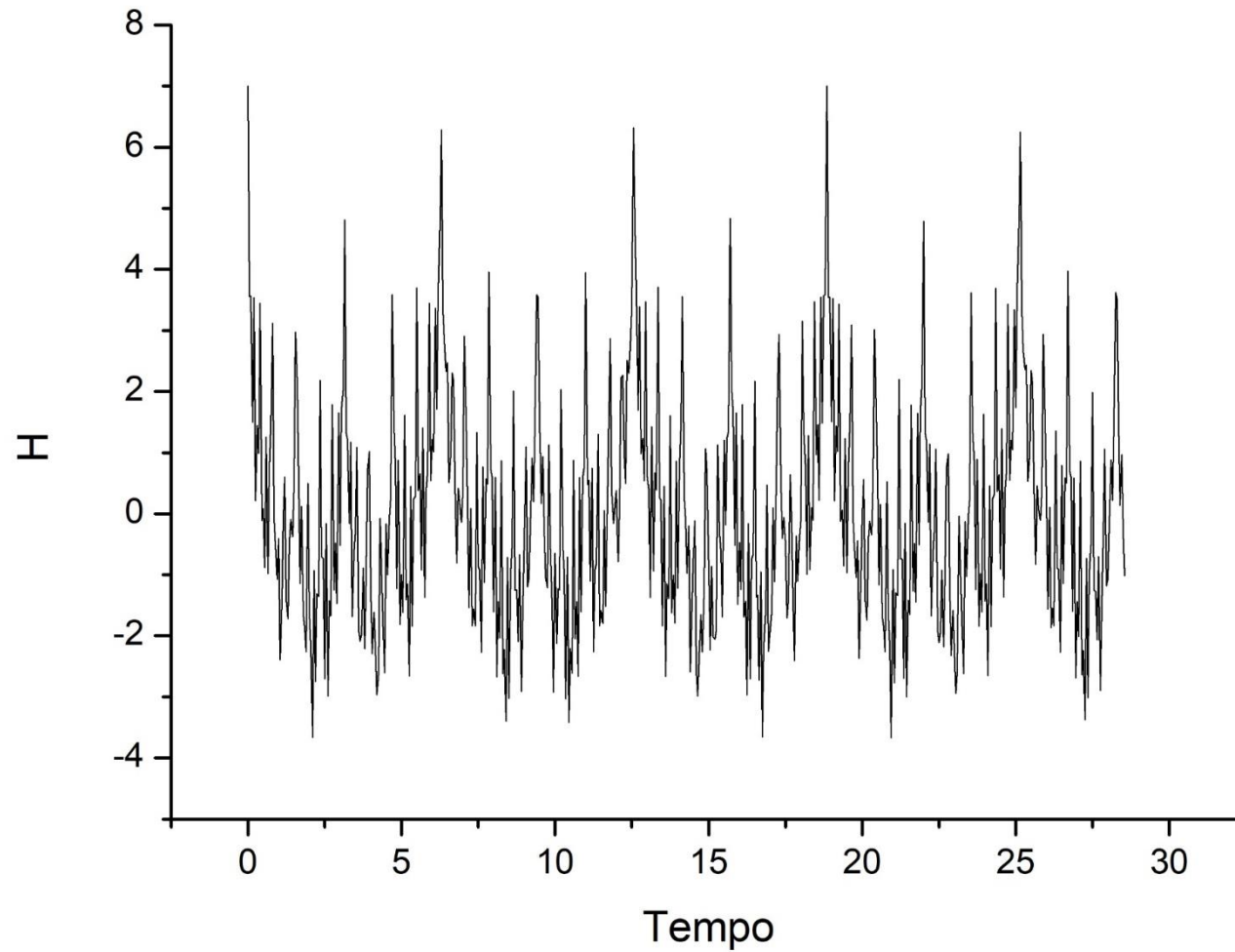
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

