Università degli Studi di Milano

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

Tecniche Audiometriche – Tecniche Audioprotesiche

Corso di Fisica A.A. 2022-2023

Docente: Marie Claire Cantone

2. FENOMENI ONDULATORI

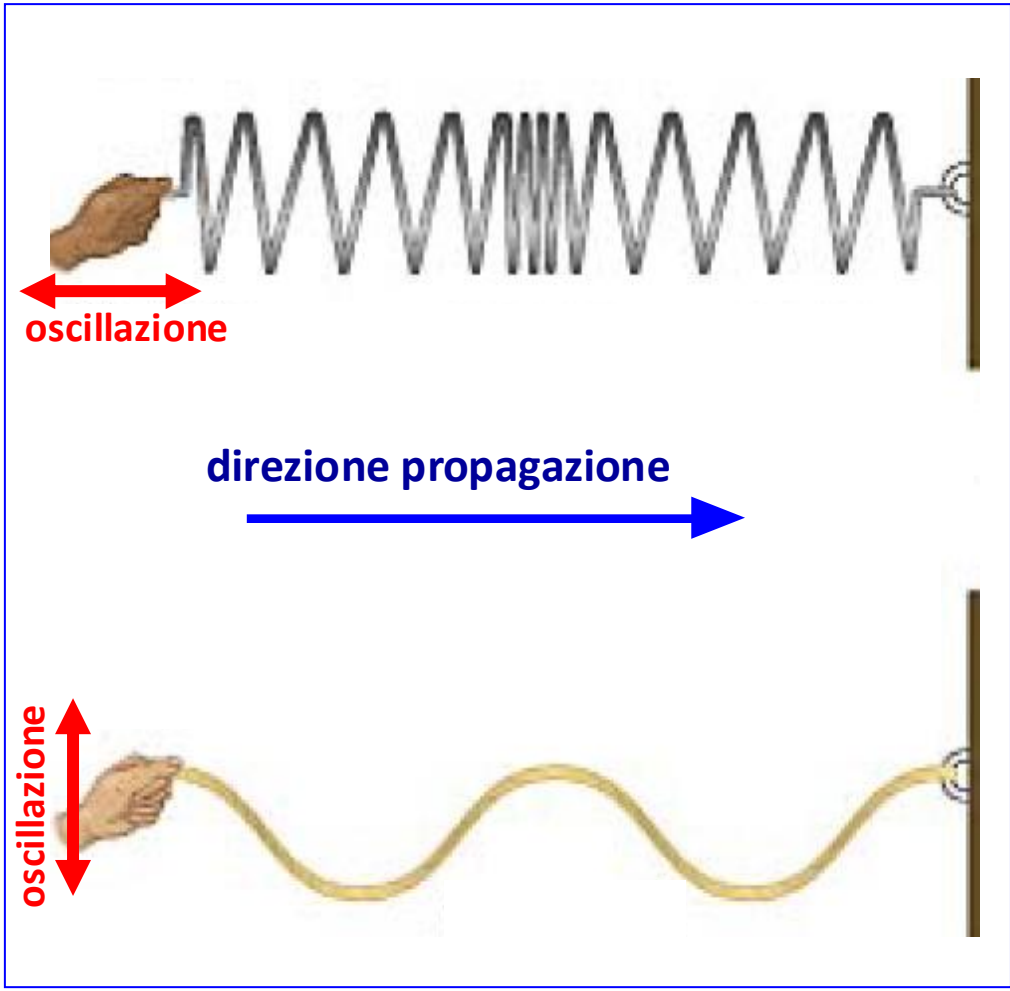
TIPI DI ONDE

Onde longitudinali

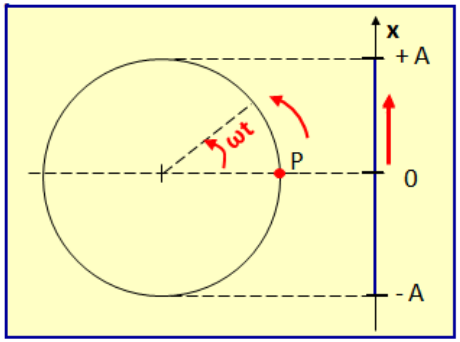
la direzione di oscillazione è la stessa della propagazione (onde che si propagano in una molla, onde sonore).

Onde trasversali

la direzione di oscillazione è perpendicolare alla direzione di propagazione (onde sulla superficie di un liquido, onde o.e.m., onde su una corda).



EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE



$y = A \text{ sen } \omega t$

$\omega = d\,\vartheta / dt = 2\pi / T$

$y = A \text{ sen } 2\pi\, t/T$

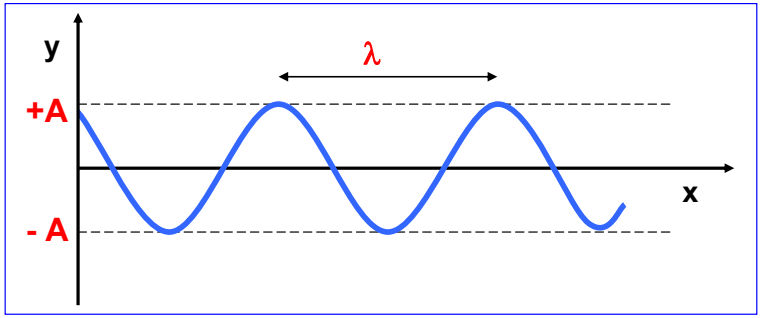
Equazione di propagazione dell'onda

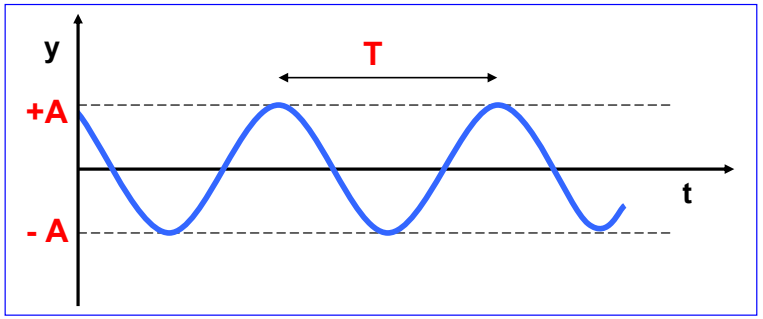
ritardo

$y = A \text{ sen } 2\pi\,(t - x/v) / T$

lunghezza d'onda

$y = A \text{ sen } 2\pi\,(t/T - x/vT)$





$\lambda = v\,T$	$[\lambda] = [\,L\,]$	m	
$f = 1/T$	$[f\,] = [\,T^{-1}\,]$	s^{-1}	Hz
$v = \lambda\, f$	$[v\,] = = [\,M\,T^{-1}]$	m/s	

INTERFERENZA

In generale le onde possono essere sia meccaniche (esempio: onde che si producono nell'acqua) sia elettromagnetiche (luce).

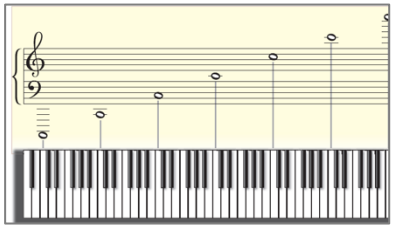
Il fenomeno dell'interferenza si osserva in vari tipi di onde :

INTERFERENZA

In generale le onde possono essere sia meccaniche (esempio: onde che si producono nell'acqua) sia elettromagnetiche (luce).

Il fenomeno dell'interferenza si osserva in vari tipi di onde :

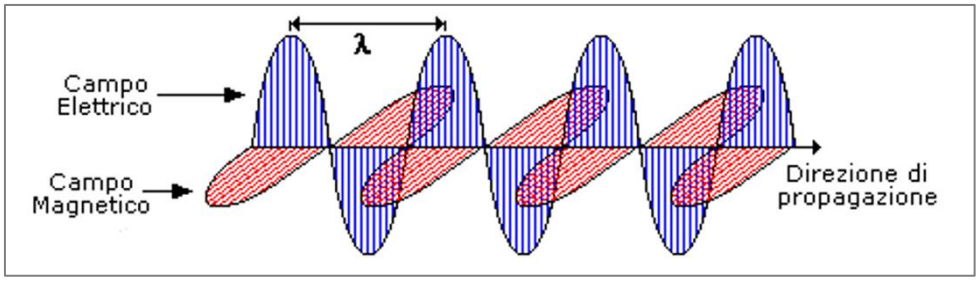
- onde acustiche





- onde meccaniche sulla superficie di un liquido

- onde luminose

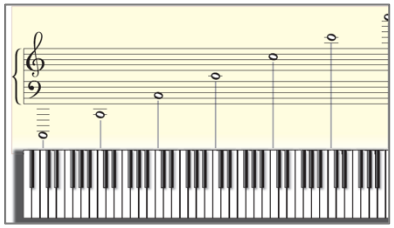


INTERFERENZA

In generale le onde possono essere sia meccaniche (esempio: onde che si producono nell'acqua) sia elettromagnetiche (luce).

Il fenomeno dell'interferenza si osserva in vari tipi di onde :

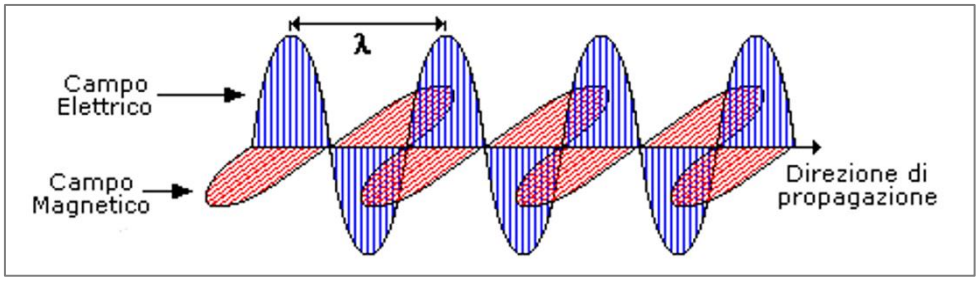
- onde acustiche



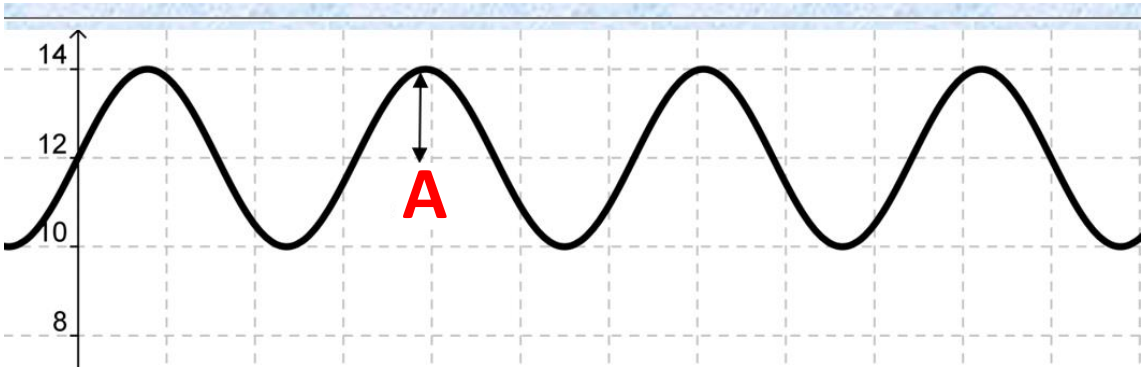


- onde meccaniche sulla superficie di un liquido

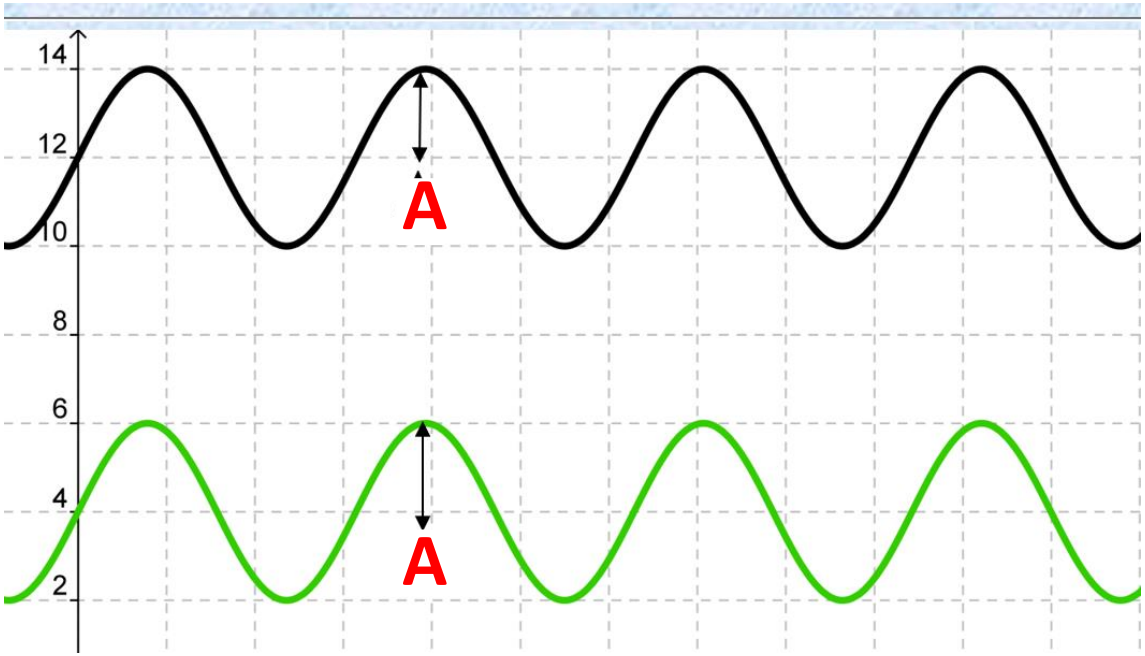
- onde luminose



Interferenza è risultato della sovrapposizione in un punto dello spazio di due o più onde.



