

Università degli Studi di Milano
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

Scuola di Specializzazione in Audiologia e Foniatria

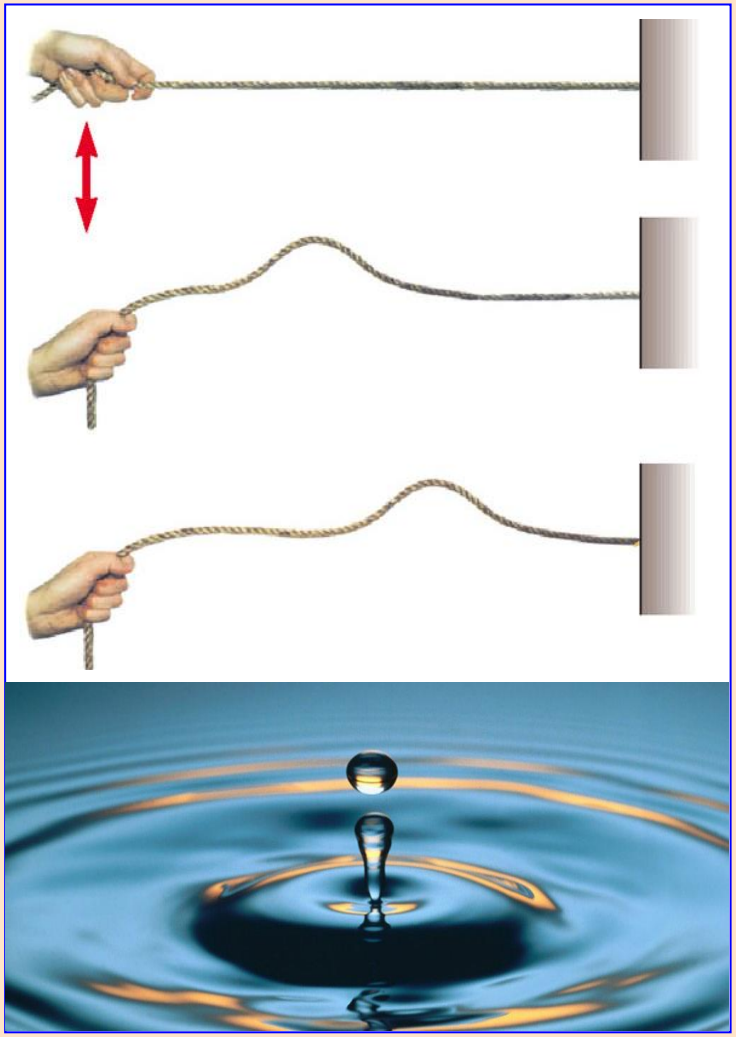
Corso di Fisica A.A. 2022-2023

Docente: Marie Claire Cantone

1. FENOMENI ONDULATORI

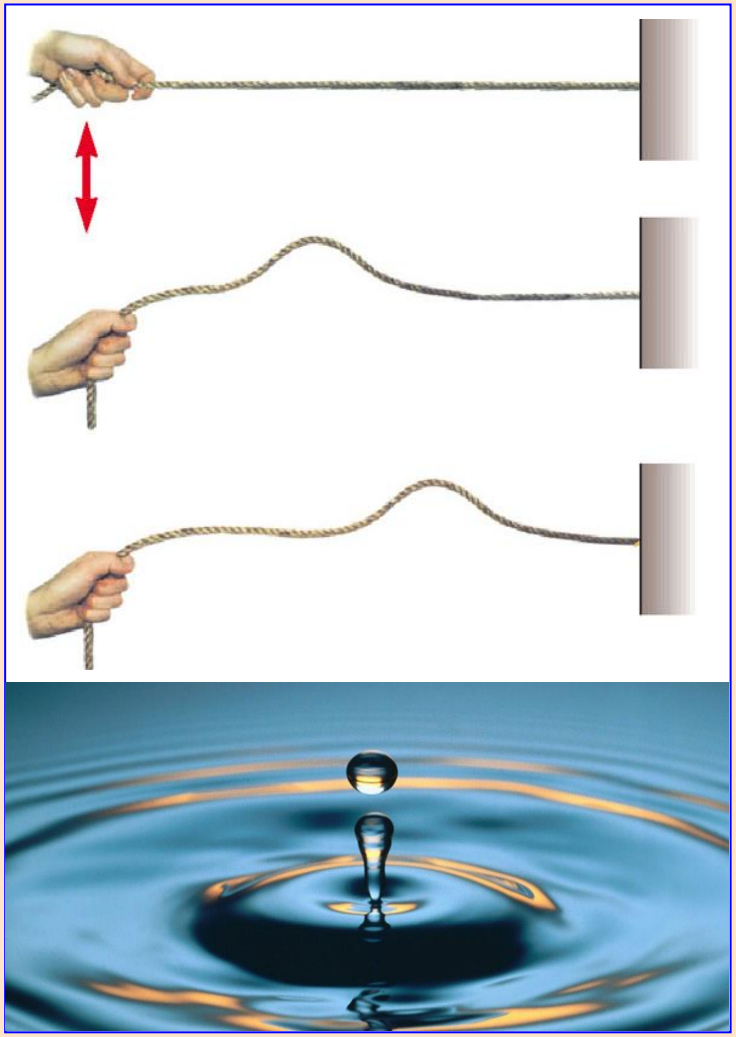
ONDE

L’onda è una oscillazione che si propaga trasportando energia ma senza trasporto di materia.

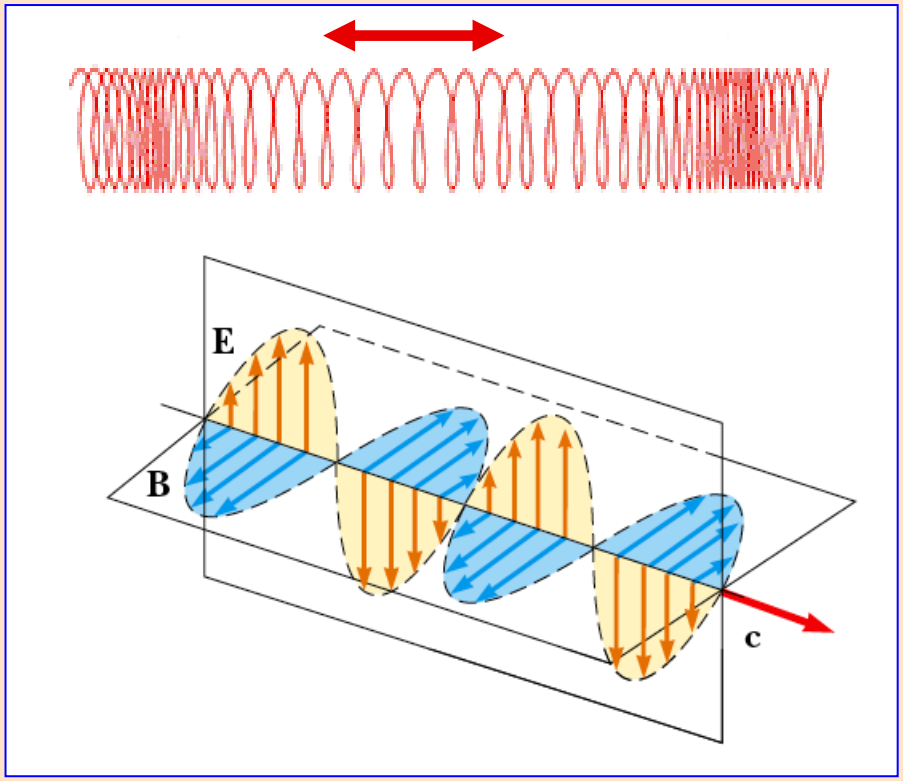


ONDE

L’onda è una oscillazione che si propaga trasportando energia ma senza trasporto di materia.

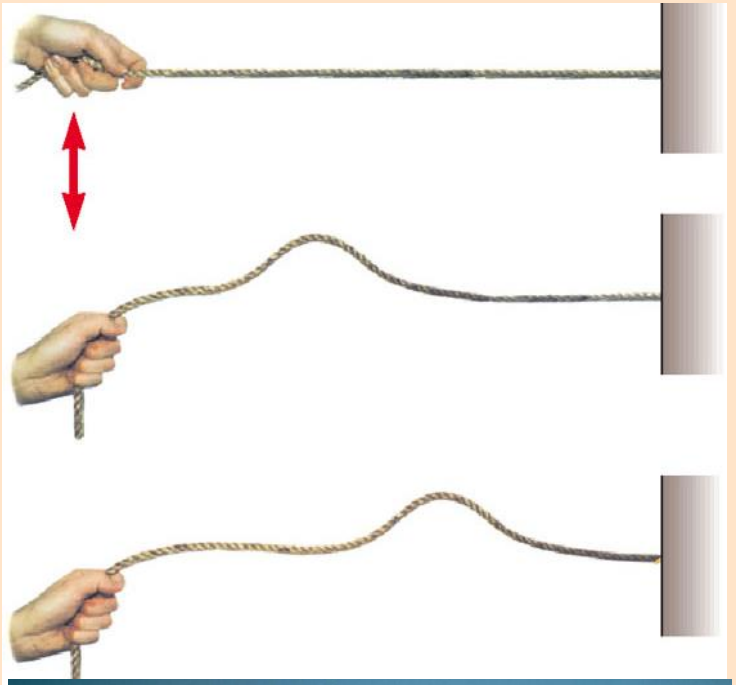


Ad oscillare può essere una particella o un vettore campo.



ONDE

L’onda è una perturbazione che si propaga trasportando energia ma senza trasporto di materia.

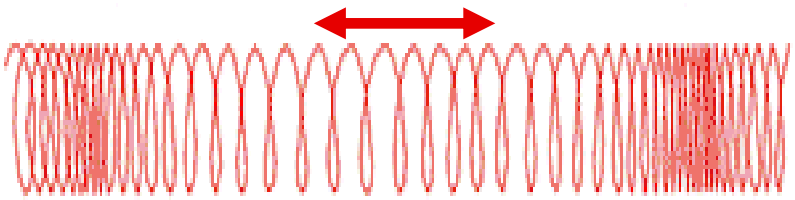




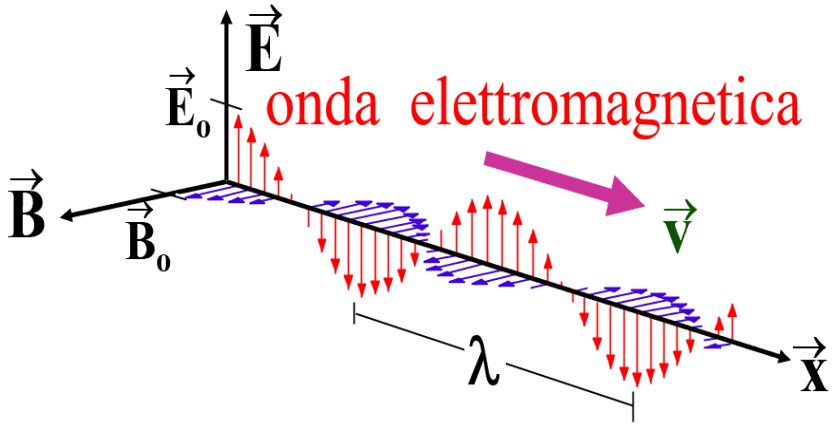
La propagazione dell’onda avviene tramite un impulso che si propaga in un mezzo con una certa velocità.

Il mezzo in cui si propaga l’onda è un materiale elastico, fluido o solido, es. una corda, aria, acqua, un molla . . .

ONDE



oscillazioni meccaniche



oscillazioni elettromagnetiche

Ad oscillare può essere una particella o un vettore campo.

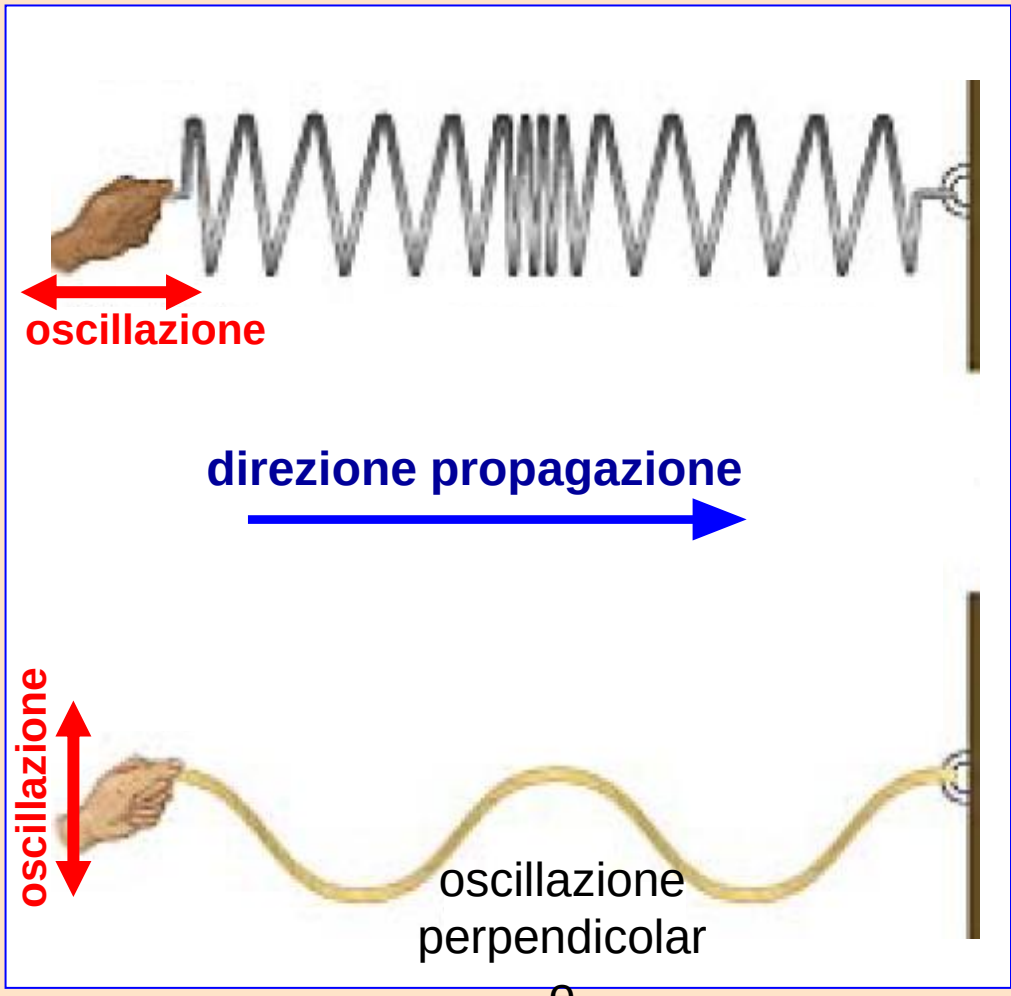
Le onde meccaniche si propagano in mezzo, es. onde nei liquidi, onde sonore . .