32f



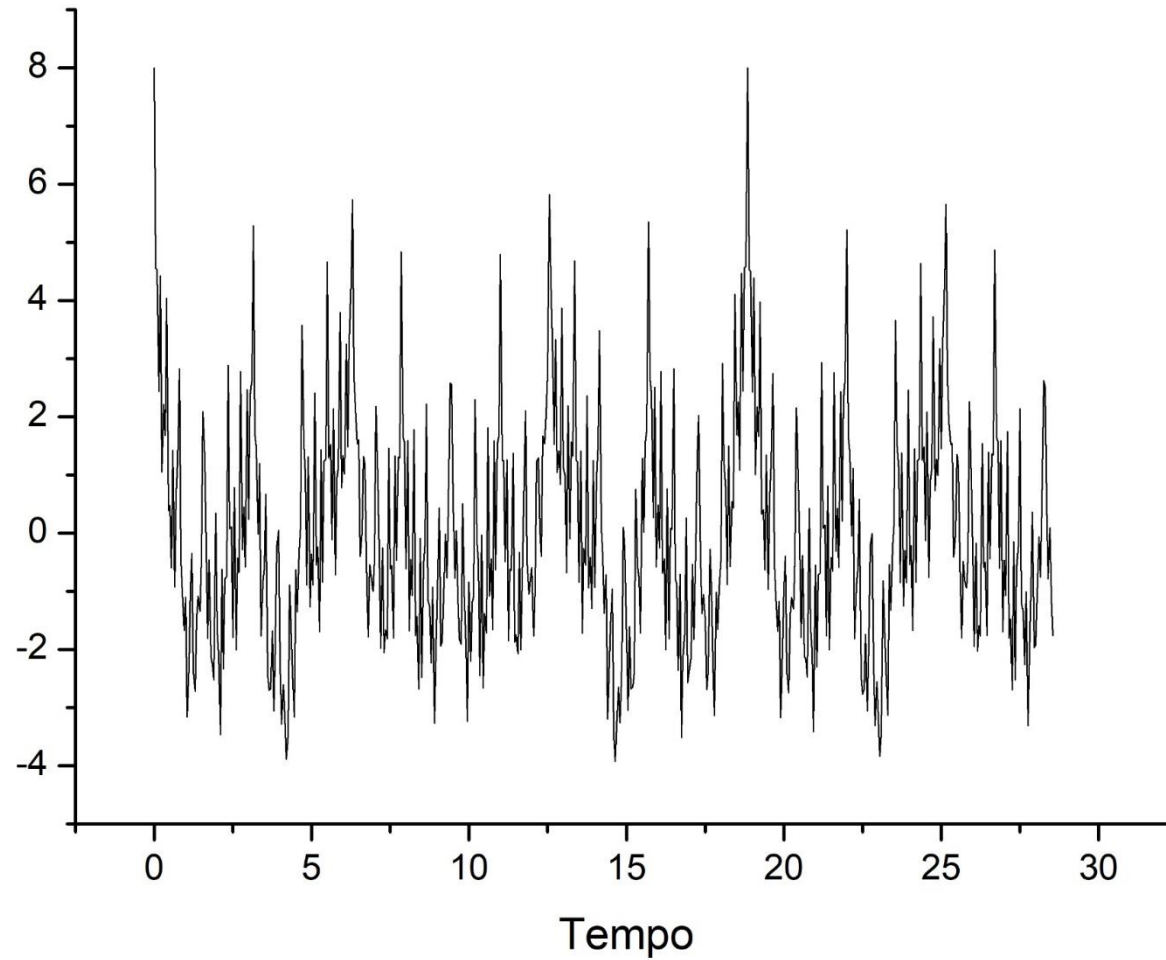
SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

64f



SOMMA DI ONDE A FREQUENZA DIVERSA

128f



FREQUENZE DI UNA CHITARRA

Le frequenze delle corde della chitarra sono

Mi basso: **82 Hz**

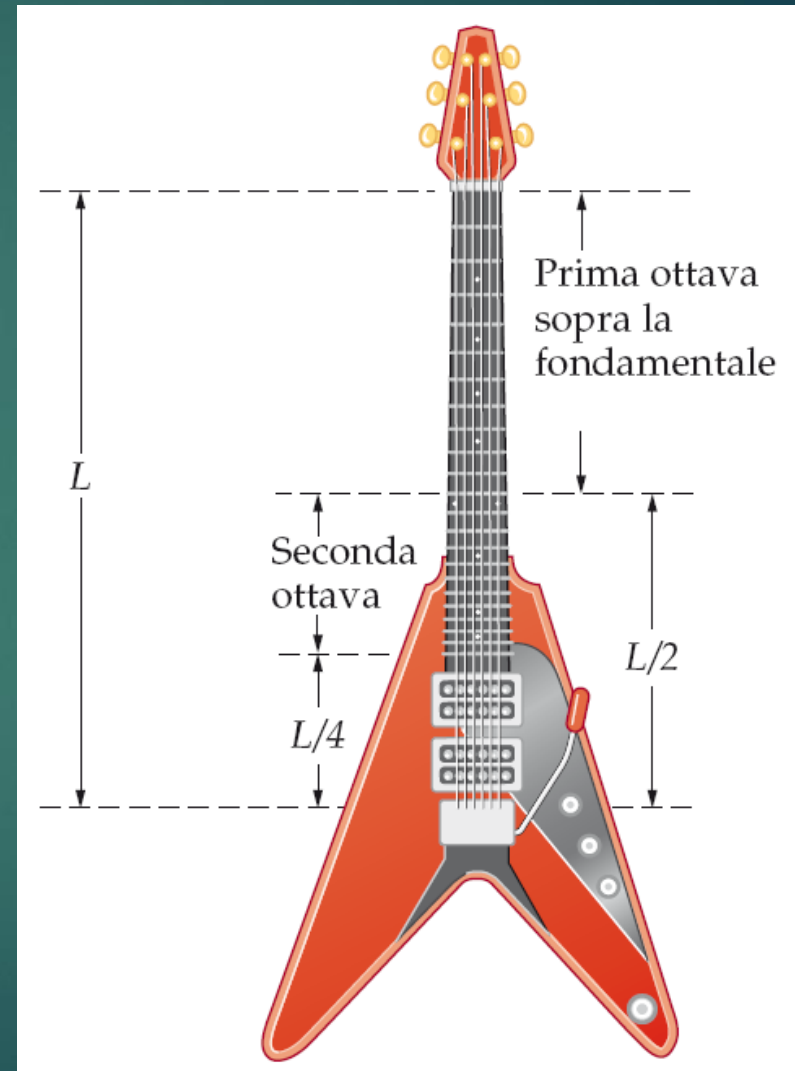
La: **110 Hz**

Re: **147 Hz**

Sol: **196 Hz**

Si: **247 Hz**

Mi cantino **330 Hz**



DIAPASON



Se opportunamente percossi, emettono un'onda sonora ad una sola frequenza!

La frequenza dell'onda dipende dal materiale del diapason e dalle dimensioni dei rebbi