Per descrivere l'interferenza, si considerano due onde che hanno la stessa lunghezza d'onda λ, e la stessa ampiezza A.

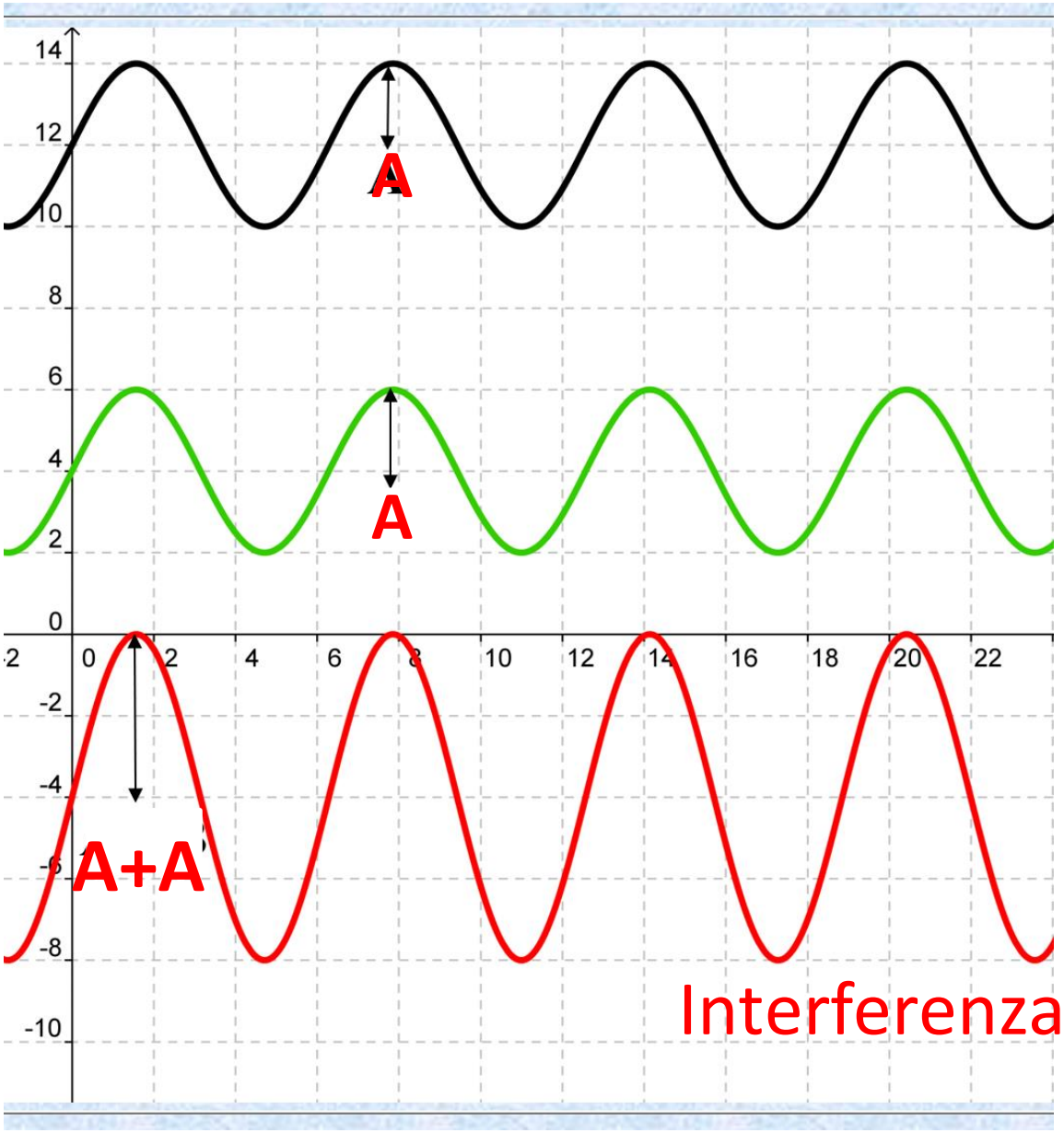


Per descrivere l'interferenza, si considerano due onde che hanno la stessa lunghezza d'onda λ, e la stessa ampiezza A.

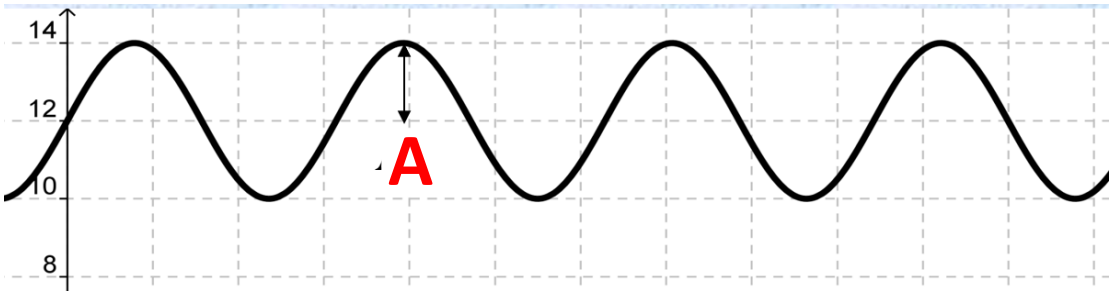
Inoltre si considera che siano in fase, cioè che i loro massimi si verifichino contemporaneamente.

L'ampiezza dell'onda risultante è la somma delle ampiezze delle due onde. In questo caso si ottiene una interferenza costruttiva.

INTERFERENZA COSTRUTTIVA

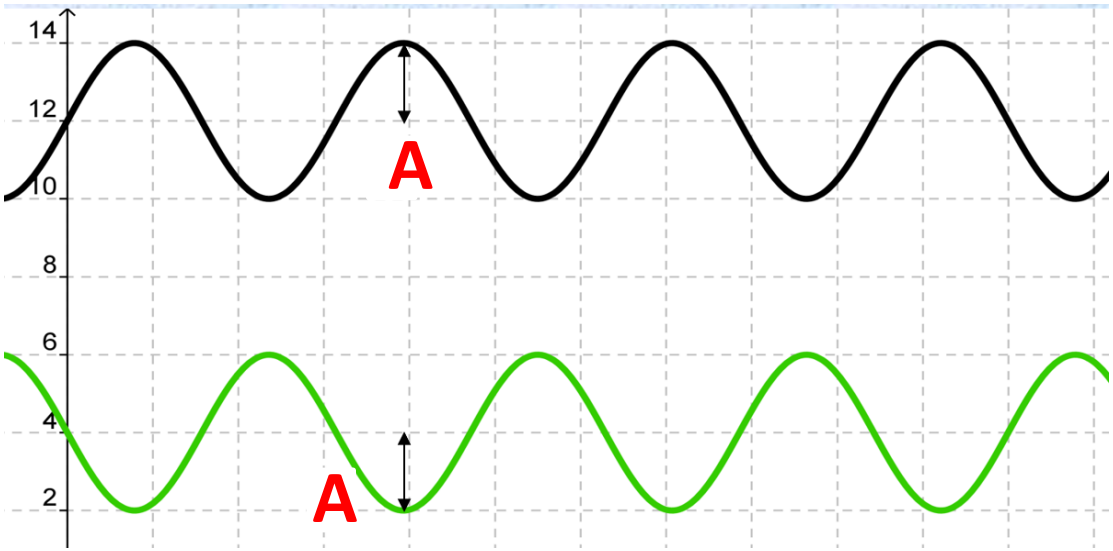


Interferenza costruttiva



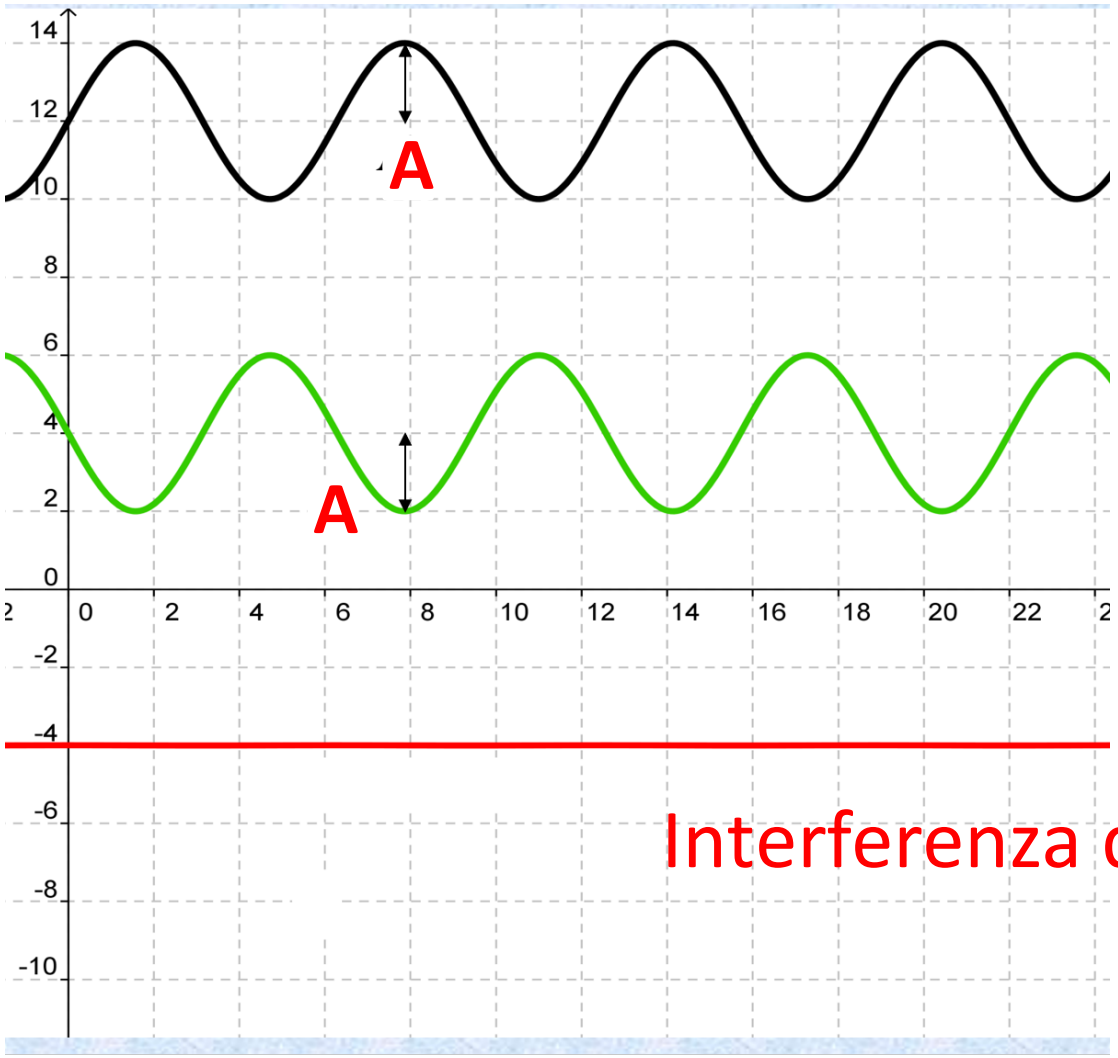
Se le due onde hanno la stessa lunghezza d'onda, l, e la stessa ampiezza, ma sono sfasate di mezza lunghezza d'onda, l'onda risultante (somma delle ampiezze delle due onde) è zero.

In questo caso si ha una interferenza distruttiva.



Se le due onde hanno la stessa lunghezza d'onda, l, e la stessa ampiezza, ma sono sfasate di mezza lunghezza d'onda, l'onda risultante (somma delle ampiezze delle due onde) è zero.

In questo caso si ha una interferenza distruttiva.