Le onde elettromagnetiche si propagano anche nel vuoto

TIPI DI ONDE

Onde longitudinali

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



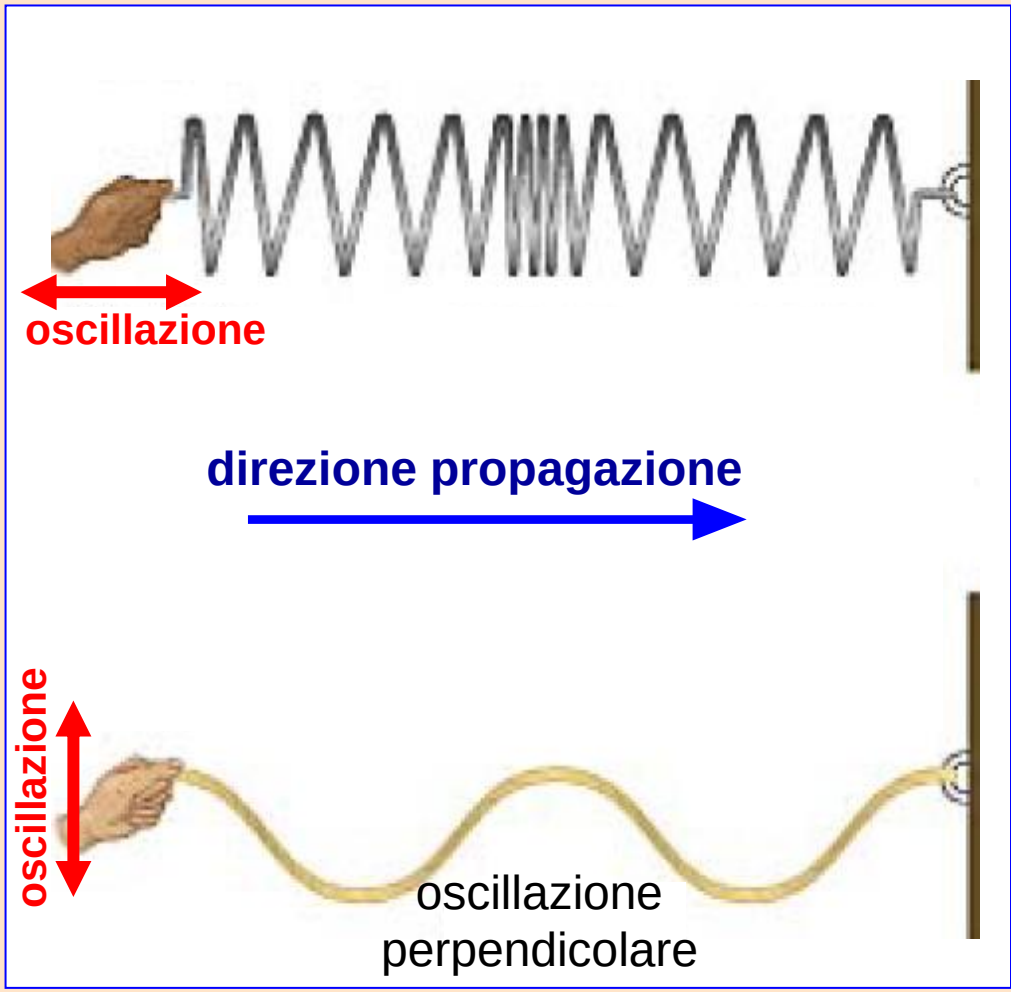
TIPI DI ONDE

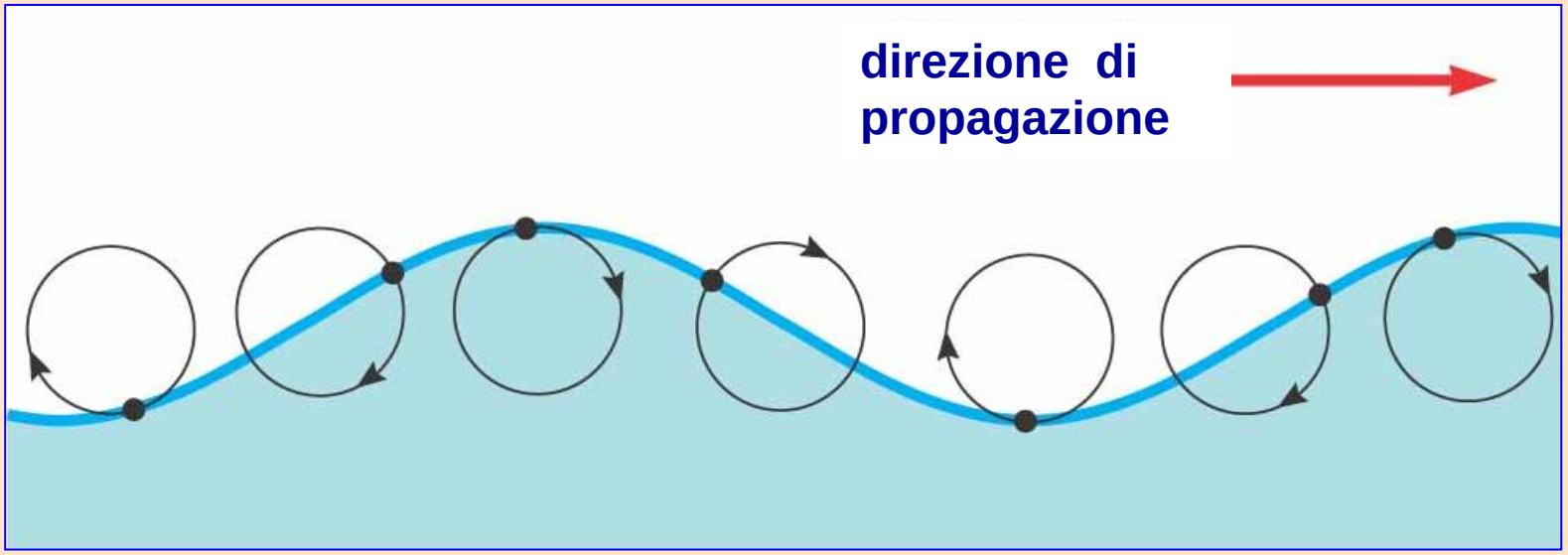
Onde longitudinali

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).





Alcune onde sono la combinazione di onde trasversali con onde longitudinali **e le onde sulla superficie dell'acqua ne sono un esempio.**

MOTI OSCILLATORI O VIBRATORI

In meccanica esempi classici sono il pendolo e l'altalena**, ma fenomeni con caratteristiche oscillatorie si ritrovano in altri campi della fisica:**

- Molecole dei solidi che vibrano attorno alla loro posizione di equilibrio,
- **Fenomeni ondulatori come** vibrazione elastica **lungo una corda (**corda di un violino**).**
- **Correnti in circuiti elettrici oscillanti,**

MOTI OSCILLATORI O VIBRATORI

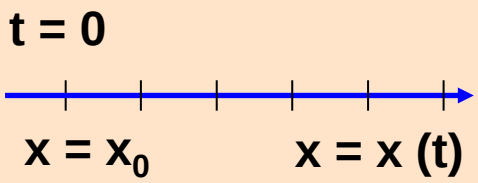
In meccanica esempi classici sono il pendolo e l'altalena**, ma fenomeni con caratteristiche oscillatorie si ritrovano in altri campi della fisica:**

- Molecole dei solidi che vibrano attorno alla loro posizione di equilibrio,
- **Fenomeni ondulatori come** vibrazione elastica **lungo una corda (**corda di un violino**).**
- **Correnti in circuiti elettrici oscillanti,**

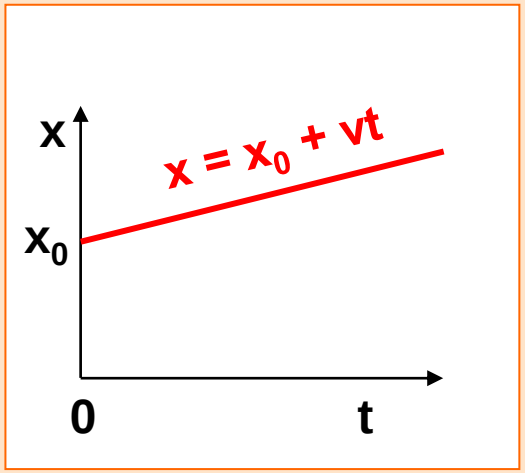
La natura dei sistemi vibranti può avere diversa origine ma le **stesse equazioni** descrivono il comportamento del sistema.

MOTO ARMONICO IN CINEMATICA

Moto rettilineo uniforme

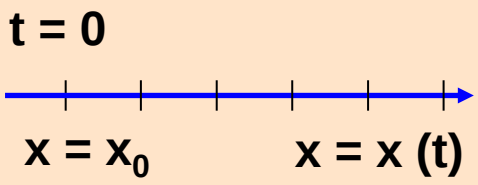


$x = x_0 + vt$

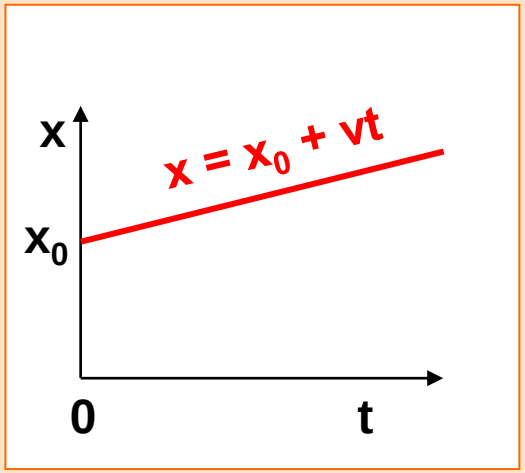


- $\vec{v}$ è cost in modulo, direzione e verso;
- la traiettoria è rettilinea;
- $\vec{a}$ è nulla;
- il grafico spazio-tempo è una retta;
- la legge oraria è una funzione lineare del tempo.

Moto rettilineo uniforme

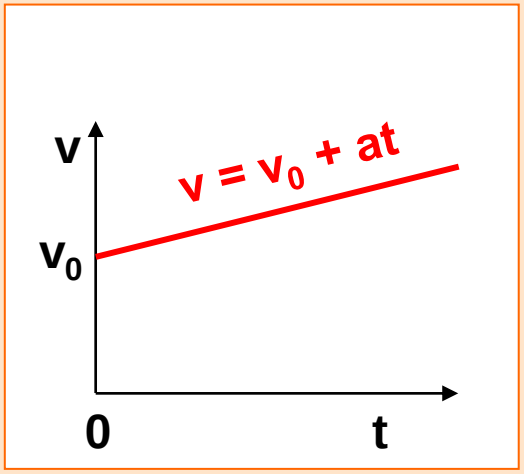


$x = x_0 + vt$

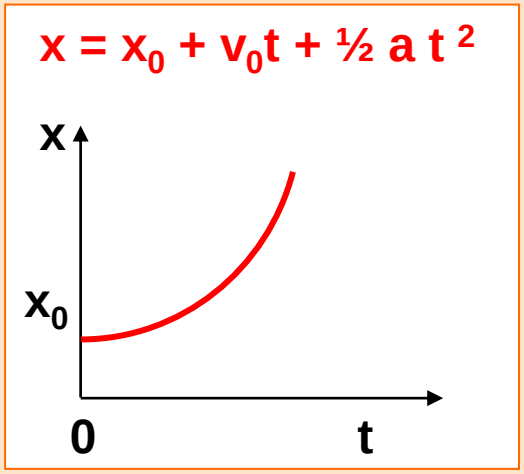


- $\vec{v}$ è cost in modulo, direzione e verso;
- la traiettoria è rettilinea;
- $\vec{a}$ è nulla;
- il grafico spazio-tempo è una retta;
- la legge oraria è una funzione lineare del tempo.

Moto rettilineo uniformemente accelerato



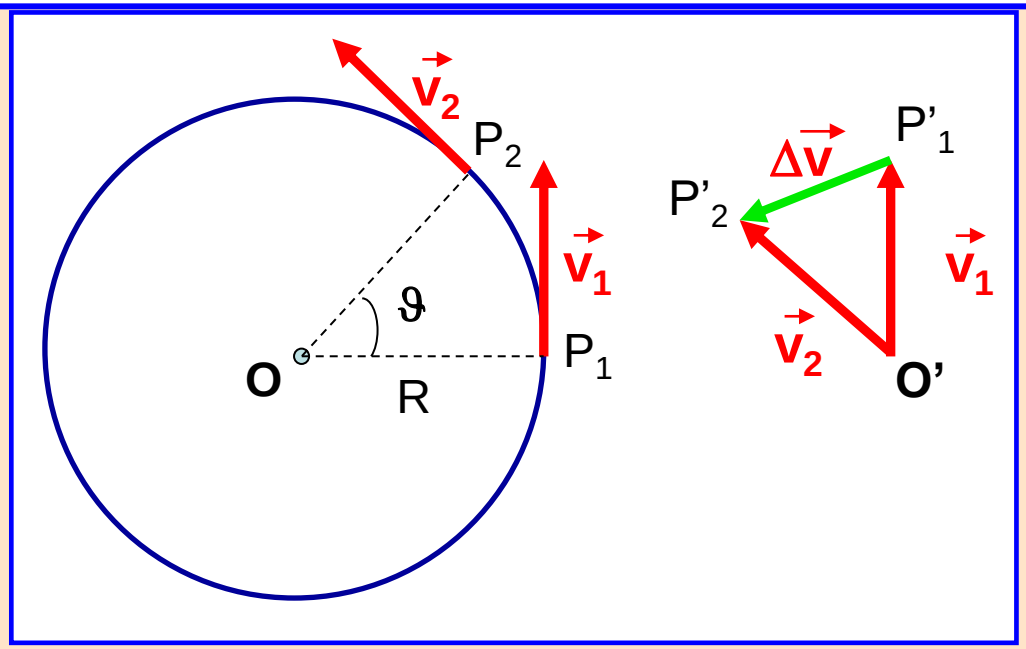
$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2} a t^2$



$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2} a t^2$

- $\vec{a}$ è cost in modulo, direzione e verso;
- la traiettoria è rettilinea;
- il grafico velocità-tempo è una retta;
- la legge oraria è una funzione parabolica del tempo.