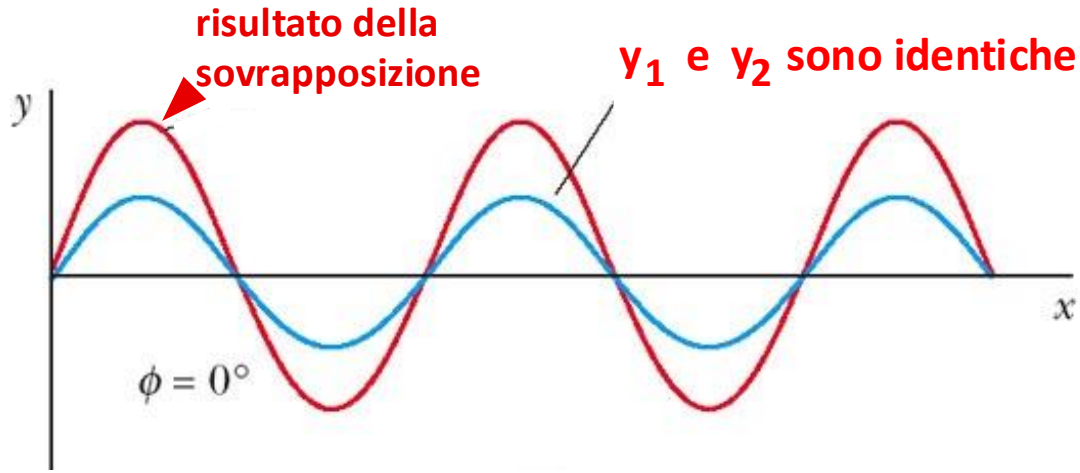


Interferenza distruttiva

INTERFERENZA

Se due o più onde viaggiano in uno stesso mezzo vale il principio di sovrapposizione. L'onda risultante è la somma degli spostamenti associati alle singole onde.

Per sfasamento zero o sfasamento 2π si ha interferenza COSTRUTTIVA



$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t/T - x/\lambda)$$

$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t/T - x/\lambda + \Phi)$$

---

ritardo

$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t - x/v) / T$$

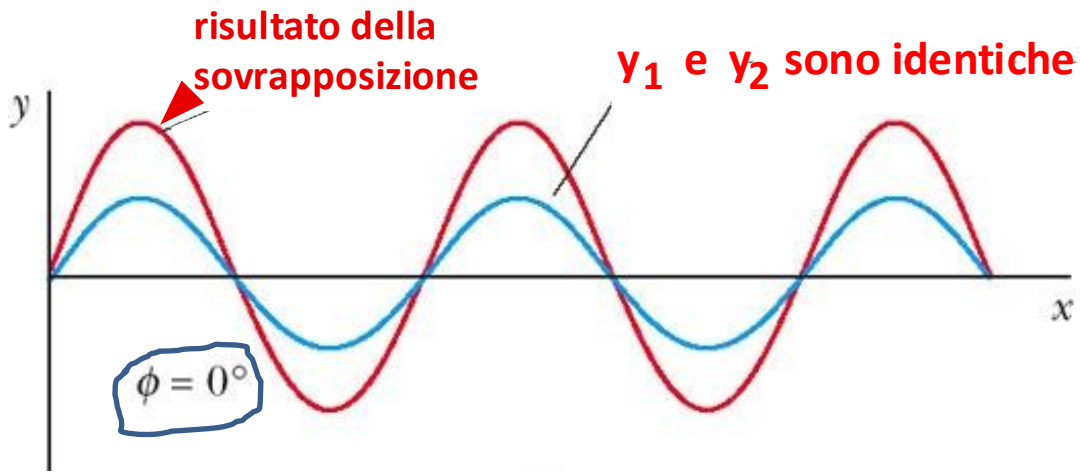
lunghezza d'onda

$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t/T - x/vT)$$

INTERFERENZA

Per sfasamento zero o sfasamento 2π si ha interferenza costruttiva

(es. 0° e 360° riferito ad un moto circolare uniforme)



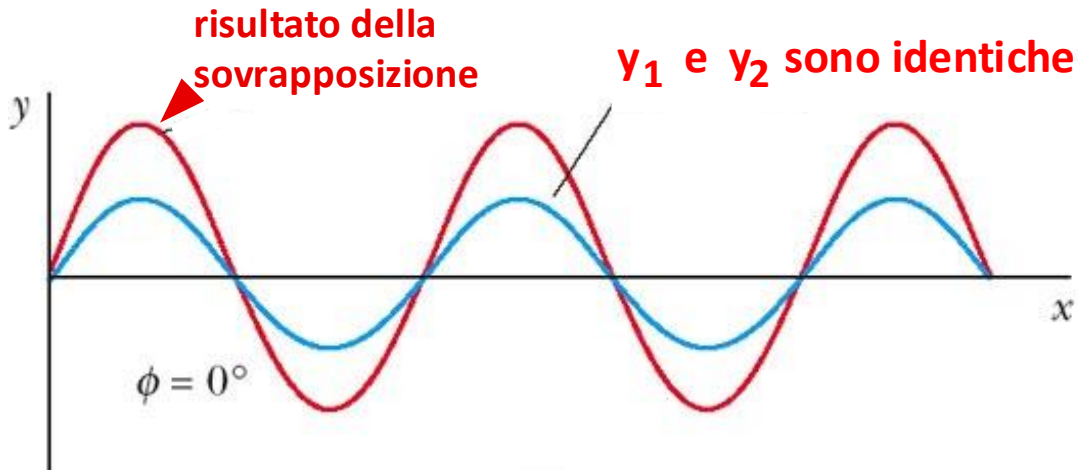
$$y = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/\lambda)$$

$$y = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/\lambda + \Phi)$$

INTERFERENZA

Per sfasamento zero o sfasamento 2π si ha interferenza costruttiva

(es. 0° e 360° riferito ad un moto circolare uniforme)



$$y = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/\lambda)$$

$$y = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/\lambda + \Phi)$$

Onde sinusoidali di uguale ampiezza e lunghezza d'onda che hanno la stessa direzione di vibrazione, possono creare: interferenza costruttiva, se sono in fase, ovvero sfasamento $\Phi=0$, $\Phi=\lambda$, $\Phi=2\lambda$, . .

INTERFERENZA

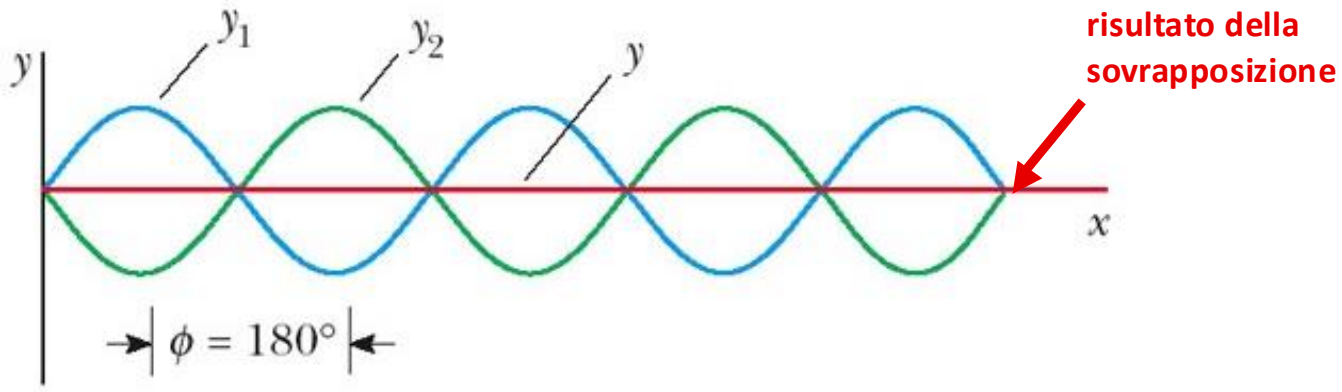
Se due o più onde viaggiano in uno stesso mezzo vale il principio di sovrapposizione. L'onda risultante è la somma degli spostamenti associati alle singole onde.

INTERFERENZA

Se due o più onde viaggiano in uno stesso mezzo vale il principio di sovrapposizione. L'onda risultante è la somma degli spostamenti associati alle singole onde.

Per sfasamento π o sfasamento 3π si ha interferenza DISTRUTTIVA

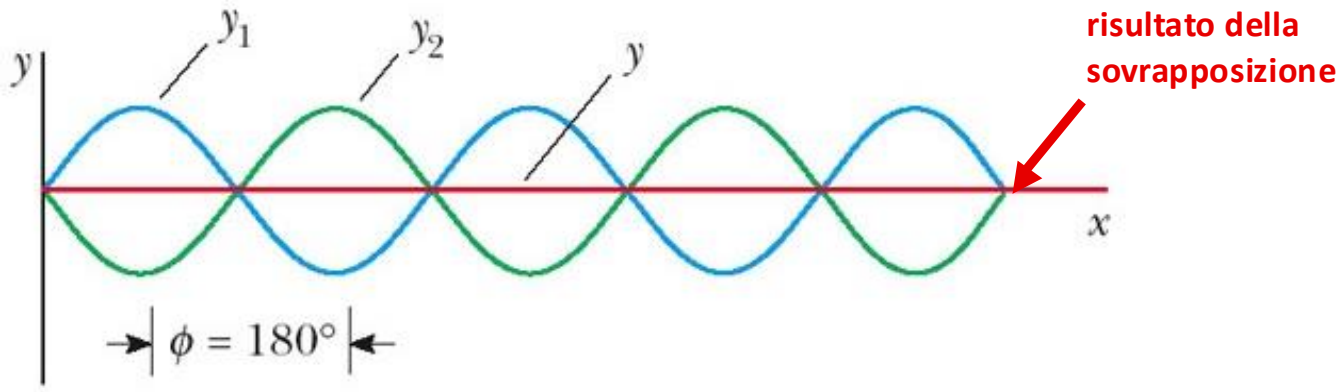
180° o (360°+180°) rispetto a moto circolare uniforme



INTERFERENZA

Se due o più onde viaggiano in uno stesso mezzo vale il principio di sovrapposizione. L'onda risultante è la somma degli spostamenti associati alle singole onde.

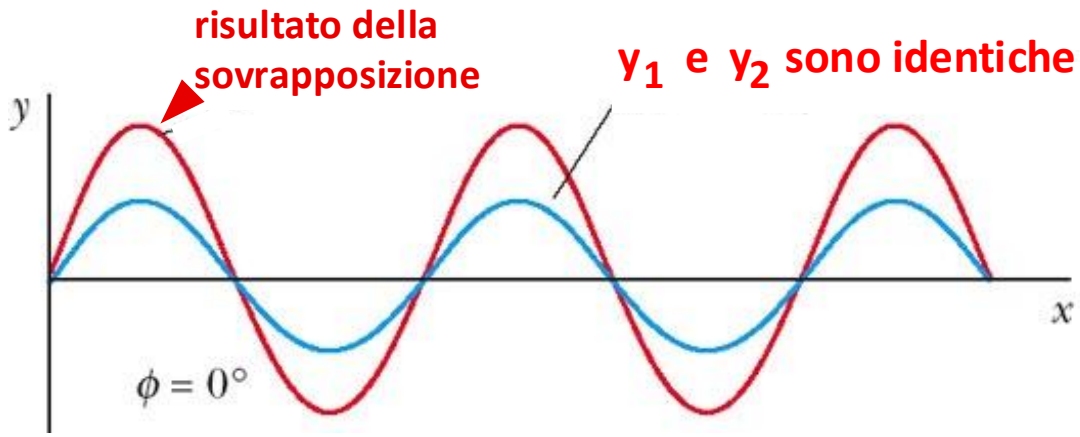
Per sfasamento π o sfasamento 3π si ha interferenza DISTRUTTIVA



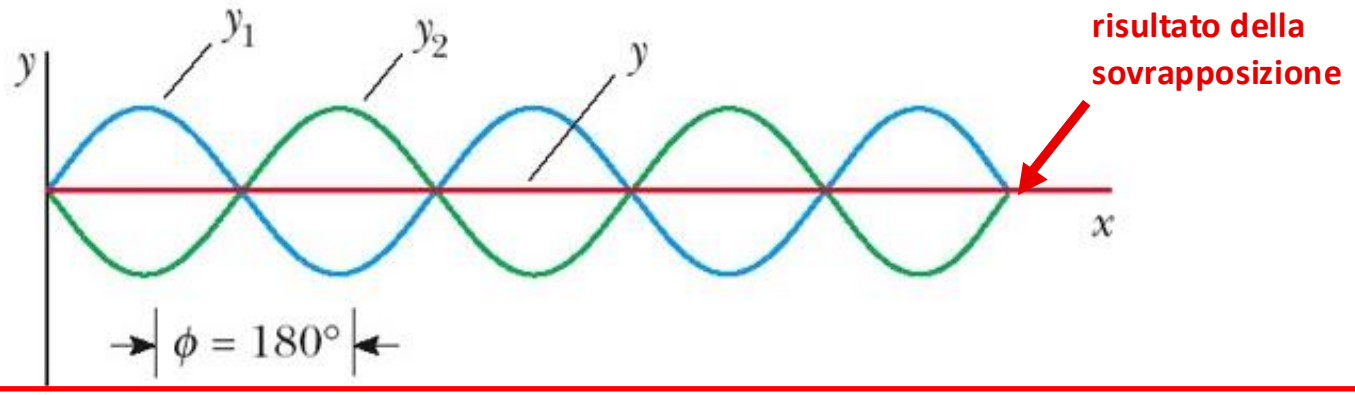
interferenza distruttiva

se sfasamento → $\Phi = \lambda/2$, $\Phi = 3\lambda/2$, $\Phi = 5\lambda/2$, . . . $\Phi = (2n+1)\lambda/2$

(con n = 0,1,2, . .)



interferenza costruttiva, se sono in fase, ovvero sfasamento $\Phi=0$, $\Phi=\lambda$, $\Phi=2\lambda$, . .



interferenza distruttiva, se sfasamento → $\Phi= \lambda/2$, $\Phi= 3\lambda/2$, $\Phi = 5\lambda/2$, . . . $\Phi = (2n+1)\lambda/2$ (con n = 0,1,2, . .)

ONDE STAZIONARIE

Un'onda stazionaria rimane sempre nella stessa zona di spazio, senza propagarsi al di fuori *e senza trasportare energia* da un punto all'altro della zona che occupa.

Ad esempio si ha nel caso di corda con estremo fisso:

onda incidente e riflessa SI SOVRAPPONGONO con stessa ampiezza e frequenza



ONDE STAZIONARIE

Quando un onda incontra un ostacolo viene riflessa e quindi si sovrappongono l'onda incidente e l'onda riflessa che viaggia in verso opposto dando luogo ad onde stazionarie.

ONDE STAZIONARIE

Quando un onda incontra un ostacolo viene riflessa e quindi si sovrappongono l'onda incidente e l'onda riflessa che viaggia in verso opposto dando luogo ad onde stazionarie.

es. la vibrazione di una corda di lunghezza L ad estremità fissate, è data da onde stazionarie, una successione di nodi e ventri .

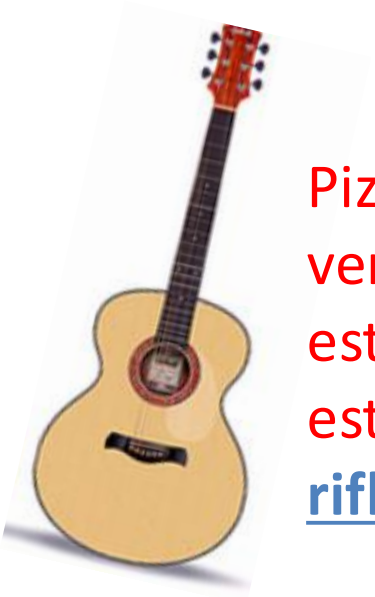


Corda di lunghezza L,
ad estremità fissate

ONDE STAZIONARIE

Quando un onda incontra un ostacolo viene riflessa e quindi si sovrappongono l'onda incidente e l'onda riflessa che viaggia in verso opposto dando luogo ad onde stazionarie.

es. la vibrazione di una corda di lunghezza L ad estremità fissate, è data da onde stazionarie, una successione di nodi e ventri .



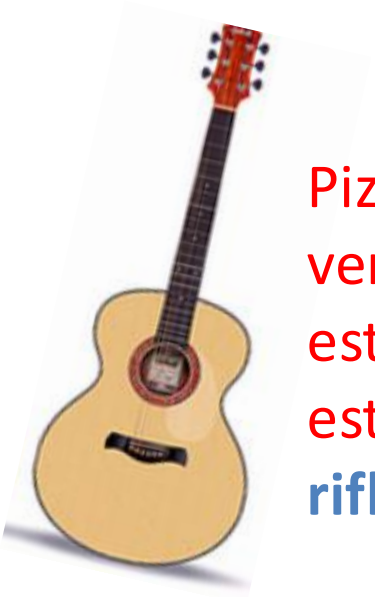
Pizzicando la corda si generano onde che si propagano verso i due estremi della corda. Quando arrivano alle estremità le onde si riflettono e si dirigono verso le estremità opposte della corda → **generazione di riflessioni consecutive.**

Corda di lunghezza L,
ad estremità fissate

ONDE STAZIONARIE

Quando un onda incontra un ostacolo viene riflessa e quindi si sovrappongono l'onda incidente e l'onda riflessa che viaggia in verso opposto dando luogo ad onde stazionarie.

es. la vibrazione di una corda di lunghezza L ad estremità fissate, è data da onde stazionarie, una successione di nodi e ventri .



Pizzicando la corda si generano onde che si propagano verso i due estremi della corda. Quando arrivano alle estremità le onde si riflettono e si dirigono verso le estremità opposte della corda → **generazione di riflessioni consecutive.**

La sovrapposizione di queste onde, della stessa frequenza, che si propagano lunga la corda origina le onde stazionarie.

ONDE STAZIONARIE

Quando un onda incontra un ostacolo viene riflessa e quindi si sovrappongono l'onda incidente e l'onda riflessa che viaggia in verso opposto dando luogo ad onde stazionarie.

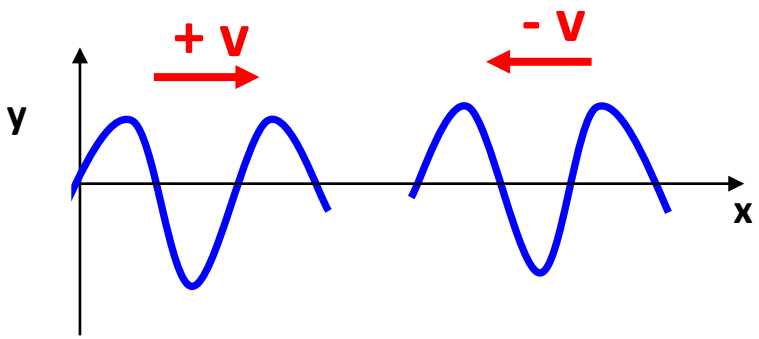
es. la vibrazione di una corda di lunghezza L ad estremità fissate, è data da onde stazionarie, una successione di nodi e ventri .



Un' onda stazionaria è un'onda che NON si propaga, ma rimane sempre nella stessa zona di spazio.

La sovrapposizione di queste onde, della stessa frequenza, che si propagano lunga la corda origina le onde stazionarie.

ONDE STAZIONARIE



$y_1 = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/\lambda)$

$y_2 = A \text{ sen } 2\pi (t/T + x/\lambda)$

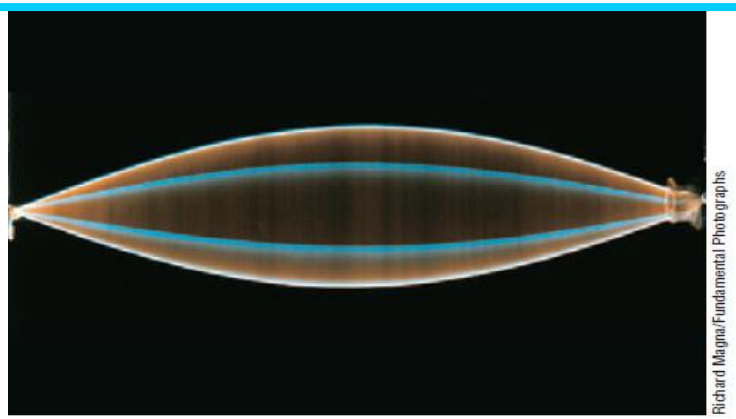
Tutti i punti vibrano con la stessa fase e ampiezza massima A_{max}

lunghezza d'onda

$y = A \text{ sen } 2\pi (t/T - x/vT)$

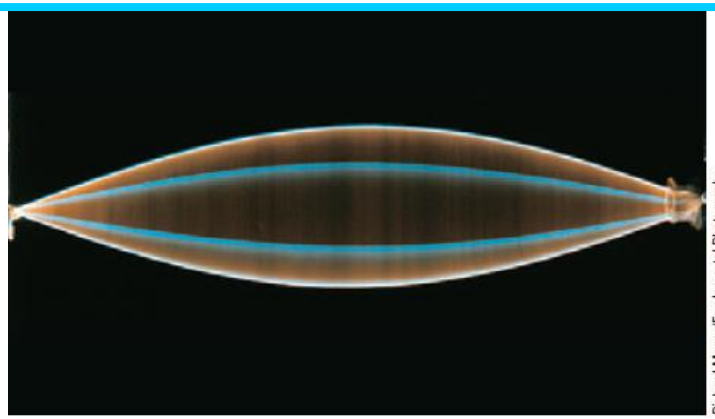
Onde viaggianti nella stessa direzione ma in senso opposto. La loro interferenza causa un' onda stazionaria.

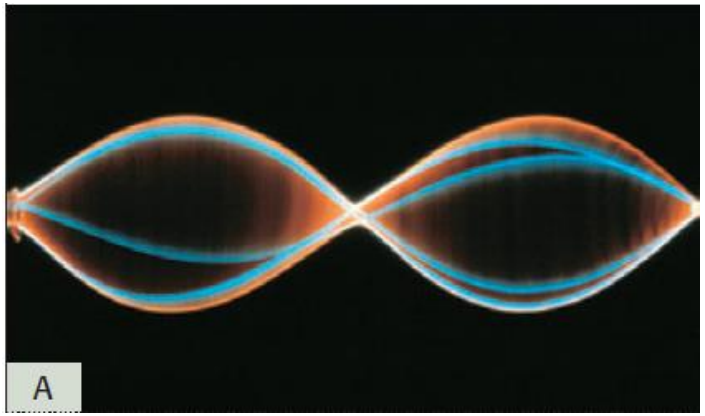
ONDE STAZIONARIE

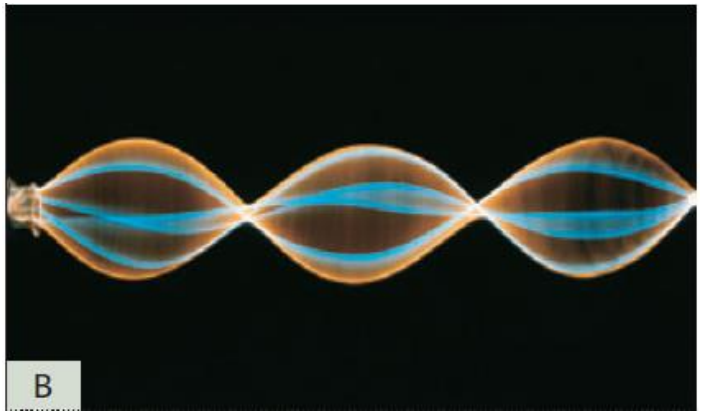


Pizzicare la corda al centro potremo avere un moto come in figura →
due punti fissi (nodi) agli estremi della corda, e tutti gli altri punti si muovono di moto armonico nello stesso verso: **tutti verso l'alto o tutti verso il basso.**