Moto circolare uniforme



I triangoli $P'_1P'_2\,O'$ $P_1P_2\,O$ sono simili

Per Δt piccolo

$$P'_1P'_2 : P_1P_2 = O'P'_1 : OP_1$$

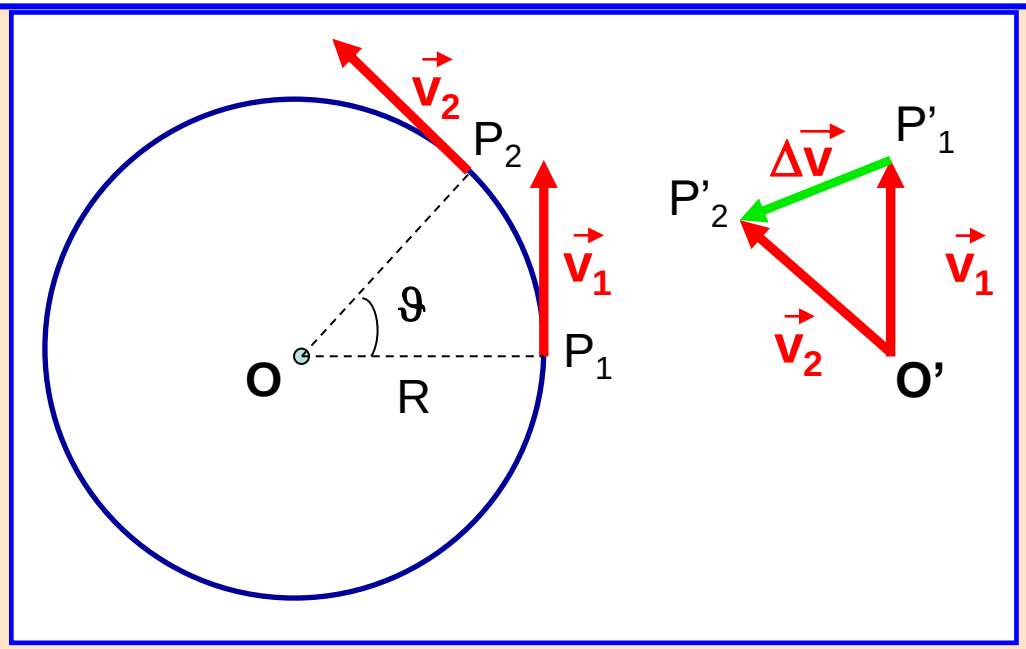
$$\Delta v : \Delta x = v : R \qquad v\,\Delta x = R\,\Delta v$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = v\,\Delta t$$

$$v\,\Delta x = v^2 \Delta t$$

Moto circolare uniforme



I triangoli $P'_1P'_2\,O'$ $P_1P_2\,O$ sono simili

Per Δt piccolo

$$P'_1P'_2 : P_1P_2 = O'P'_1 : OP_1$$

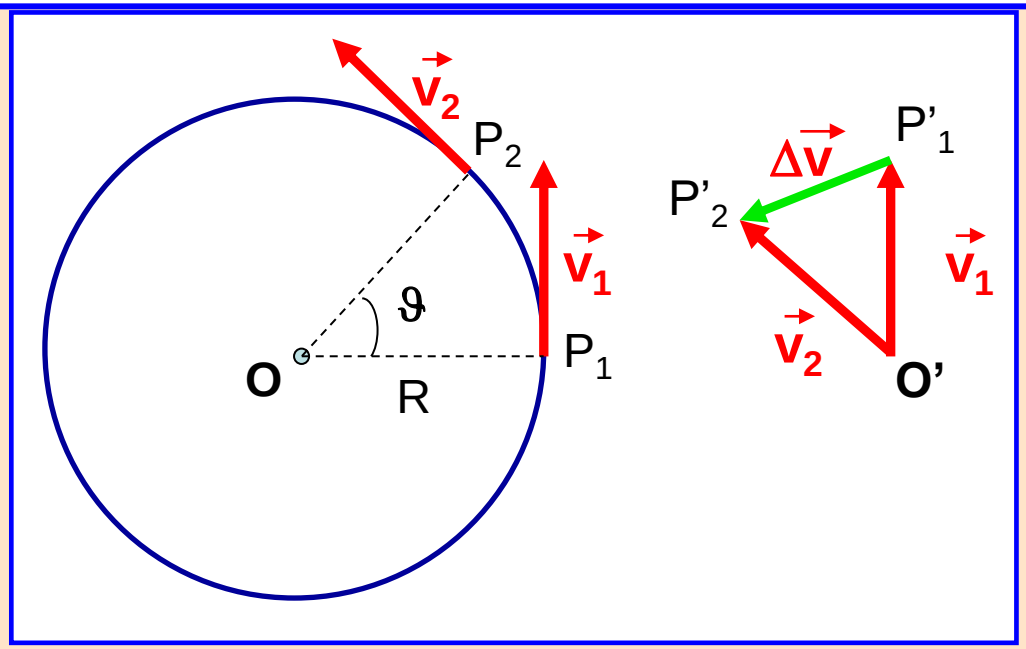
$$\Delta v : \Delta x = v : R \qquad v\,\Delta x = R\,\Delta v \qquad v^2\Delta t = R\Delta v$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = v\,\Delta t$$

$$v\,\Delta x = v^2\Delta t$$

Moto circolare uniforme



I triangoli $P'_1P'_2\,O'$ $P_1P_2\,O$ sono simili

Per Δt piccolo

$$P'_1P'_2 : P_1P_2 = O'P'_1 : OP_1$$

$$\Delta v : \Delta x = v : R \qquad v\,\Delta x = R\,\Delta v \qquad v^2\Delta t = R\Delta v$$

$$a = \Delta v/\Delta t \quad \rightarrow \quad a = v^2 / R$$

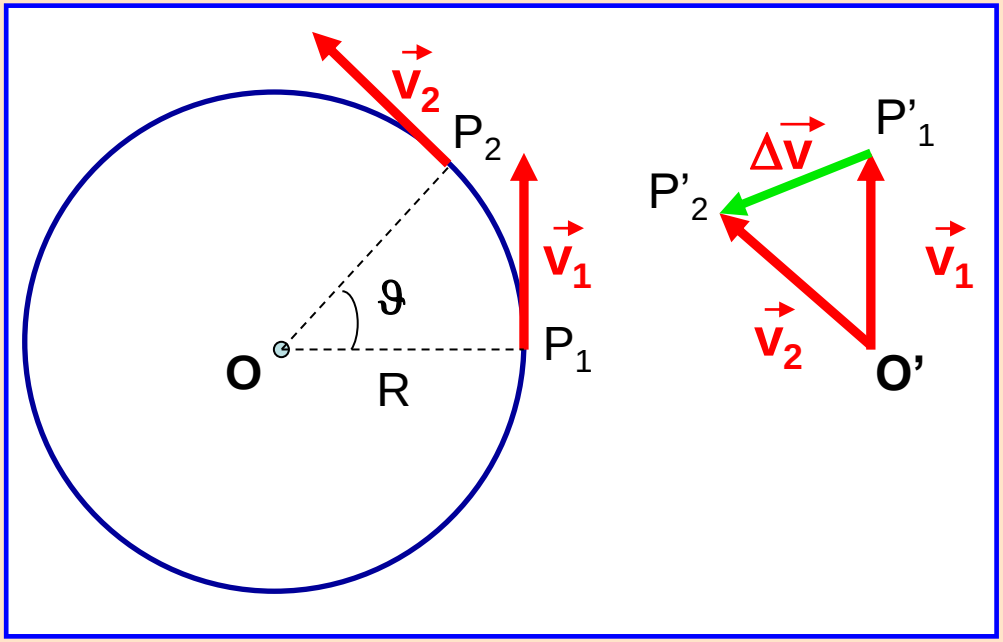
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = v\,\Delta t$$

$$v\,\Delta x = v^2\Delta t$$

Moto circolare uniforme

- La traiettoria è una circonferenza;
- $\vec{v}$ è cost in modulo, ovvero è cost la velocità periferica v e la velocità angolare ω;
- $\vec{v}$ è tangente (direzione) alla circonferenza;
- $\vec{a}$ ha un componente tangenziale nulla ed un componente normale centripeta.



v = velocità periferica

ω = velocità angolare

T = periodo, tempo impiegato per percorrere una intera circonferenza

f = frequenza, numero di giri completi fatti in un secondo

Per Δt piccolo $a = v^2 / R$

L' accelerazione ha una componente tangenziale nulla ed una componente normale centripeta

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

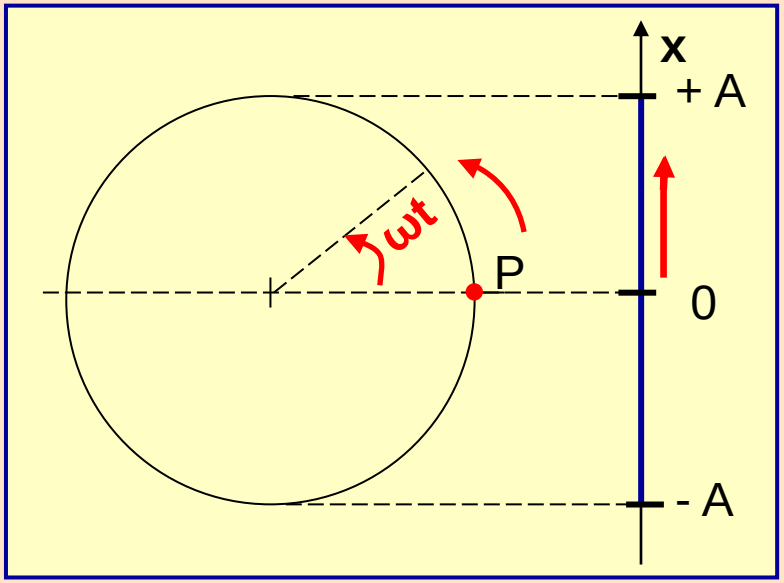
frequenza f si misura in hertz (Hz)

Moto armonico

- **moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria :**

  $x = A \text{ sen } \omega t$ **(quando x = 0 per t =0)**

- **visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A**

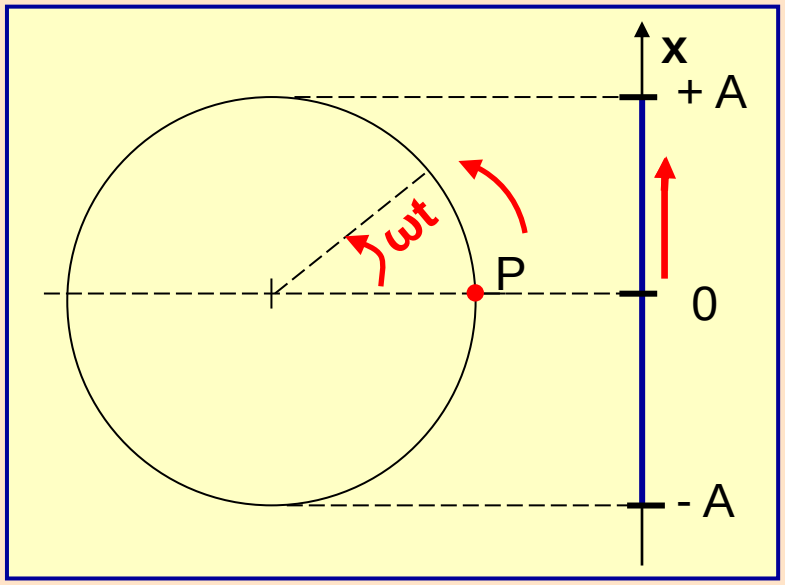


Moto armonico

- **moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria :**

  $x = A \text{ sen } \omega t$ **(quando x = 0 per t =0)**

- **visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A**



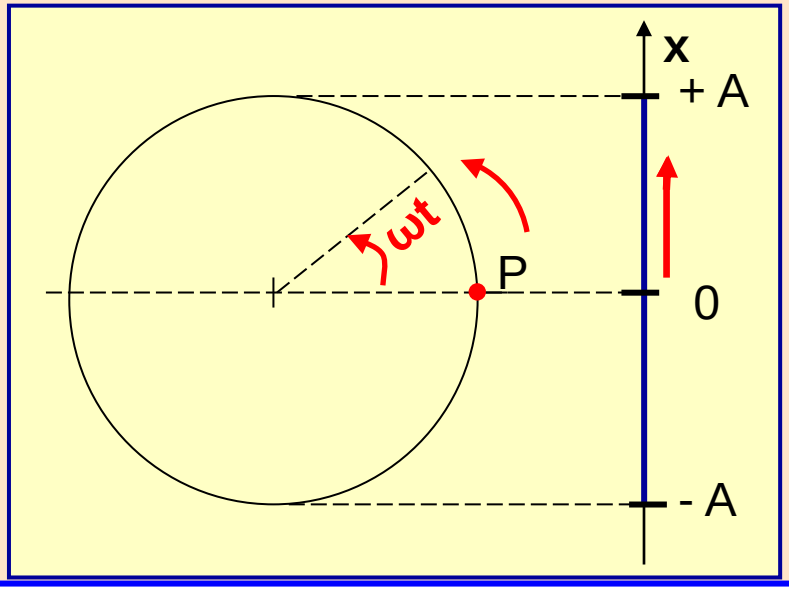
A = ampiezza del moto armonico, scostamento massimo dal centro di oscillazione;
ω = pulsazione, rapidità di ripetizione del ciclo;
T = periodo, tempo impiegato per ciclo;
f = frequenza, numero di cicli in un secondo;
φ = fase iniziale

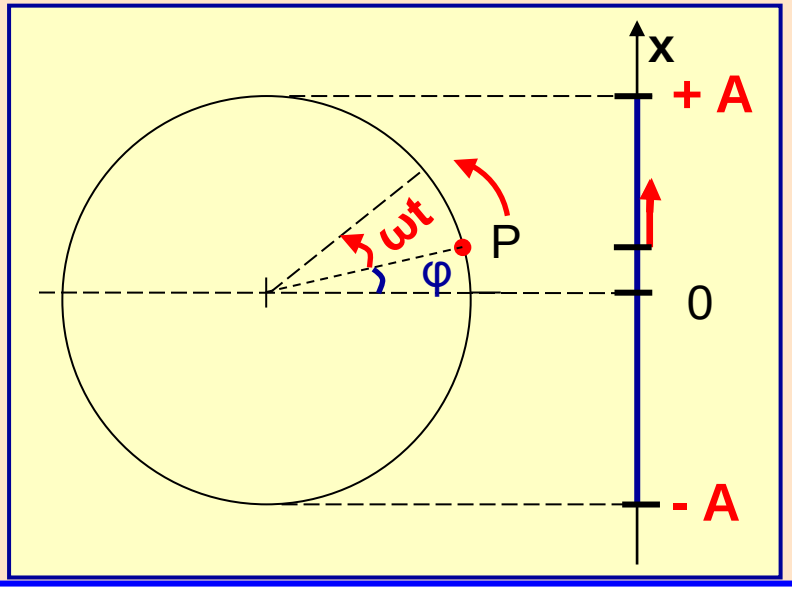
Moto armonico

- **moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria :**

$x = A \sen \omega t$ **(quando x = 0 per t =0)** $x = A \sen (\omega t + \varphi)$ **(in generale)**