ONDE STAZIONARIE



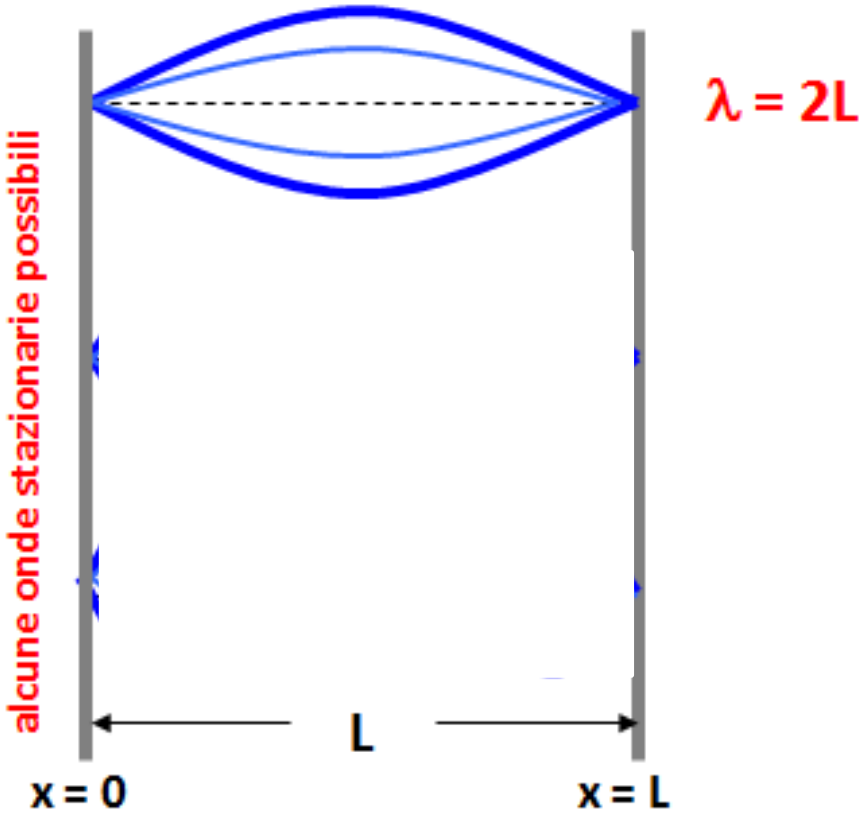




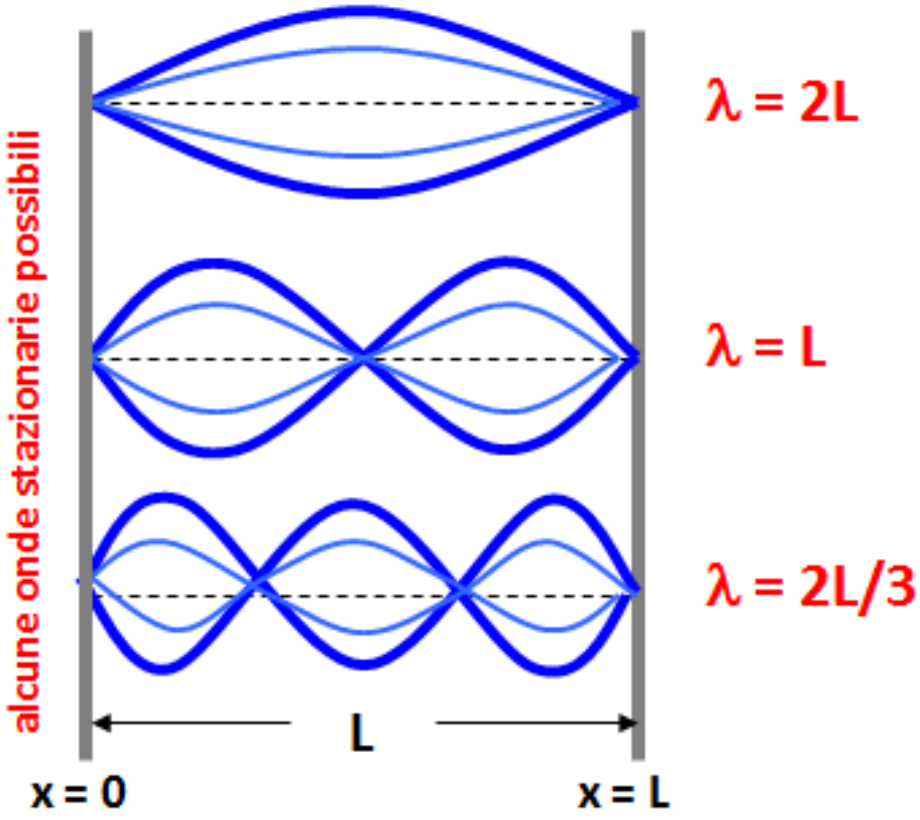
Pizzicare la corda al centro potremo avere un moto come in figura → due punti fissi (nodi) agli estremi della corda, e tutti gli altri punti si muovono di moto armonico nello stesso verso: **tutti verso l'alto o tutti verso il basso.**

Pizzicando adeguatamente la corda si possono ottenere onde stazionarie con un maggiore numero di nodi

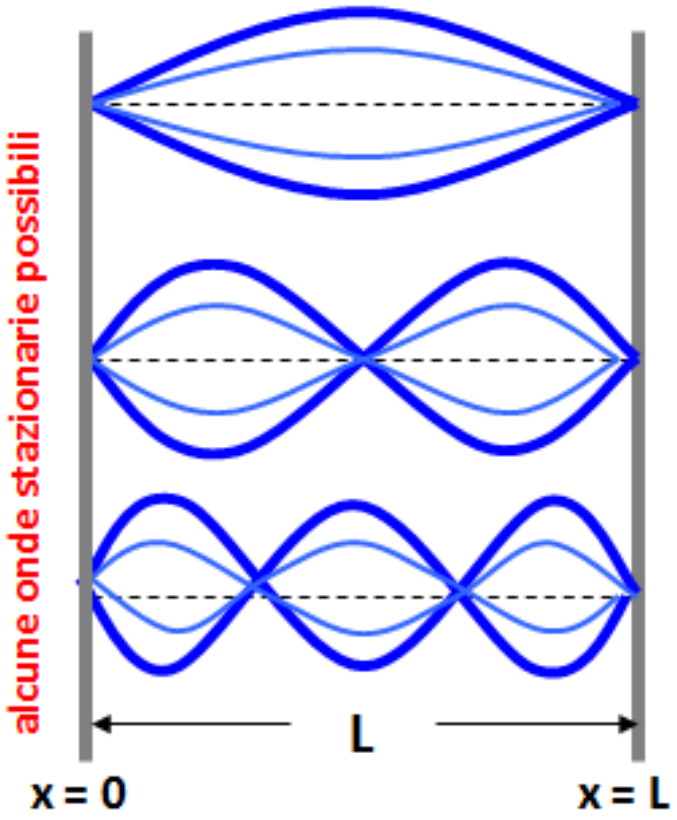
ONDE STAZIONARIE



ONDE STAZIONARIE



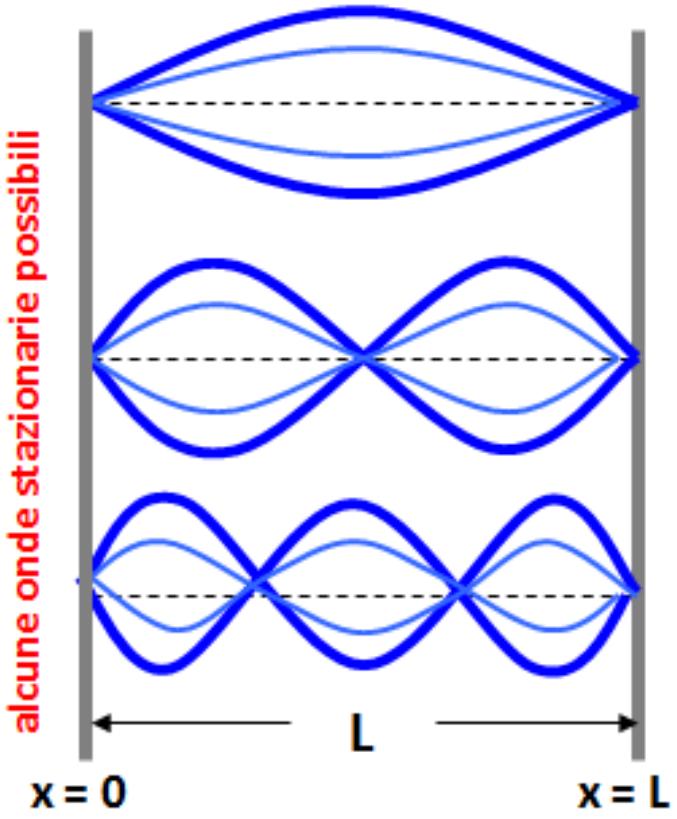
ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n$ $\quad n = 1, 2, \ldots$

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L/n$ $\quad n = 1, 2, \ldots$

$\lambda = 2L$

n = 1

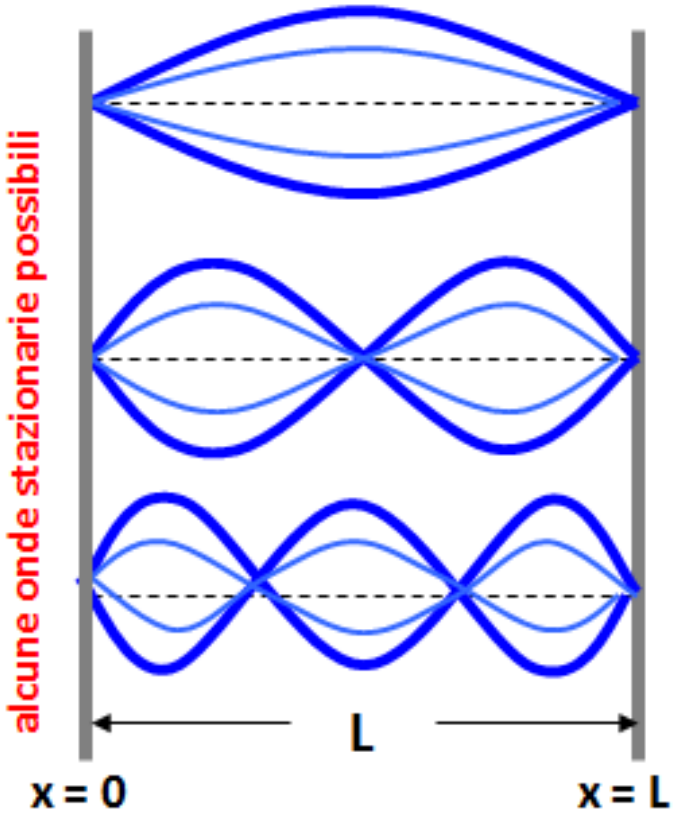
$\lambda = L$

n = 2

$\lambda = 2L/3$

n = 3

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

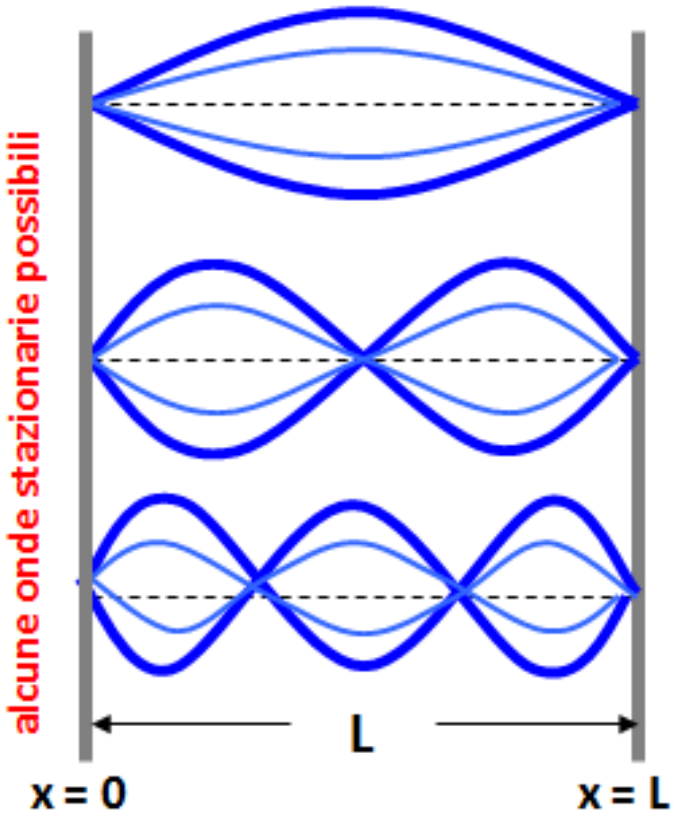
$\lambda_n = 2L/n$ $\quad n = 1, 2, \ldots$

$\lambda = 2L$ $\quad n = 1$

$\lambda = L$ $\quad n = 2$

$\lambda = 2L/3$ $\quad n = 3$

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n \qquad n = 1, 2, \ldots$

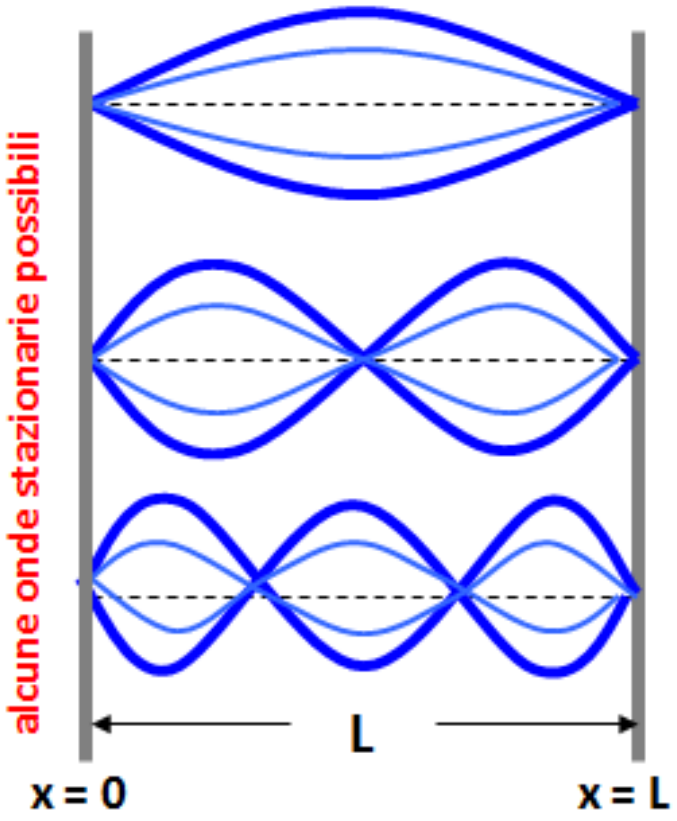
La frequenza

$f_n = 1/T_n$

nodi $x = 0, x = \lambda/2, x = 3\lambda/2 \ldots x = n\lambda/2$

ventri $x = \lambda/4, x = 3\lambda/4 \ldots x = (2n+1)\lambda/4$

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n \qquad n = 1, 2, \ldots$

La frequenza

$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

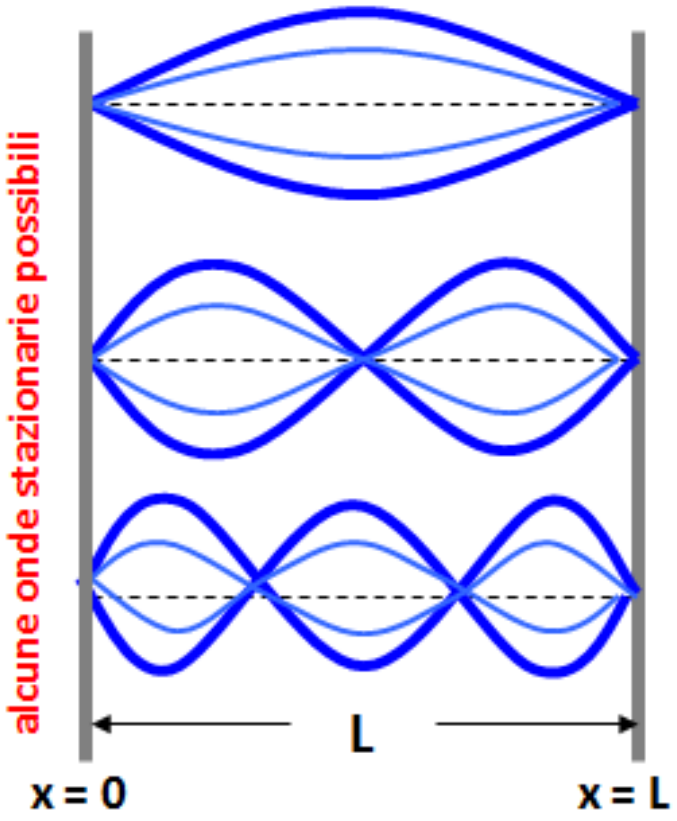
$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

---

nodi $x = 0,\ x = \lambda/2,\ x = 3\lambda/2 \ldots x = n\lambda/2$

ventri $x = \lambda/4,\ x = 3\lambda/4 \ldots\ldots x = (2n+1)\lambda/4$

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n \qquad n = 1, 2, \ldots$

La frequenza

$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

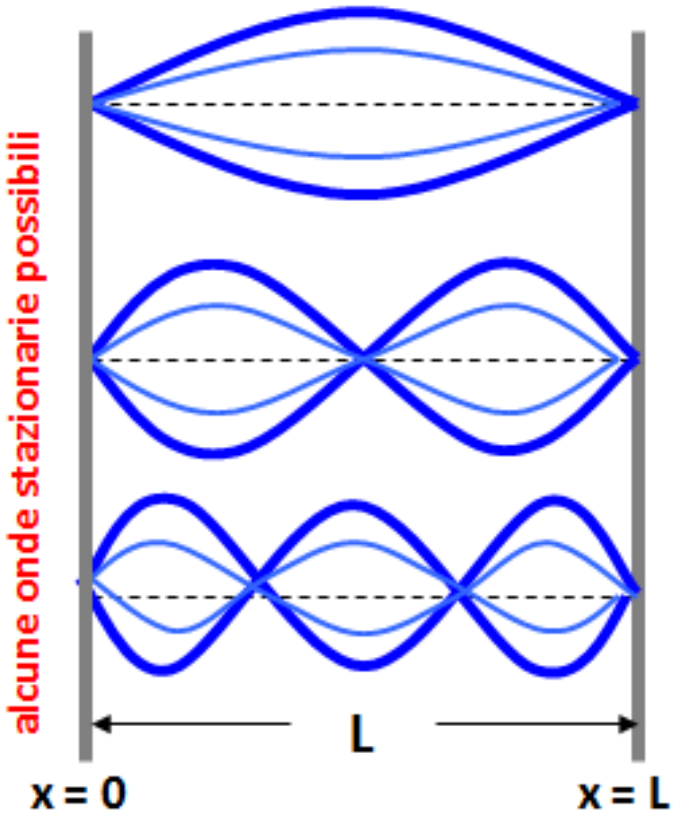
$f_n = v / \lambda_n = n\, v / 2L$

---

nodi $x = 0,\ x = \lambda/2,\ x = 3\lambda/2 \ldots x = n\,\lambda/2$

ventri $x = \lambda/4,\ x = 3\lambda/4 \ldots\ldots x = (2n+1)\lambda/4$

ONDE STAZIONARIE



$\lambda = 2L$

$\lambda = L$

$\lambda = 2L/3$

La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n$ $\quad n = 1, 2, \ldots$

La frequenza

$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

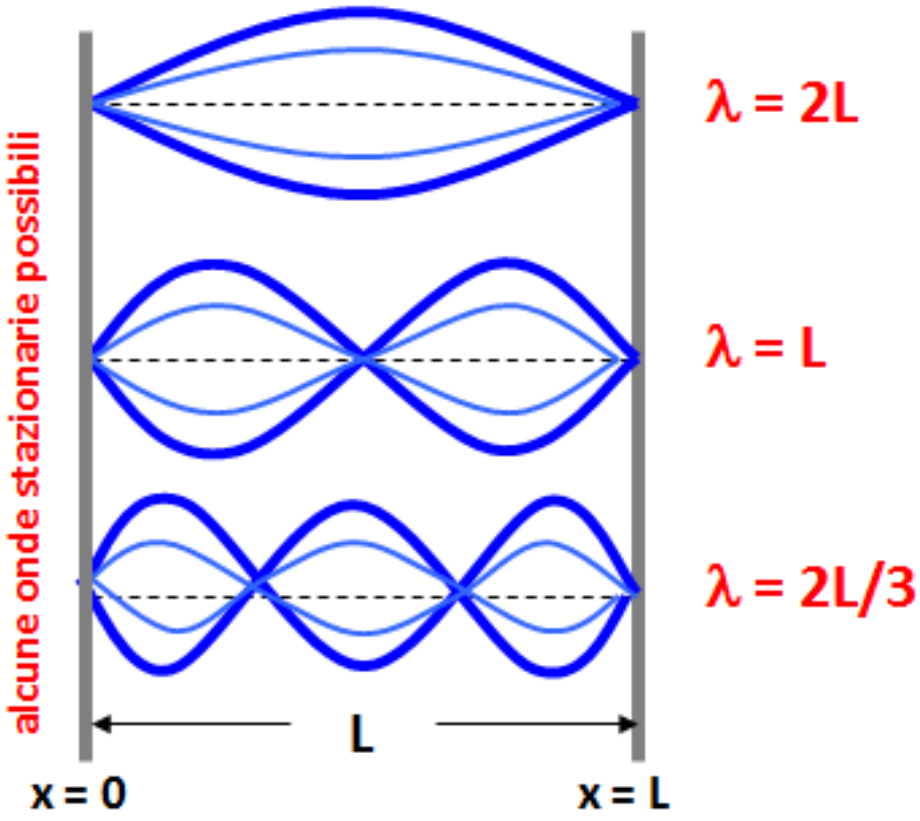
$f_n = v / \lambda_n = n\, v / 2L$

---

nodi $x = 0,\ x = \lambda/2,\ x = 3\lambda/2 \ldots x = n\,\lambda/2$

ventri $x = \lambda/4,\ x = 3\lambda/4 \ldots\ldots x = (2n+1)\lambda/4$

ONDE STAZIONARIE



La lunghezza d'onda

$\lambda_n = 2L / n \qquad n = 1, 2, \ldots$

La frequenza

$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

$f_n = v / \lambda_n = n v / 2L$

Es. per n = 1

$f_1 = v / 2L$

Frequenza fondamentale o ***prima armonica***.

Tutte le altre frequenze sono multiple di f_1 e sono dette armoniche superiori.

nodi $x = 0, x = \lambda/2, x = 3\lambda/2 \ldots x = n\lambda/2$

ventri $x = \lambda/4, x = 3\lambda/4 \ldots\ldots x = (2n+1)\lambda/4$

La nota di un diapason ha una frequenza di 440 Hz. Quale è la sua pulsazione in acqua ?

La nota di un diapason ha una frequenza di 440 Hz. Quale è la sua pulsazione in acqua ?

$$\omega = d\,\vartheta / dt = 2\pi / T = 2\,\pi\ f$$

La nota di un diapason ha una frequenza di 440 Hz. Quale è la sua pulsazione in acqua ?

$$\omega = d\,\vartheta / dt = 2\pi / T = 2\,\pi\ f$$

$$\omega = 2 \times 3.14 \times 440\ Hz = 2764\ Hz = 2764\ s^{-1}$$

Un’onda ha una velocità di 240 m/s e una lunghezza d’onda di 3.2 m.

Determinare la frequenza e il periodo dell’onda.

Un’onda ha una velocità di 240 m/s e una lunghezza d’onda di 3.2 m.

Determinare la frequenza e il periodo dell’onda.

$v = \lambda / T$ $\qquad$ $T = \lambda / v$

Un’onda ha una velocità di 240 m/s e una lunghezza d’onda di 3.2 m.

Determinare la frequenza e il periodo dell’onda.

$$v = \lambda / T \qquad T = \lambda / v$$

$T = 3.2\ m / 240\ m/s = 0.013\ s$

$f = 1/ T = 1/ 0.013\ s = 75\ Hz$

Una sorgente sonora emette un suono che giunge al microfono che si trova a 150 m di distanza . Il suono viagia a 1500 m/s. In quanto tempo il suono raggiunge il microfono ?

Una sorgente sonora emette un suono che giunge al microfono che si trova a 150 m di distanza . Il suono viaggia a 1500 m/s. In quanto tempo il suono raggiunge il microfono ?

$v = s/t$ $t = s/v$ $t = 150\ m / 1500\ m/s = 0.1\ s$

Un’ onda in acqua si propaga con velocità di 18 m/s e con una frequenza di 0.18 Hz. Calcolare la lunghezza d’onda. Calcolare la velocità che avrebbe un’onda con la stessa lunghezza d’onda ma con frequenza tripla rispetto a quella indicate.

Un' onda in acqua si propaga con velocità di 18 m/s e con una frequenza di 0.18 Hz. Calcolare la lunghezza d'onda. Calcolare la velocità che avrebbe un'onda con la stessa lunghezza d'onda ma con frequenza tripla rispetto a quella indicate.

$$\lambda = v / f = (18 \text{ m/s}) / 0.18 \text{ Hz} = 100 \text{ m}$$

Un' onda in acqua si propaga con velocità di 18 m/s e con una frequenza di 0.18 Hz. Calcolare la lunghezza d'onda. Calcolare la velocità che avrebbe un'onda con la stessa lunghezza d'onda ma con frequenza tripla rispetto a quella indicate.

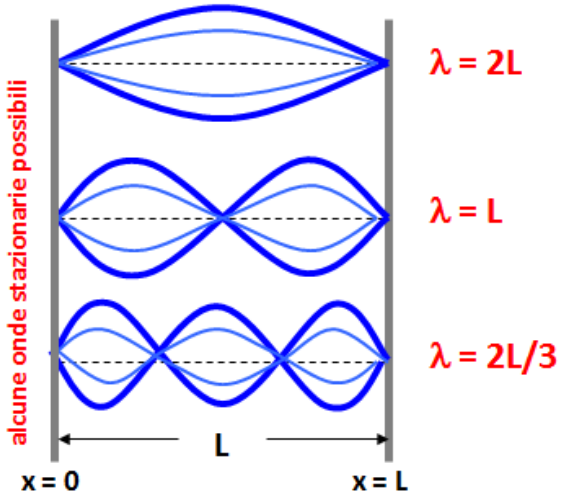
$\lambda = v / f = (18\ m/s) / 0.18\ Hz = 100\ m$

$v = \lambda f = 100\ m \times (3 \times 0.18\ Hz) = 54\ m/s$

La velocità è triplicata in quanto la frequenza è direttamente proporzionale alla velocità

Su una corda tesa e fissata fra due supporti fissi distanti fra loro 150 cm, vi è un'onda stazionaria con frequenza fondamentale f1 = 250 Hz. Calcolare la velocità dell'onda

Su una corda tesa e fissata fra due supporti fissi distanti fra loro 150 cm, vi è un'onda stazionaria con frequenza fondamentale f_1 = 250 Hz. Calcolare la velocità dell'onda



La frequenza

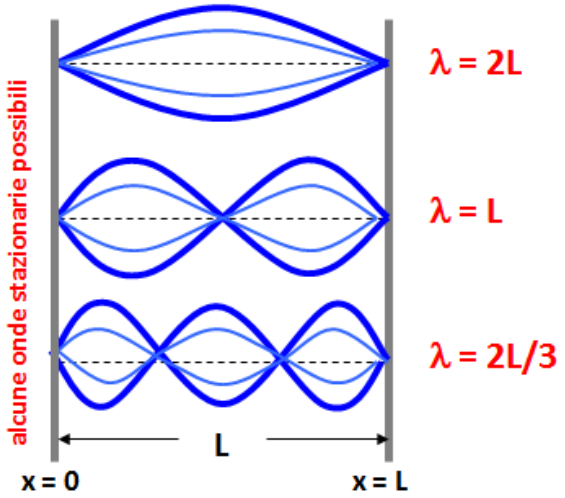
$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

$f_n = v / \lambda_n = n\, v / 2L$

Su una corda tesa e fissata fra due supporti fissi distanti fra loro 150 cm, vi è un'onda stazionaria con frequenza fondamentale f_1 = 250 Hz. Calcolare la velocità dell'onda



La frequenza

$f_n = 1/T_n$

La velocità di propagazione

$v = \lambda_n / T_n = \lambda_n f_n$

$f_n = v / \lambda_n = n\, v / 2L$

$f_1 = v / 2L$

$v = 2L\, f_1 = 2 \times 1.5\ m \times 250\ Hz = 750\ m/s$

per n = 1 $f_1 = v / 2L$ frequenza fondamentale

$f_n = v / \lambda_n = n\, v / 2L$

Un diapason emette un suono con frequenza di 300 Hz che si propaga con una lunghezza d'onda di 50 cm. Il suono viene udito ad una distanza di 50 m. Calcolare il tempo necessario affinchè il suono sia udibile a quella distanza.