- **visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A**





A = ampiezza del moto armonico, scostamento massimo dal centro di oscillazione;

ω = pulsazione, rapidità di ripetizione del ciclo;

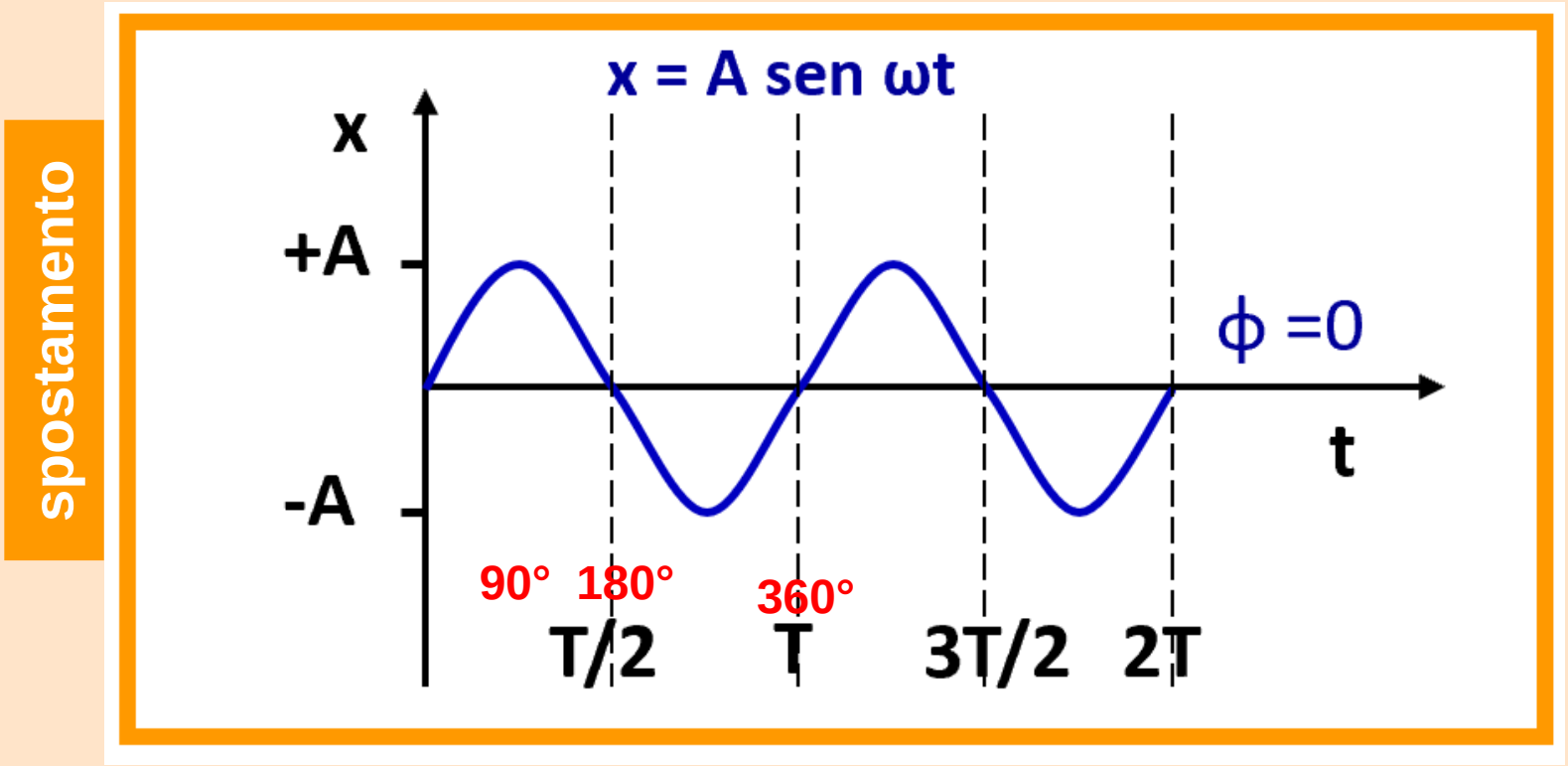
T = periodo, tempo impiegato per ciclo;

f = frequenza, numero di cicli in un secondo;

φ = fase iniziale

$x = A \sen \omega t$ **spostamento**

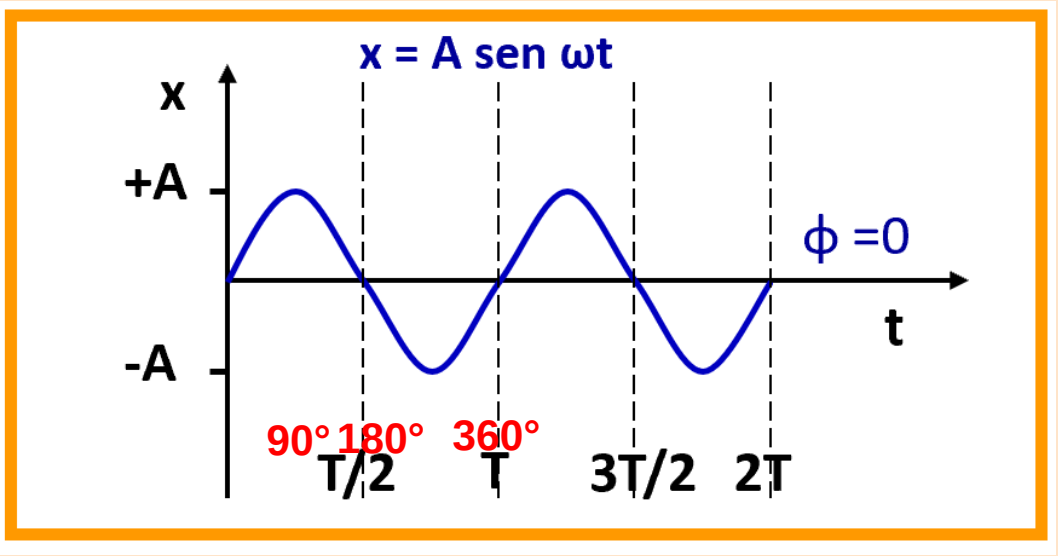
T = periodo, tempo impiegato per ciclo;



- $x = A \sen \omega t$

T = periodo, tempo impiegato per ciclo;

spostamento



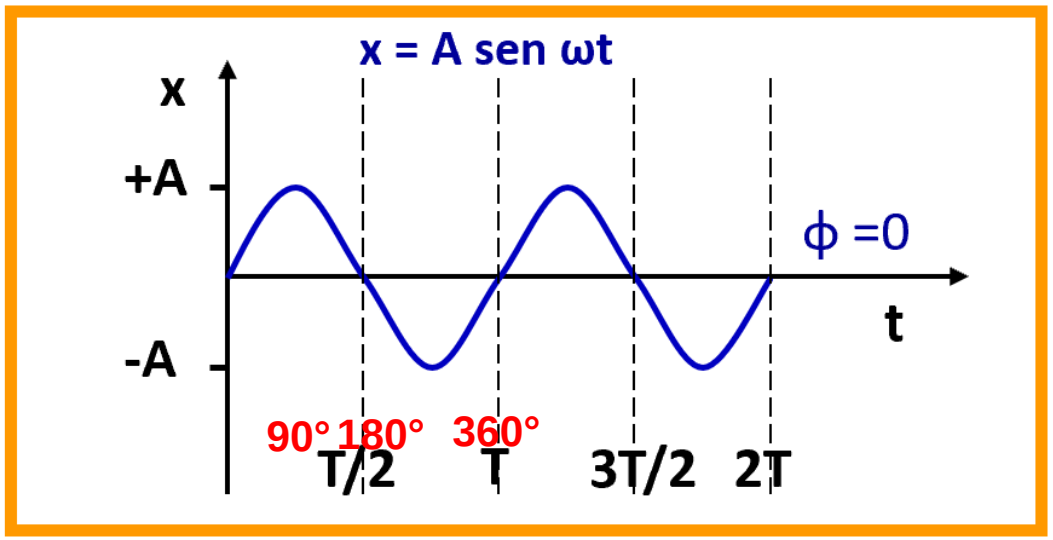
$v = dx / dt$

- $v = A\omega \cos \omega t$

$x = A \operatorname{sen} \omega t$

T = periodo, tempo impiegato per ciclo;