Un diapason emette un suono con frequenza di 300 Hz che si propaga con una lunghezza d'onda di 50 cm. Il suono viene udito ad una distanza di 50 m. Calcolare il tempo necessario affinchè il suono sia udibile a quella distanza.

$$v = x / t$$

$$t = x / v$$

Un diapason emette un suono con frequenza di 300 Hz che si propaga con una lunghezza d'onda di 50 cm. Il suono viene udito ad una distanza di 50 m. Calcolare il tempo necessario affinchè il suono sia udibile a quella distanza.

$v = x / t$

$t = x/v$

$v = \lambda f$ $v = 0.5\ m \times 300\ Hz = 150\ m/s$

$t = x/v = 50\ m / 150\ m/s = 0.33\ s$

Una corda lunga 120 cm è tesa tra due punti fissi. Trovare le 3 lunghezze d'onda massima per le onde stazionarie su questa corda.

Una corda lunga 120 cm è tesa tra due punti fissi. Trovare le 3 lunghezze d'onda massima per le onde stazionarie su questa corda.

Le lunghezze d'onda delle onde stazionarie in una corda fissa sono date da :

$$\lambda = 2L / n \qquad \text{con } n = 1, 2, 3 \ldots.$$

Una corda lunga 120 cm è tesa tra due punti fissi. Trovare le 3 lunghezze d'onda massima per le onde stazionarie su questa corda.

Le lunghezze d'onda delle onde stazionarie in una corda fissa sono date da :

$$\lambda = 2L / n \qquad \text{con } n = 1, 2, 3 \ldots.$$

quindi →

Una corda lunga 120 cm è tesa tra due punti fissi. Trovare le 3 lunghezze d'onda massima per le onde stazionarie su questa corda.

Le lunghezze d'onda delle onde stazionarie in una corda fissa sono date da :

$$\lambda = 2L / n \qquad \text{con } n = 1, 2, 3 \ldots.$$

quindi →

$$\lambda_1 = 2L = 2 \times 1.20 \text{ m} = 2.40 \text{ m}$$
$$\lambda_2 = 2L/2 = 1.20 \text{ m}$$
$$\lambda_3 = 2L/3 = 2 \times 1.20 \text{ m} / 3 = 0.80 \text{ m}$$

Calcolare il tempo impiegato dal suono per percorrere 8 km. (velocità del suono in aria v= 340 m/s)

Calcolare il tempo impiegato dal suono per percorrere 8 km. (velocità del suono in aria v= 340 m/s)

$v = s / t \quad \rightarrow t = s / v$

Calcolare il tempo impiegato dal suono per percorrere 8 km. (velocità del suono in aria v= 340 m/s)

$v = s / t \quad \rightarrow t = s / v$

$T = 8000\ m / 340\ m/s = 23,53\ s$

Due suoni sono emessi contemporaneamente da due sorgenti di uguale frequenza. Una sorgente è fissata al suolo e l'altra sotto acqua. I due suoni si propagano parallelamente. Dopo quanto tempo i due suoni raggiungeranno la distanza di 12 km ?

(velocità suono in aria v = 340 m/s ; velocità in acqua v= 1460 m/s)

Due suoni sono emessi contemporaneamente da due sorgenti di uguale frequenza. Una sorgente è fissata al suolo e l'altra sotto acqua. I due suoni si propagano parallelamente. Dopo quanto tempo i due suoni rggiungeranno la distanza di 12 km ?

(velocità suono in aria v = 340 m/s ; velocità in acqua v= 1460 m/s)

$t = s/v$

In aria

In acqua

Due suoni sono emessi contemporaneamente da due sorgenti di uguale frequenza. Una sorgente è fissata al suolo e l'altra sotto acqua. I due suoni si propagano parallelamente. Dopo quanto tempo i due suoni rggiungeranno la distanza di 12 km ?

(velocità suono in aria v = 340 m/s ; velocità in acqua v= 1460 m/s)

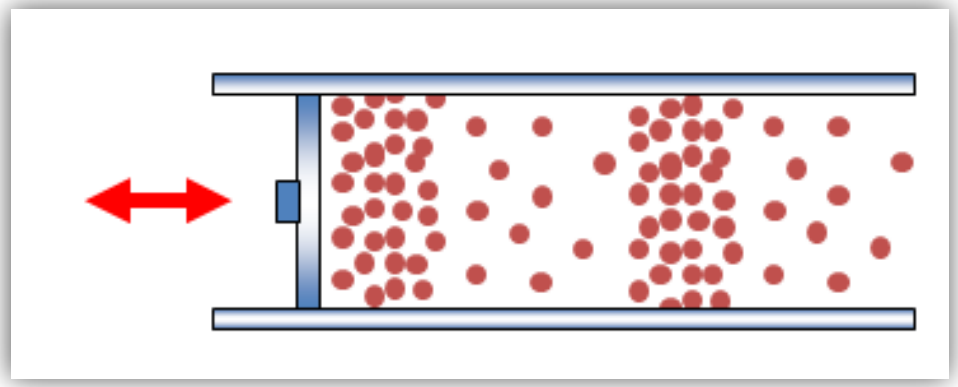
$t = s/v$

In aria $t = 12000\ m / 340\ m/s = 35.29\ s$

In acqua $t = 12000\ m / 1460\ m/s = 8.22\ s$

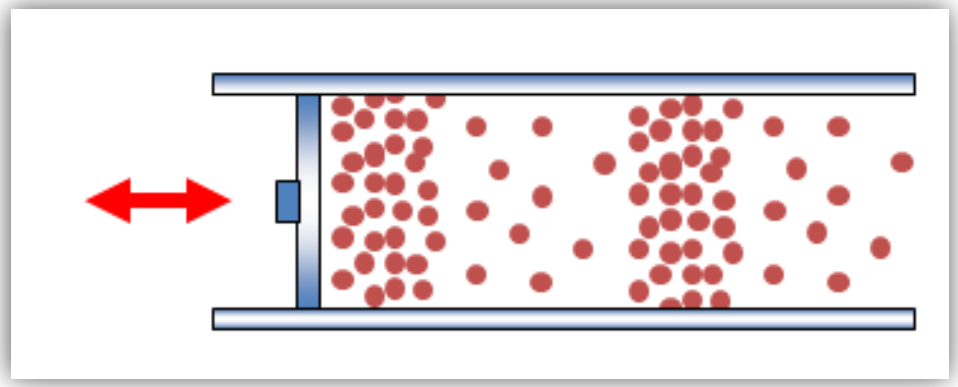
ONDE SONORE

Onda sonora → onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



ONDE SONORE

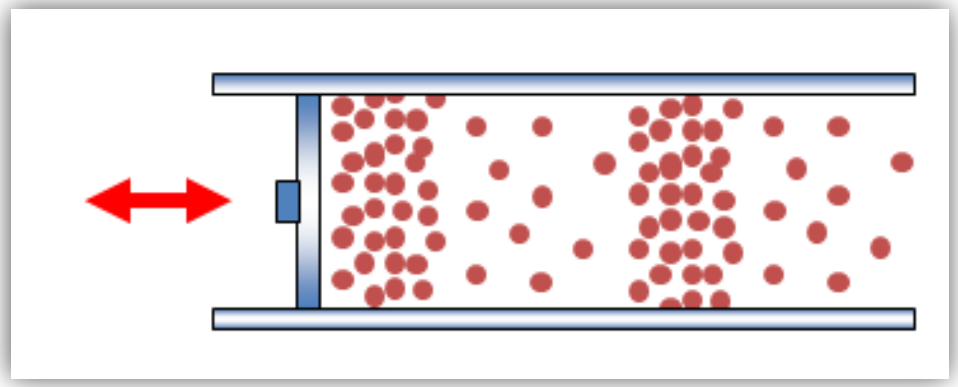
Onda sonora → onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



Es. - un pistone mobile produce in un gas variazioni di pressione e di densità, creando zone di rarefazione seguite da zone di compressione.

ONDE SONORE

Onda sonora → onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



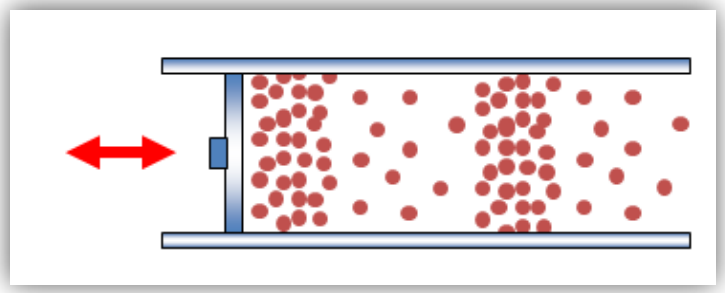
Es. - un pistone mobile produce in un gas variazioni di pressione e di densità, creando zone di rarefazione seguite da zone di compressione.

velocità di propagazione

aria	344 m/s
acqua	1480 m/s
ferro	5130 m/s
alluminio	5100 m/s

ONDE SONORE

Onda sonora - onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



Es. - un pistone mobile produce in un gas variazioni di pressione e di densità, creando zone di rarefazione seguite da zone di compressione.

velocità di propagazione

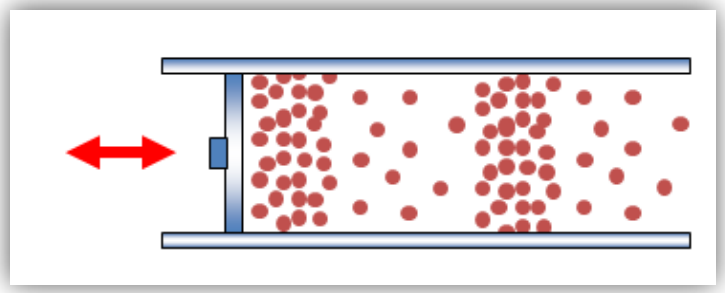
aria	344 m/s
acqua	1480 m/s
ferro	5130 m/s
alluminio	5100 m/s

Le vibrazioni sono prodotte da sorgenti sonore quali:

- **strumenti musicali** (es. corda che vibra, colonna d'aria che vibra a comando del fiato)
- **corde vocali** che vibrano a seguito di aria che esce dai polmoni
- fenomeno che è indice **spostamento d'aria** (battito di ali, martello che batte su incudine …) con caratteristiche tali da produrre un suono con frequenze udibili

ONDE SONORE

Onda sonora - onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



Es. - un pistone mobile produce in gas variazioni di pressione e di densi creando zone di rarefazione seguite zone di compressione.

velocità di propagazione

aria	344 m/s
acqua	1480 m/s
ferro	5130 m/s
alluminio	5100 m/s

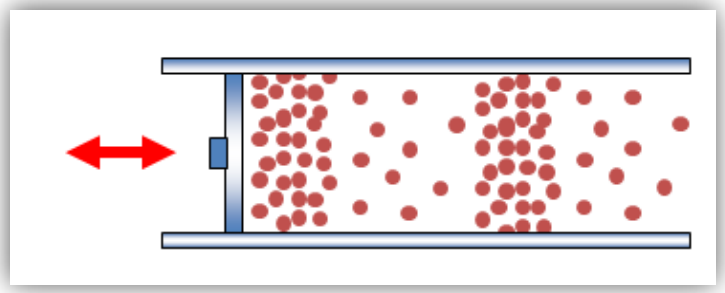
velocità di propagazione

in un solido $v = \sqrt{Y/\rho}$

in un fluido $v = \sqrt{B/\rho}$

ONDE SONORE

Onda sonora - onda meccanica longitudinale prodotta da vibrazioni elastiche che si propagano in un mezzo solido, liquido o gassoso.