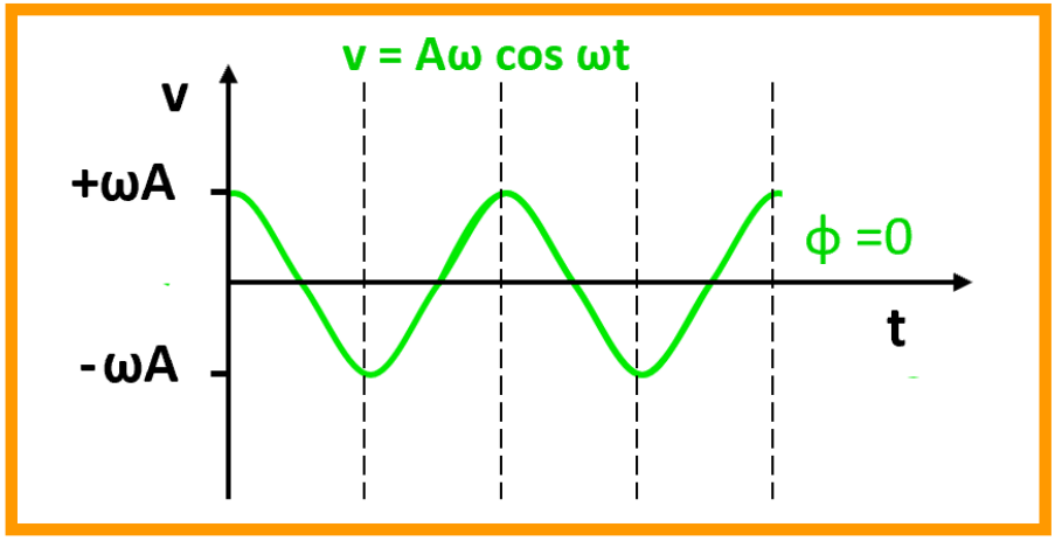
spostamento



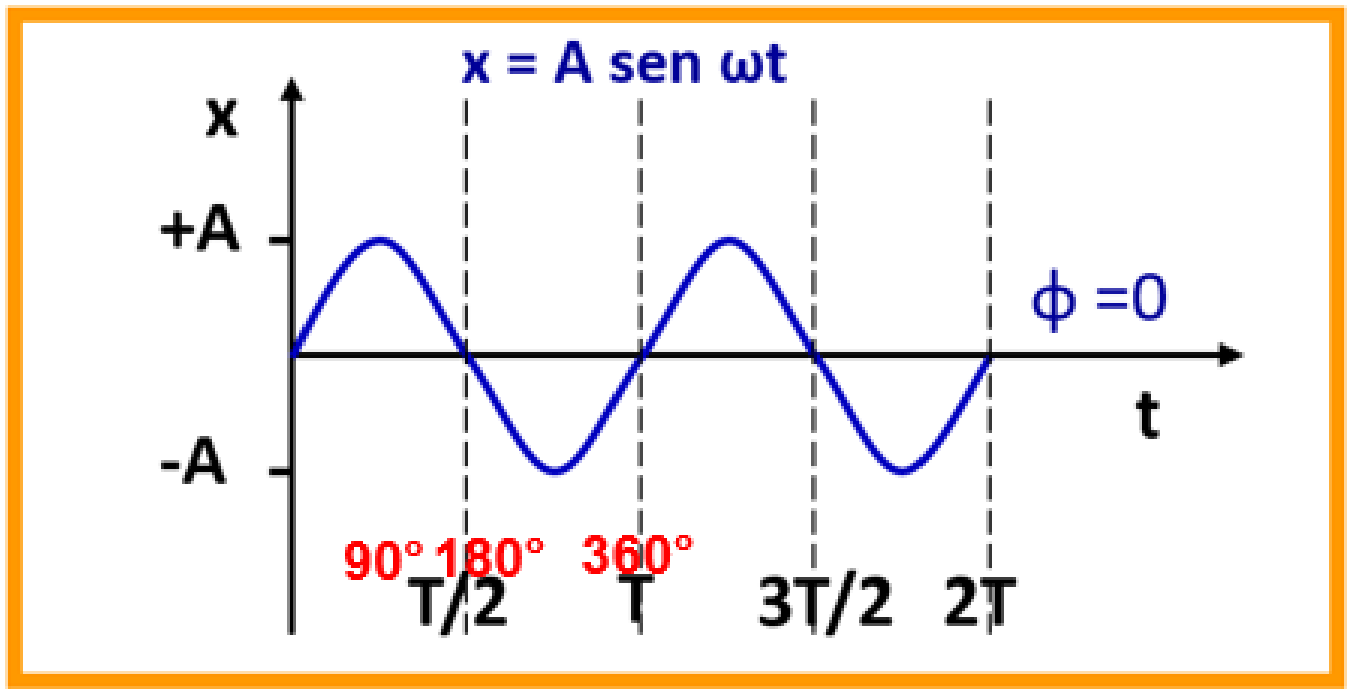
$v = dx / dt$

$v = A\omega \cos \omega t$

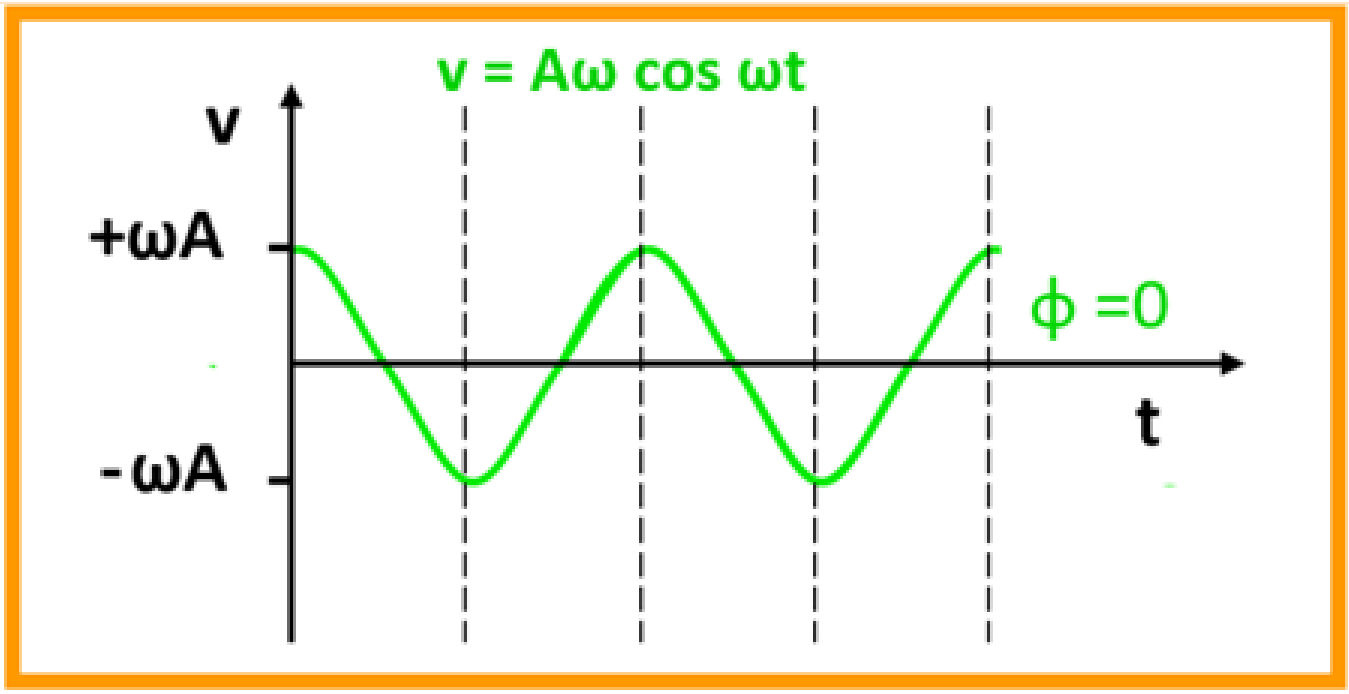
velocità



spostamento



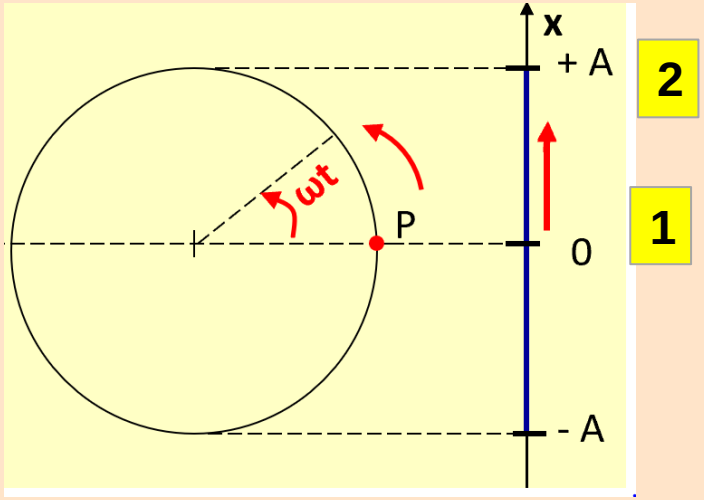
velocità



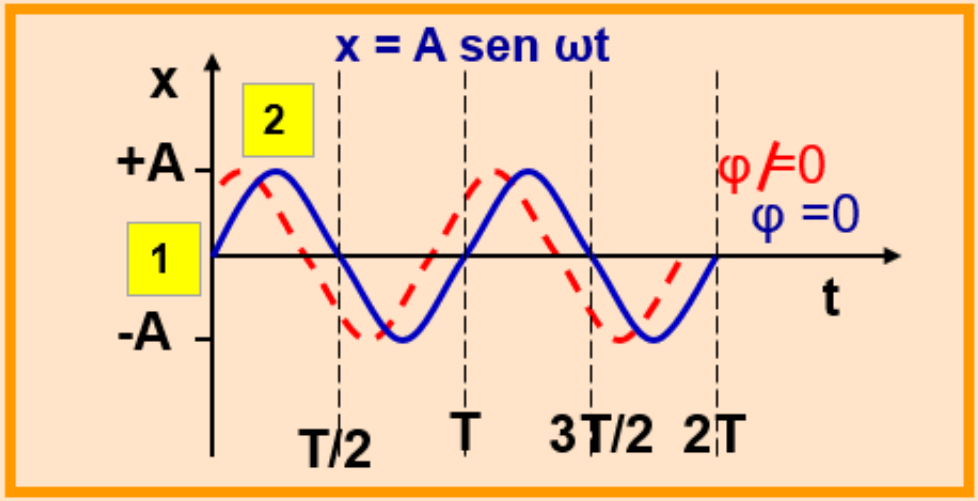
velocità e accelerazione del moto:

$v = dx / dt$

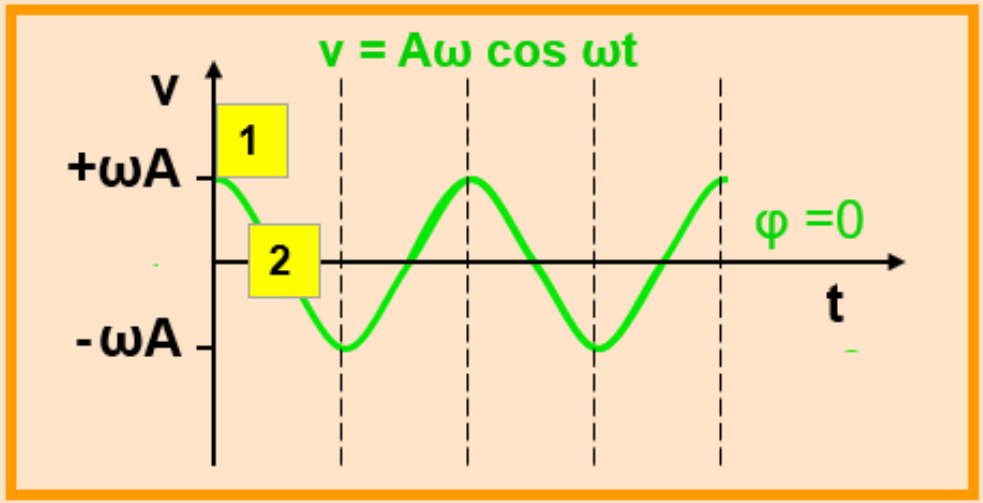
$v = A\omega \cos \omega t$



spostamento



velocità



- **velocità e accelerazione del moto:**

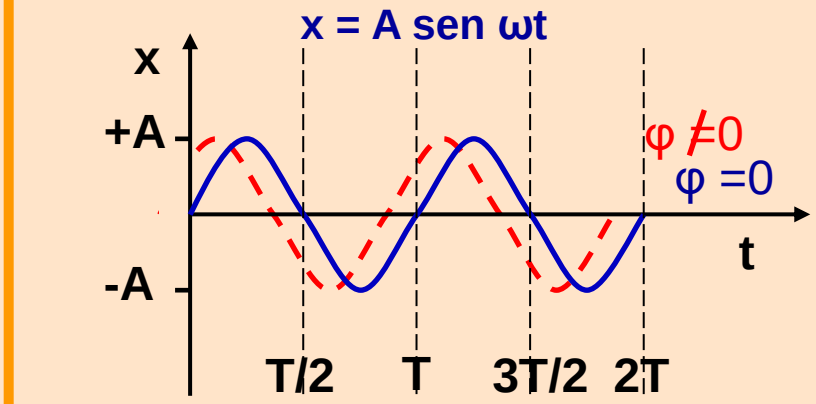
$$v = dx / dt$$

$$v = A\omega \cos \omega t$$

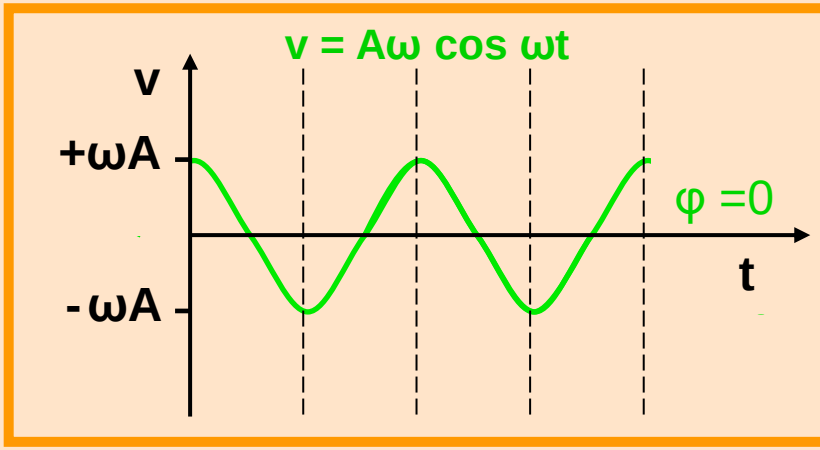
$$a = dv / dt$$

$$a = - A\omega^2 \operatorname{sen} \omega t$$

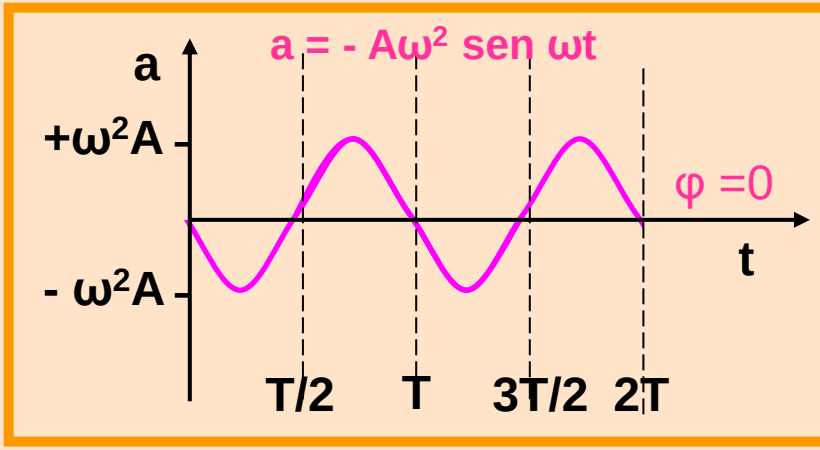
spostamento



velocità



accelerazione



- **velocità e accelerazione del moto:**

$v = dx / dt$

$v = A\omega \cos \omega t$

$a = dv / dt$

$a = - A\omega^2 \operatorname{sen} \omega t$

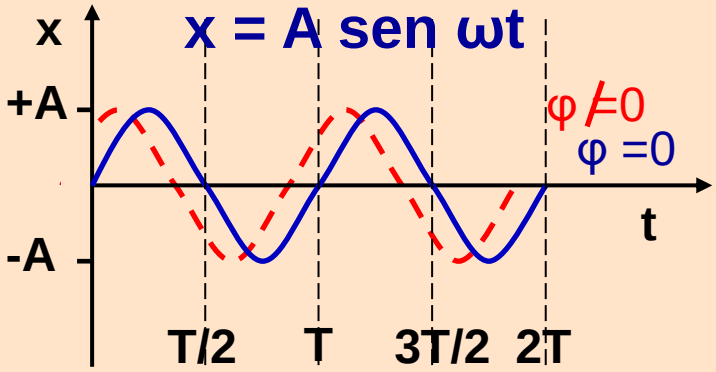
- **Il modulo dell'accelerazione è proporzionale allo spostamento ma di segno opposto, il coefficiente di proporzionalità è il quadrato della pulsazione.**

$$a = - \omega^2 x$$

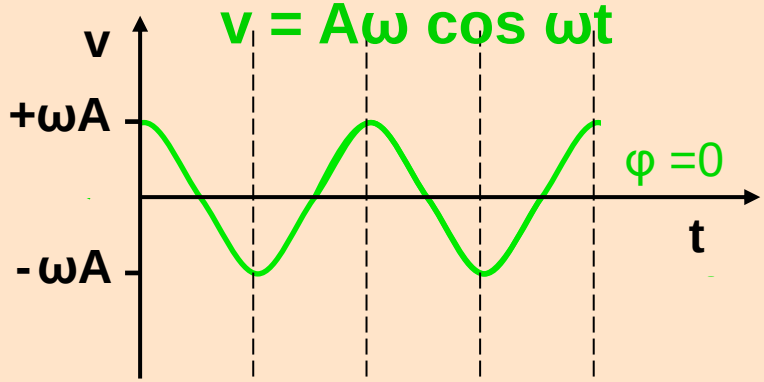
dove : $x = A \operatorname{sen} \omega t$

ω = pulsazione, rapidità di ripetizione del ciclo

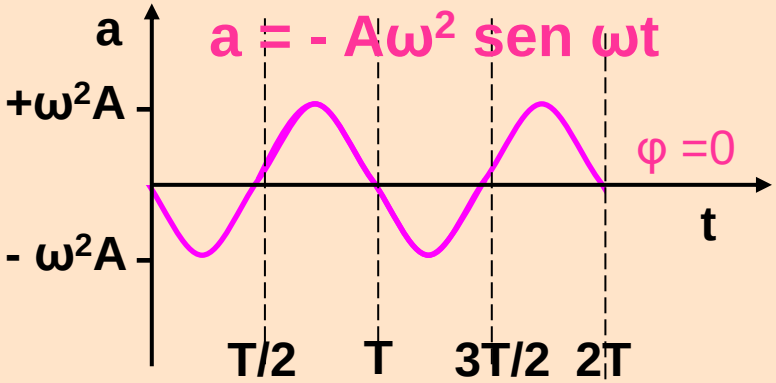
spostamento



velocità



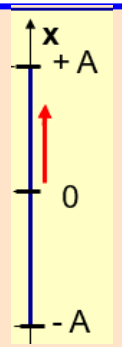
accelerazione



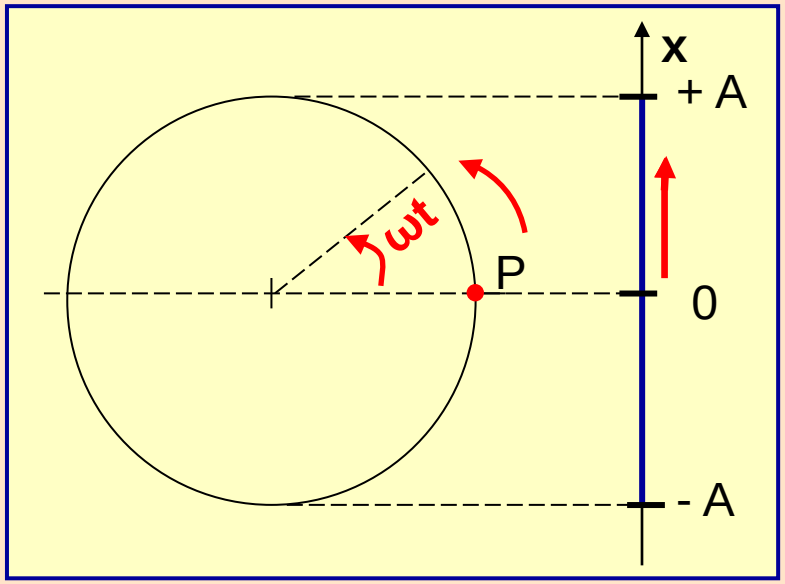
Moto armonico

- moto periodico di un punto lungo una **traiettoria rettilinea** attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria :

$$x = A \sin \omega t$$



- visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A

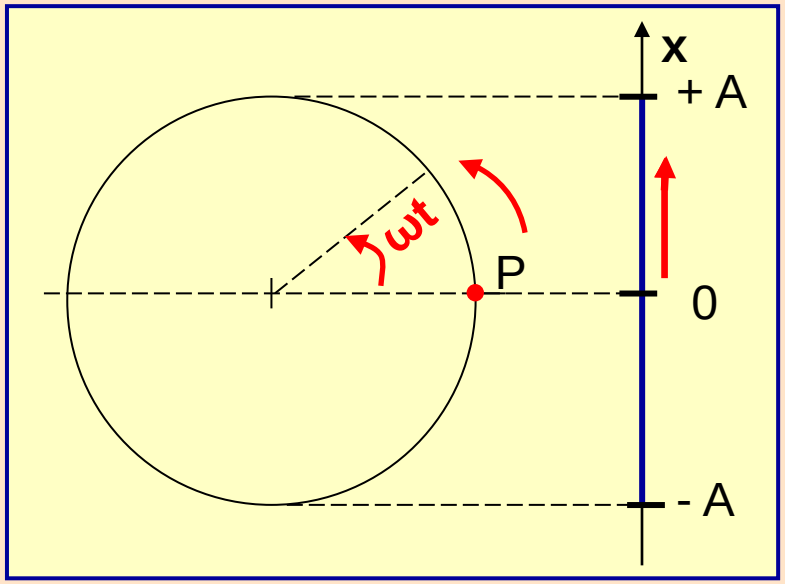


$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

Moto armonico

- moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria : $x = A \text{ sen } \omega t$

- visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A



$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

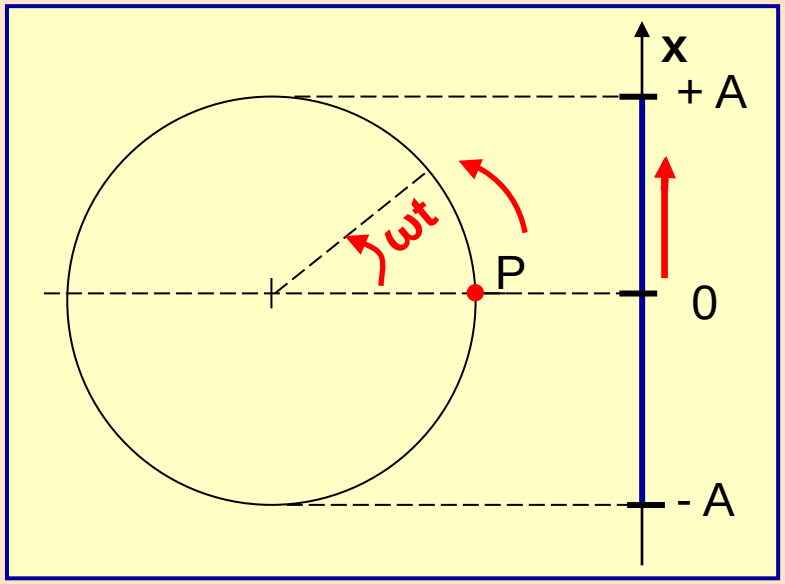
MOTO CIRCOLARE UNIFORME

v = velocità periferica
ω = velocità angolare
T = periodo, tempo impiegato per percorrere una intera circonferenza
f = frequenza, numero di giri completi fatti in un secondo

Moto armonico

- moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria : $x = A \text{ sen } \omega t$

- visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A



MOTO ARMONICO

A = ampiezza del moto armonico,
ω = pulsazione, rapidità di ripetizione del ciclo;
T = periodo, tempo impiegato per ciclo;
f = frequenza, numero di cicli in un secondo

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

MOTO CIRCOLARE UNIFORME

v = velocità periferica
ω = velocità angolare
T = periodo, tempo impiegato per percorrere una intera circonferenza
f = frequenza, numero di giri completi fatti in un secondo

Riassumendo - Moto armonico

spostamento

- $x = A \text{ sen } \omega t$

velocità

$v = dx / dt$

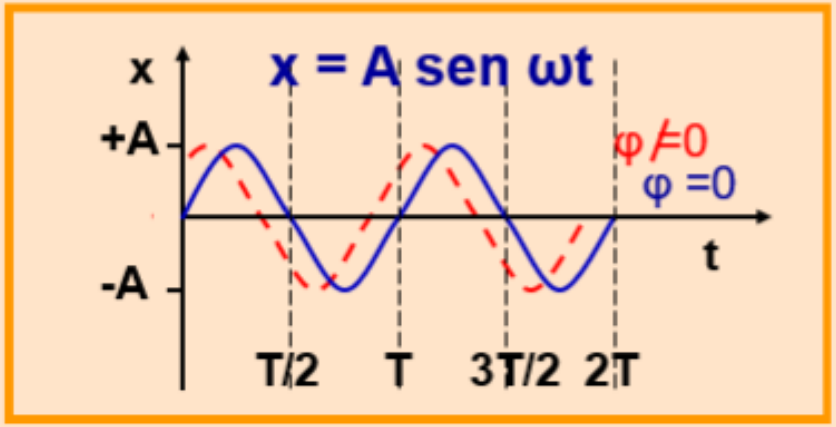
- $v = A\omega \cos \omega t$

accelerazione

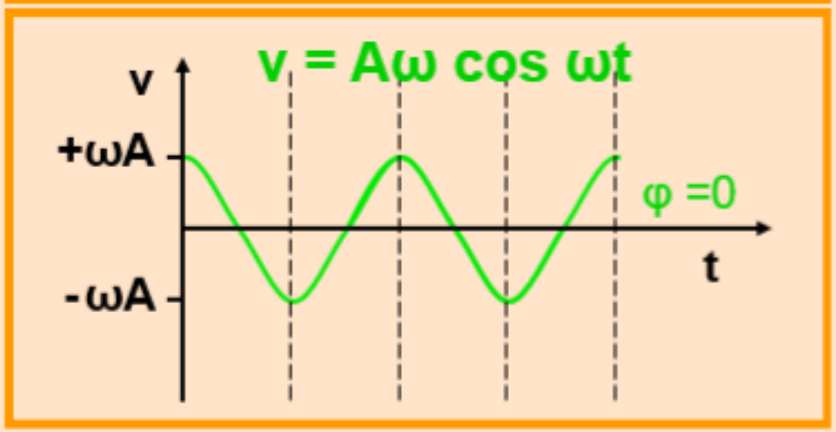
$a = dv / dt$

- $a = - A\omega^2 \text{ sen } \omega t$
- $a = - \omega^2 x$

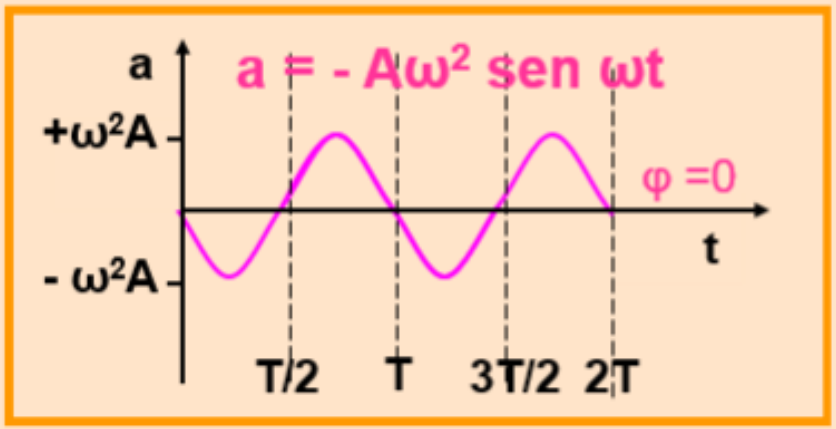
spostamento



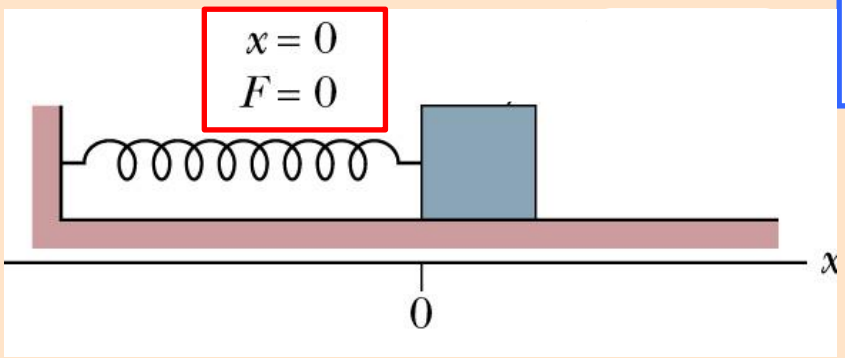
velocità



accelerazione



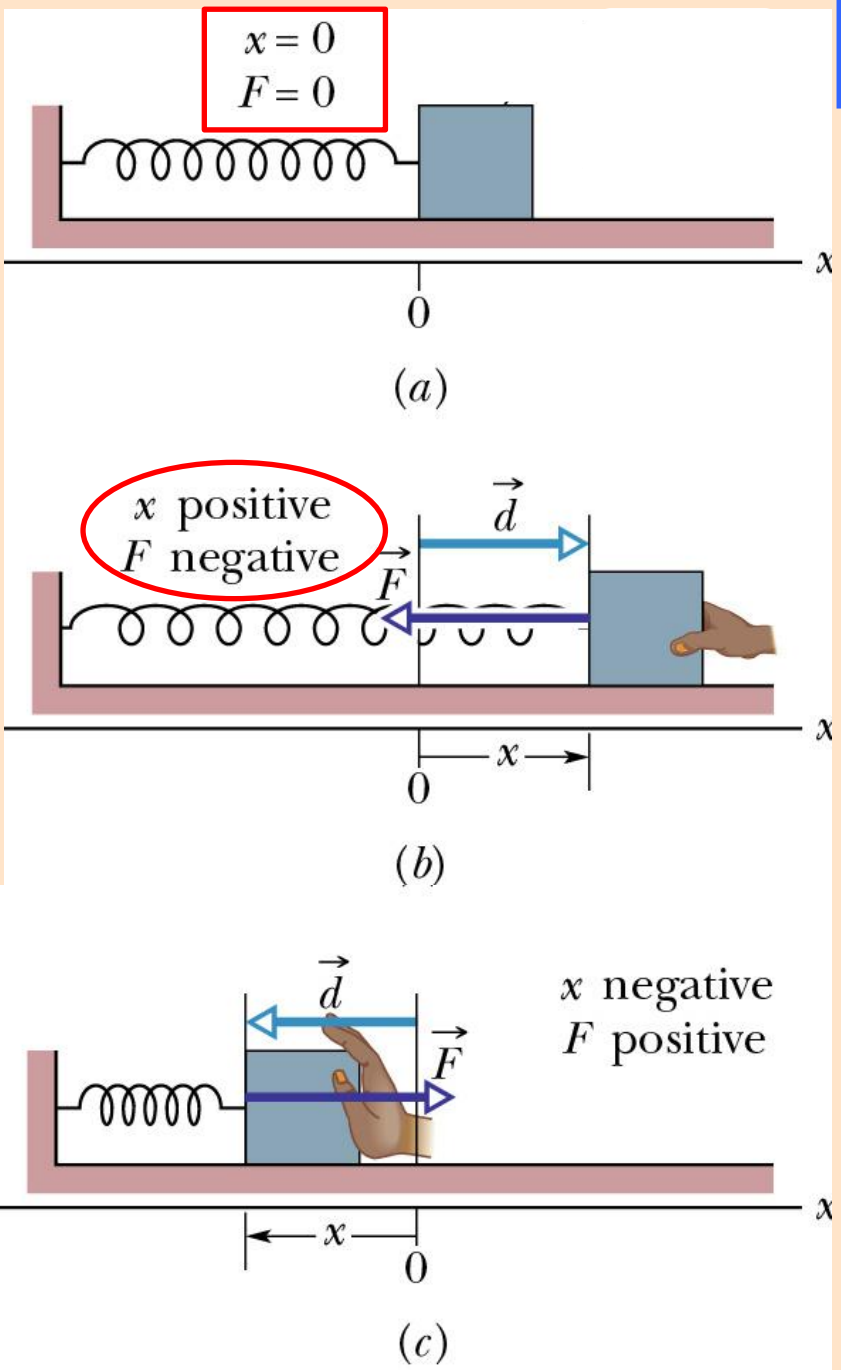
FORZE ELASTICHE E MOTI OSCILLATORI IN DINAMICA



FORZE ELASTICHE

La massa m è attaccata ad una molla. Nessuna forza applicata (F=0) → nessuno spostamento (x=0)

FORZE ELASTICHE

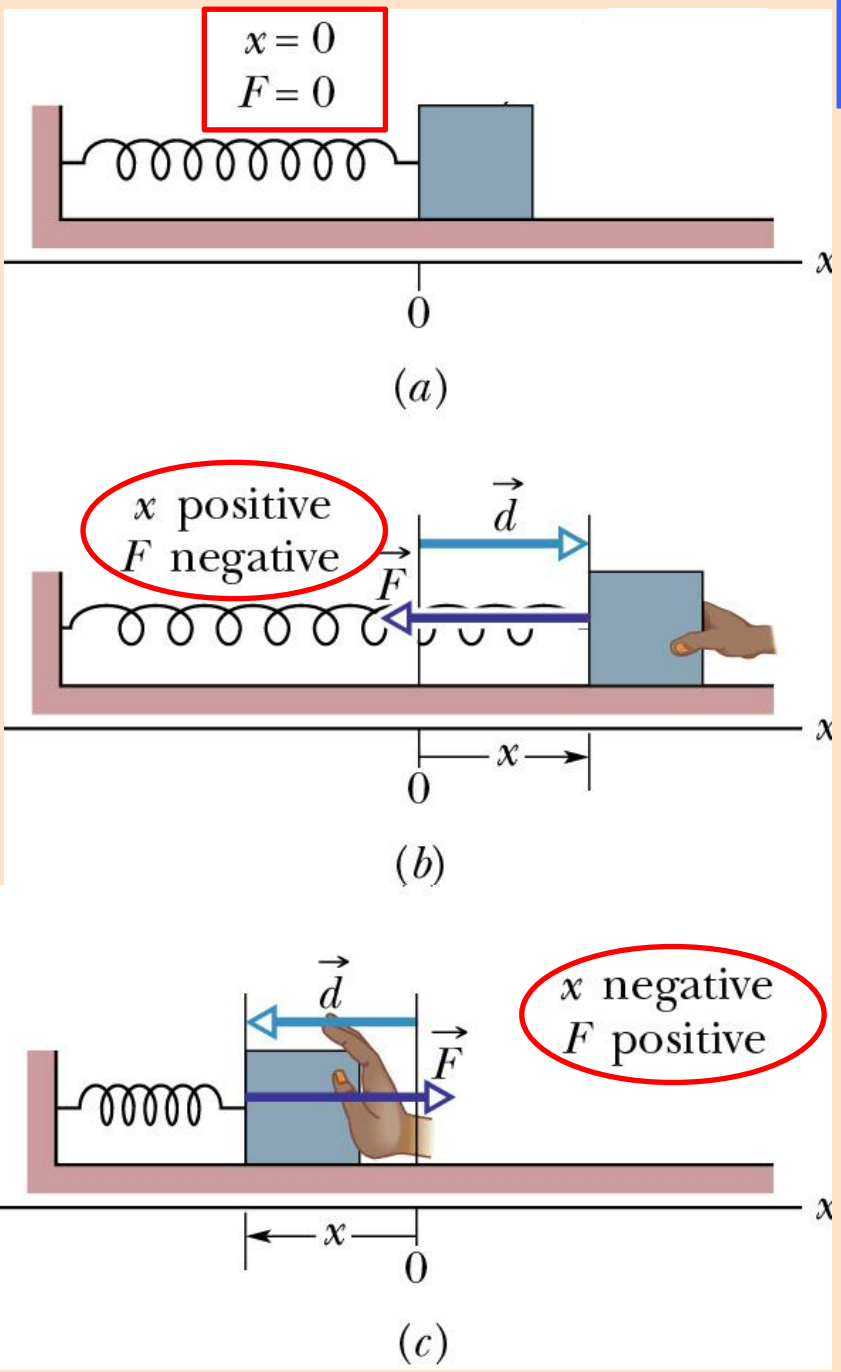


La massa m è attaccata ad una molla. Nessuna forza applicata (F=0) → nessuno spostamento (x=0)

La massa m dopo aver subito lo spostamento dalla sua posizione di equilibrio è lasciata libera.

In assenza di attrito, sotto l'azione della forza di richiamo F, la massa oscilla attorno alla posizione di equilibrio.

FORZE ELASTICHE



La massa m è attaccata ad una molla. Nessuna forza applicata (F=0) → nessuno spostamento (x=0)

La massa m dopo aver subito lo spostamento dalla sua posizione di equilibrio è lasciata libera.

In assenza di attrito, sotto l'azione della forza di richiamo F, la massa oscilla attorno alla posizione di equilibrio.

La forza di richiamo è tanto maggiore quanto maggiore è la deformazione x della molla.

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

Per la forza elastica $F = -kx$ $a = -kx/m$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

Per la forza elastica $F = - kx$ $a = - kx /m$

MOTO ARMONICO

$x = A \text{ sen } \omega t$ $a = - \omega^2 x$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

Per la forza elastica $F = - kx$ $a = - kx /m$

MOTO ARMONICO

$x = A \text{ sen } \omega t$ $a = - \omega^2 x$ $\omega^2 = - a/x = kx/xm = k/m$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

Per la forza elastica $F = - kx$ $a = - kx /m$

MOTO ARMONICO

$x = A \text{ sen } \omega t$ $a = - \omega^2 x$ $\omega^2 = - a/x = kx/xm = k/m$

ovvero $\omega = \sqrt{k/m}$

La forza elastica che si desta in un corpo a seguito della deformazione x della molla è proporzionale alla deformazione x stessa, ma di verso opposto.

Dal 2° principio $F = ma \rightarrow a = F/m$

Per la forza elastica $F = - kx$ $a = - kx /m$

MOTO ARMONICO

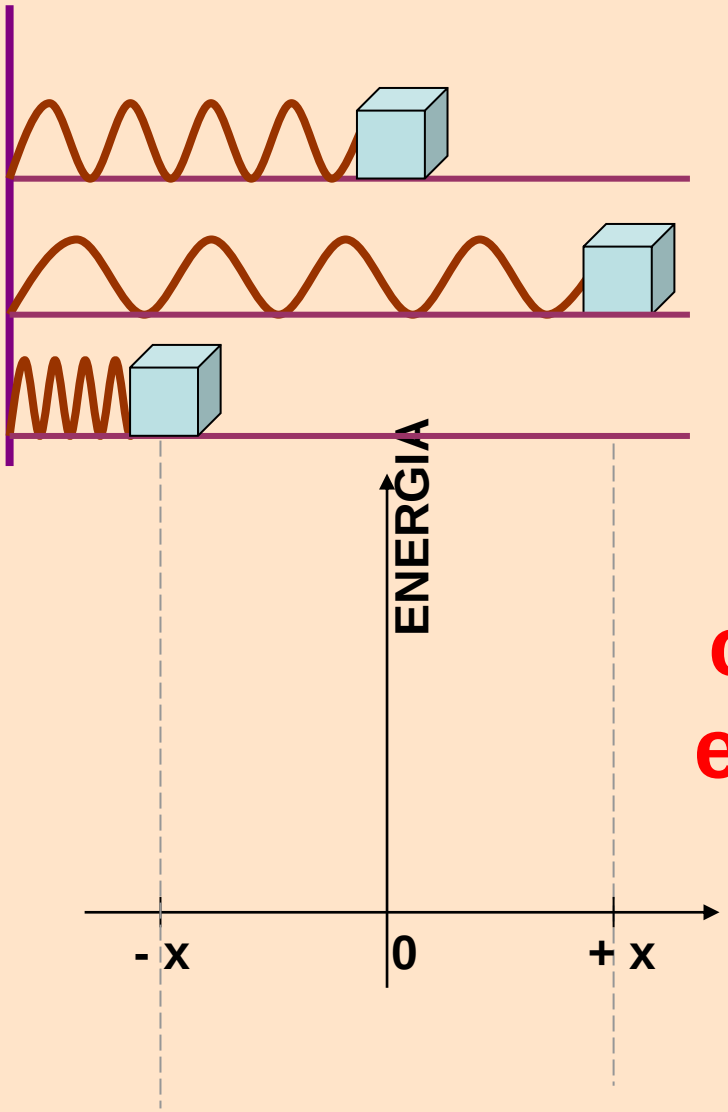
$x = A \text{ sen } \omega t$ $a = - \omega^2 x$ $\omega^2 = - a/x = kx/xm = k/m$

ovvero $\omega = \sqrt{k/m}$

moto oscillatorio o vibratorio con pulsazione

$x = A \text{ sen } \omega t$ $x = A \text{ sen } \sqrt{k/m}\ t$

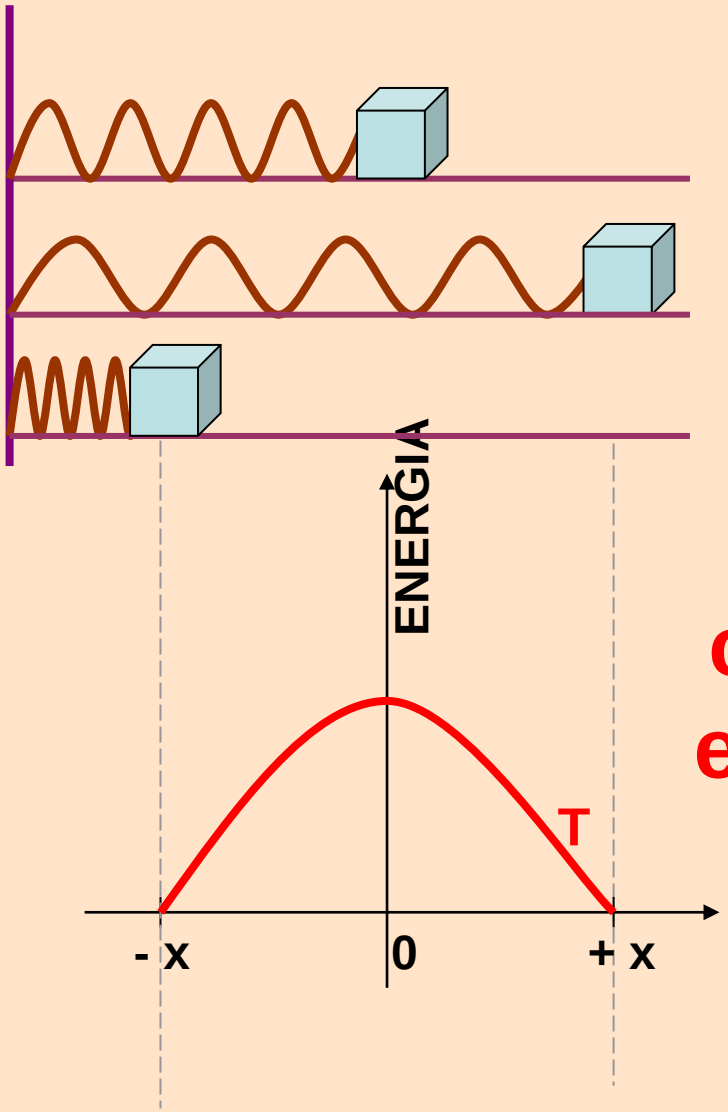
La forza elastica è una forza conservativa



Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da ??????

come varia T, energia cinetica ?

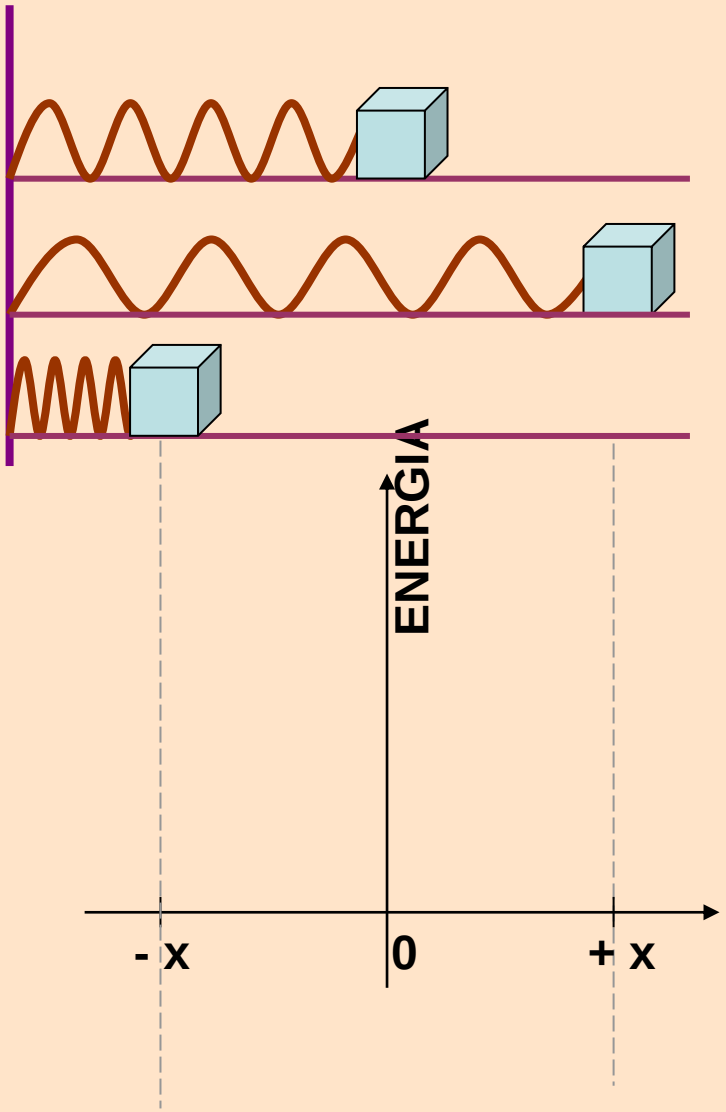
La forza elastica è una forza conservativa



Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da ??????

come varia T, energia cinetica ?

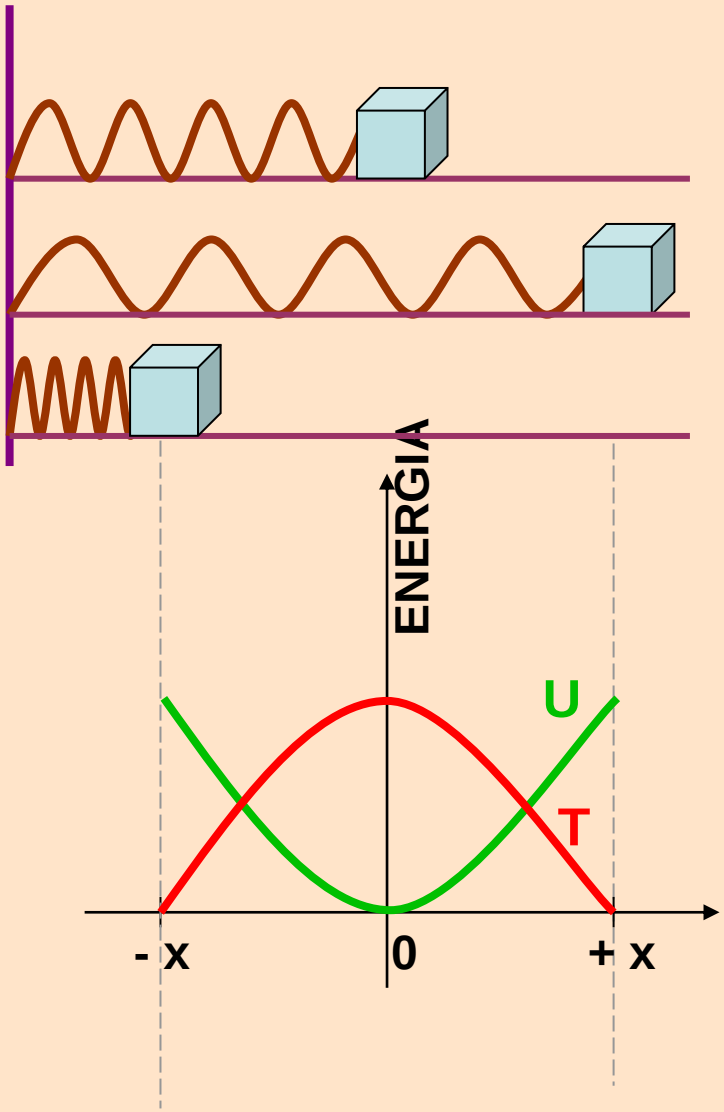
La forza elastica è una forza conservativa



Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da ??????

come varia U, energia potenziale ?