Es. - un pistone mobile produce in gas variazioni di pressione e di densi creando zone di rarefazione seguite zone di compressione.

velocità di propagazione

aria	344 m/s
acqua	1480 m/s
ferro	5130 m/s
alluminio	5100 m/s

velocità di propagazione

in un solido $v = \sqrt{Y/\rho}$

in un fluido $v = \sqrt{B/\rho}$

Y modulo di Young; ρ densità

B modulo di elasticità per il fluido

$$B = \frac{\Delta P}{-\Delta V/V}$$

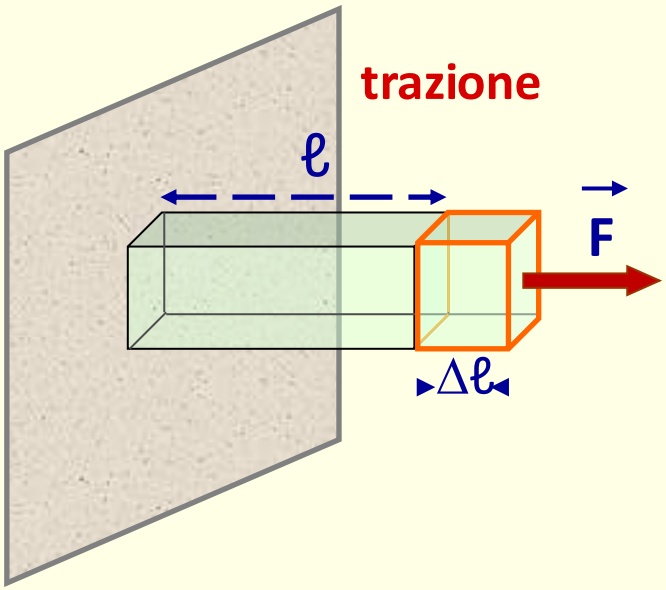
rapporto sforzo / deformazione

ELASTICITA’

corpo { RIGIDO / ELASTICO / PLASTICO

sforzo o stress

deformazione o strain

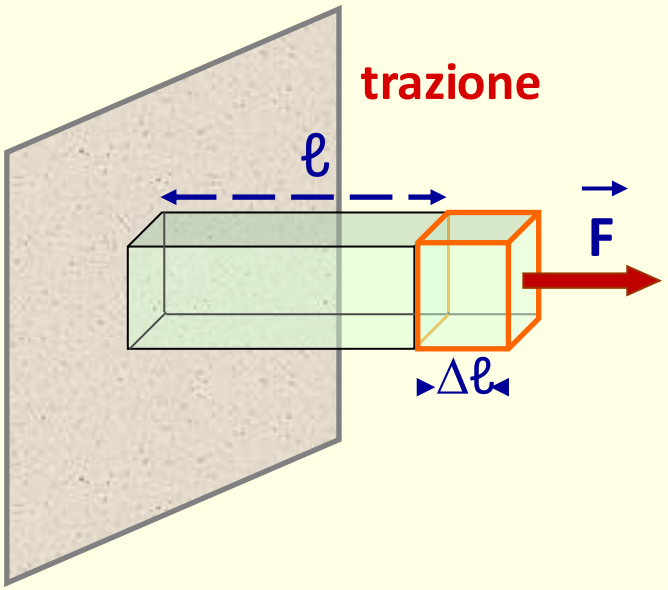


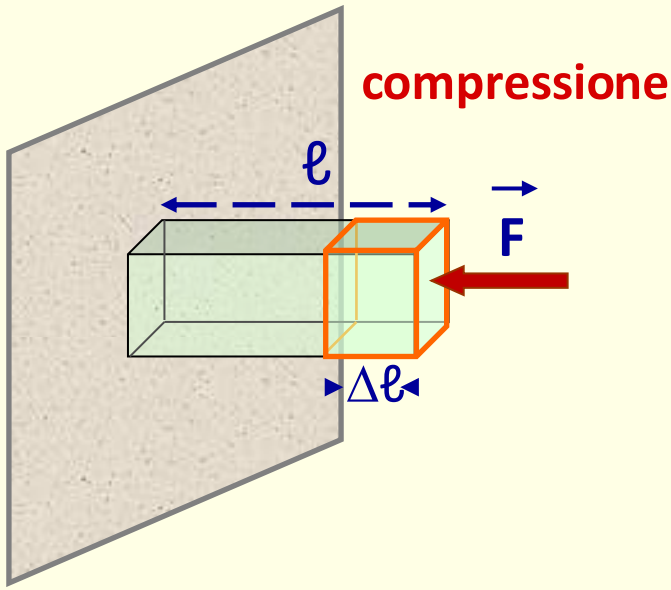
ELASTICITA’

corpo { RIGIDO / ELASTICO / PLASTICO

sforzo o stress

deformazione o strain

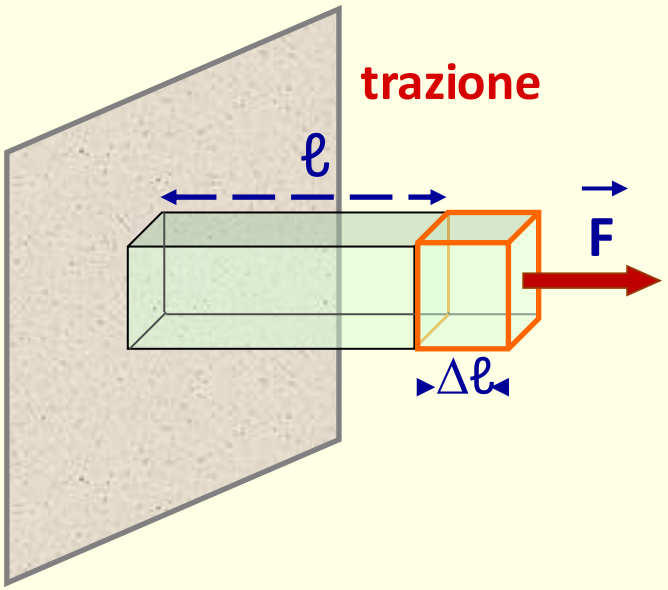


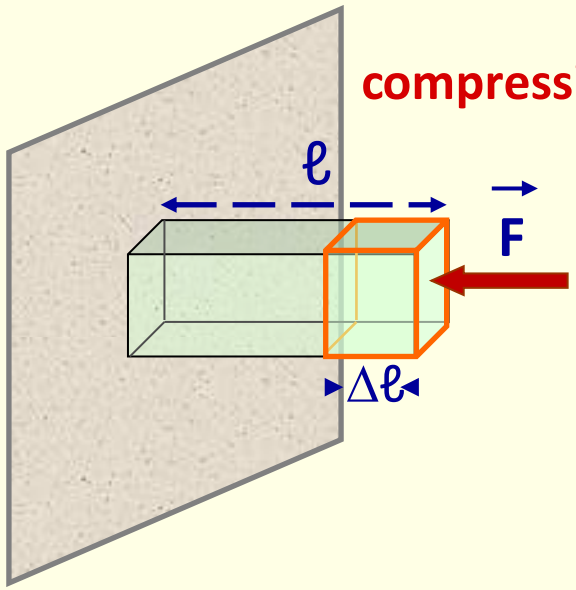


ELASTICITA’

corpo { RIGIDO / ELASTICO / PLASTICO

sforzo o stress	$\sigma = \frac{F}{A}$
deformazione o strain	$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}$



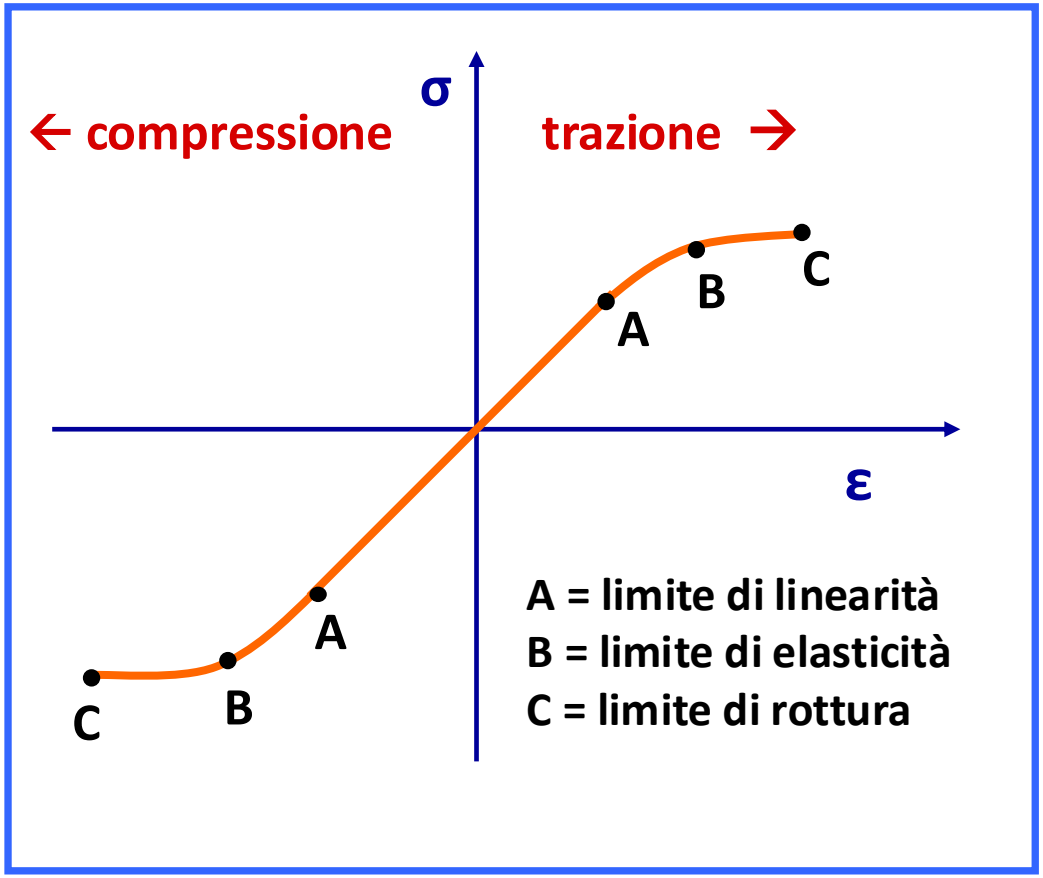


LEGGE DI HOOKE

sforzo = Y deformazione

$\sigma = Y\,\varepsilon$

Legge empirica per i corpi perfettamente elastici

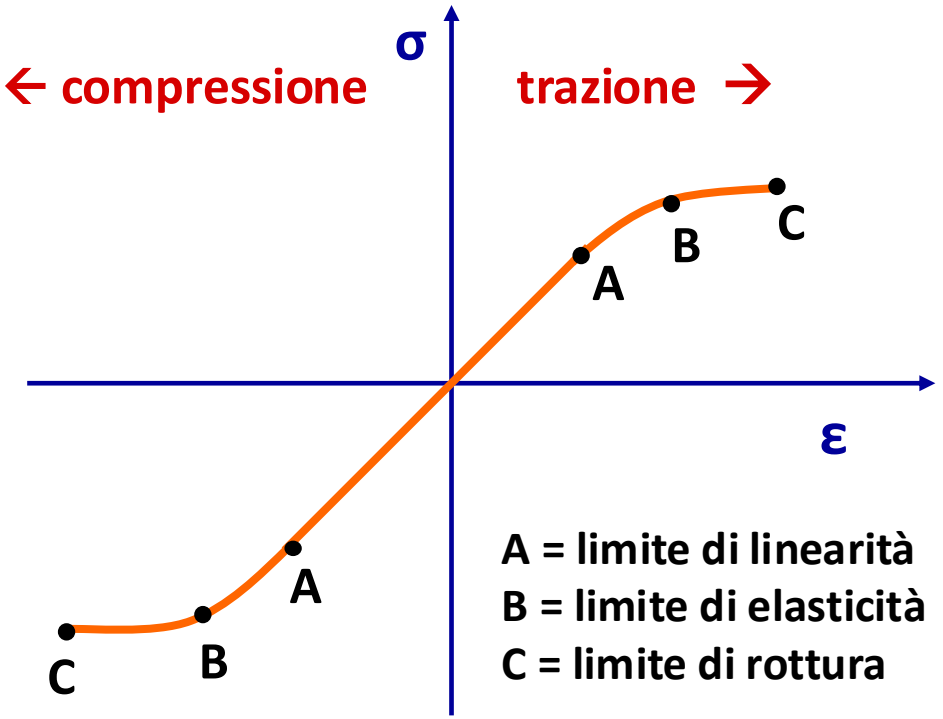


LEGGE DI HOOKE

sforzo = Y deformazione

$\sigma = Y \varepsilon$

Legge empirica per i corpi perfettamente elastici



Y modulo di Young in N/m^2	
Acciaio	2×10^{11}
Vetro	7×10^{10}
Mattone	2×10^{10}
Osso (trazione)	1.8×10^{10}
Osso (compressione)	0.9×10^{10}
Tendine	2×10^{7}
Gomma	1×10^{6}