La forza elastica è una forza conservativa



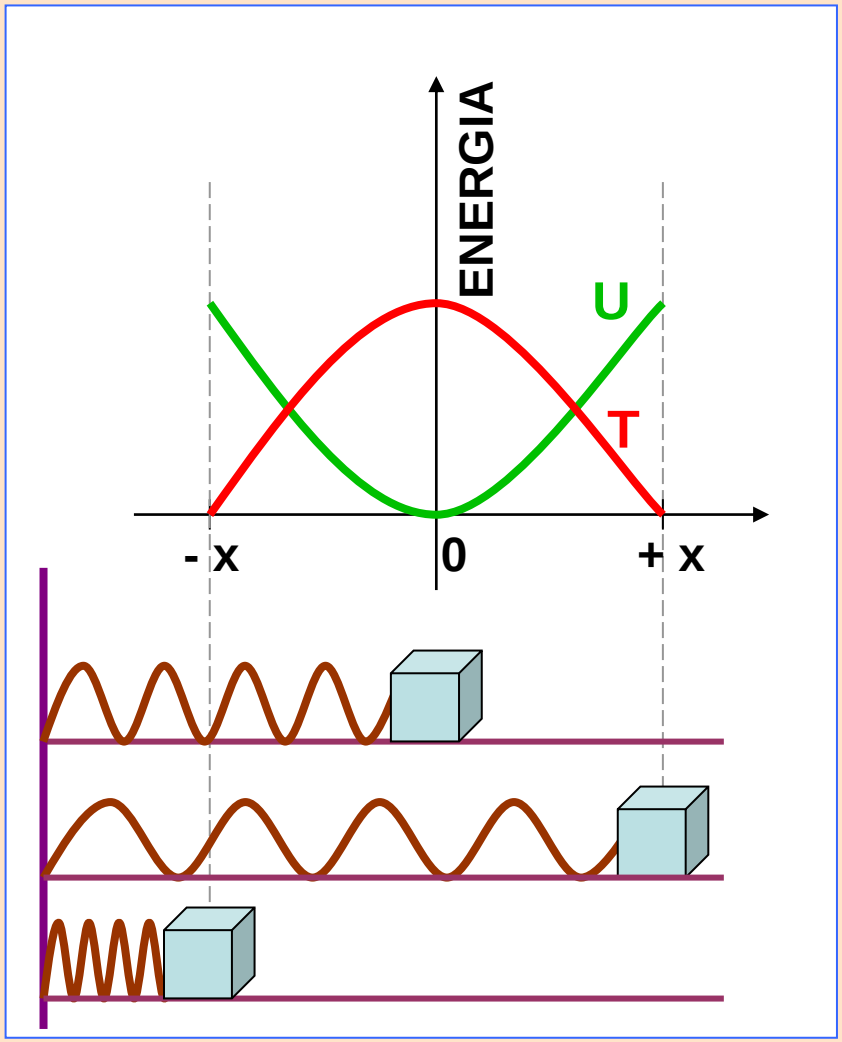
Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da ??????

La forza elastica è una forza conservativa

Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da:

$L = - \Delta U$ $\qquad$ $L = \Delta T$

$T = \frac{1}{2} m v^2$



La forza elastica è una forza conservativa

Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da:

$L = -\Delta U$ $\qquad$ $L = \Delta T$

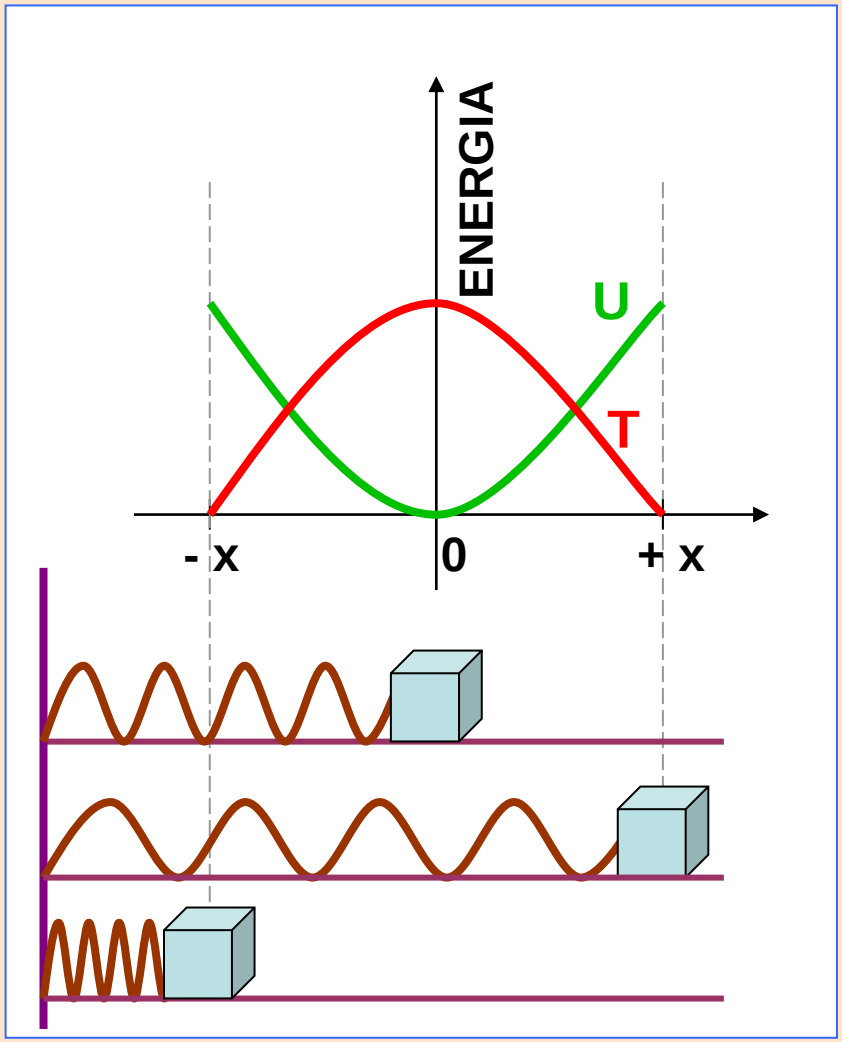
$T = \frac{1}{2} m v^2$

$T = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2 = \frac{1}{2} k x^2$

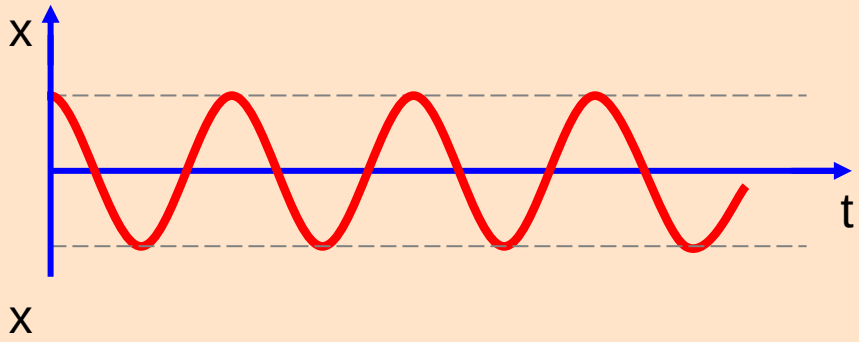
$\omega = \sqrt{k/m}$

$E_{TOT} = \frac{1}{2} k A^2$

La forza elastica è una forza conservativa

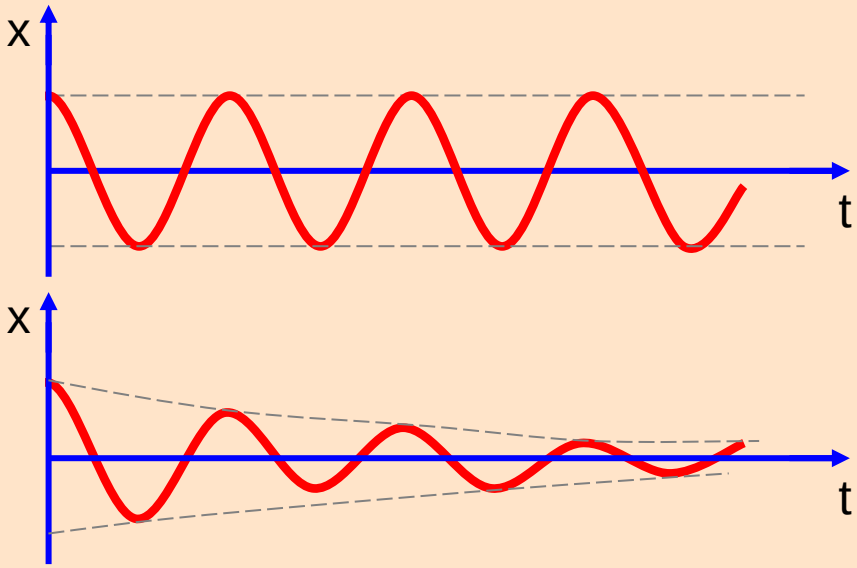


OSCILLAZIONI SMORZATE



moto armonico

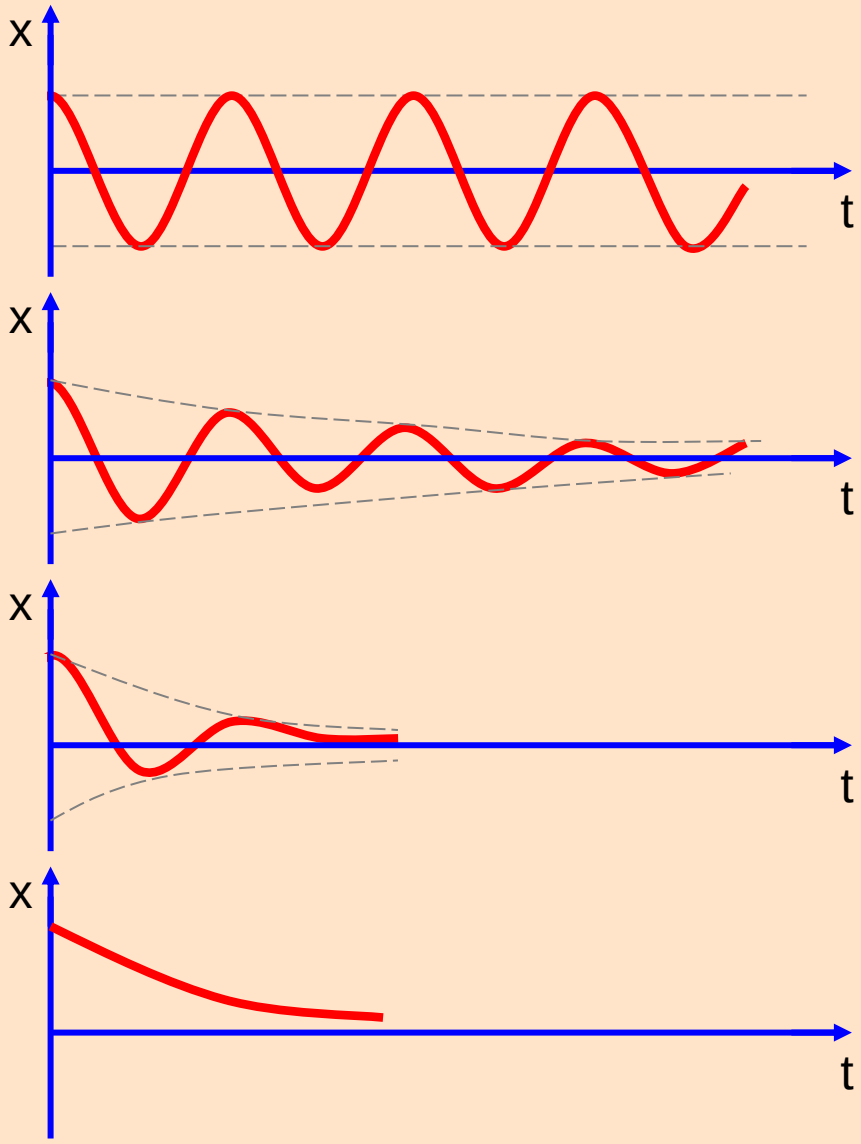
OSCILLAZIONI SMORZATE



moto armonico

presenza di forze dissipative

OSCILLAZIONI SMORZATE

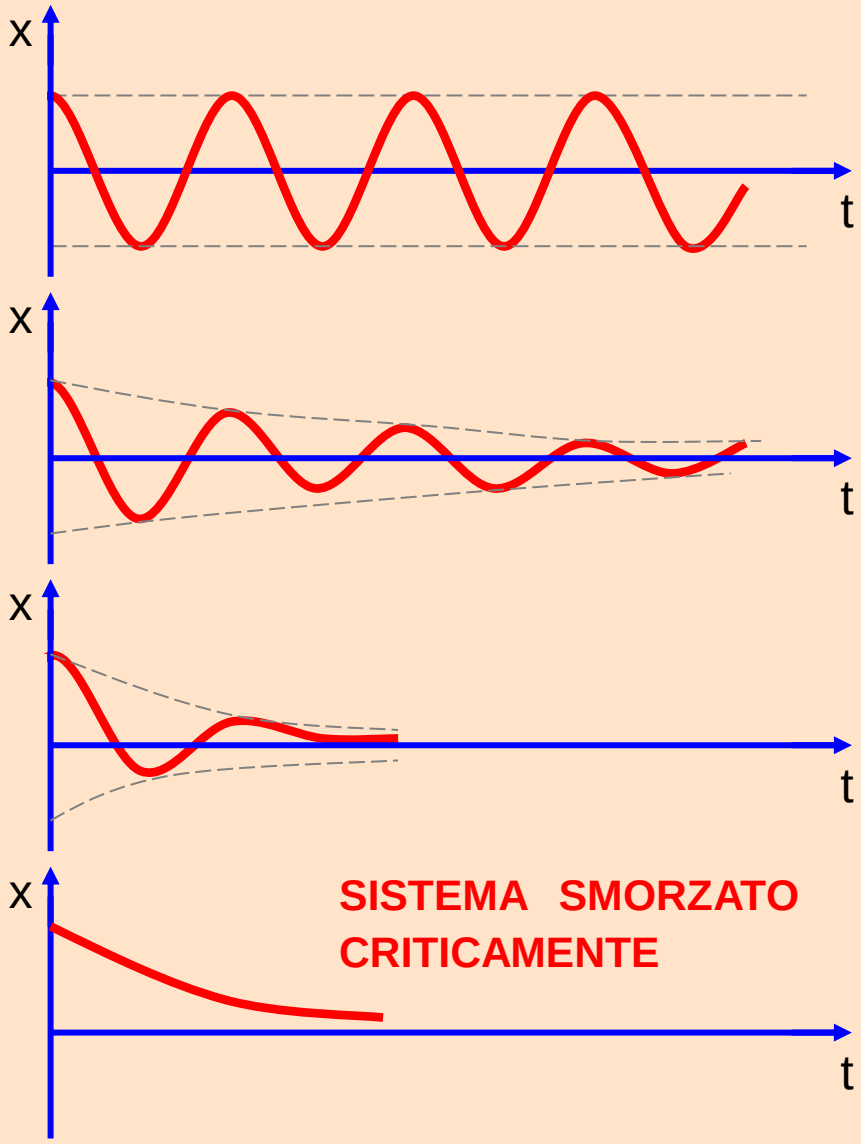


moto armonico

presenza di forze dissipative

SISTEMA SMORZATO CRITICAMENTE

OSCILLAZIONI SMORZATE



La maggior parte dei moti oscillatori presenti in natura non soddisfano perfettamente le equazioni del moto armonico a causa delle forze dissipative che provocano una diminuzione dell'energia meccanica totale e quindi dell'ampiezza.

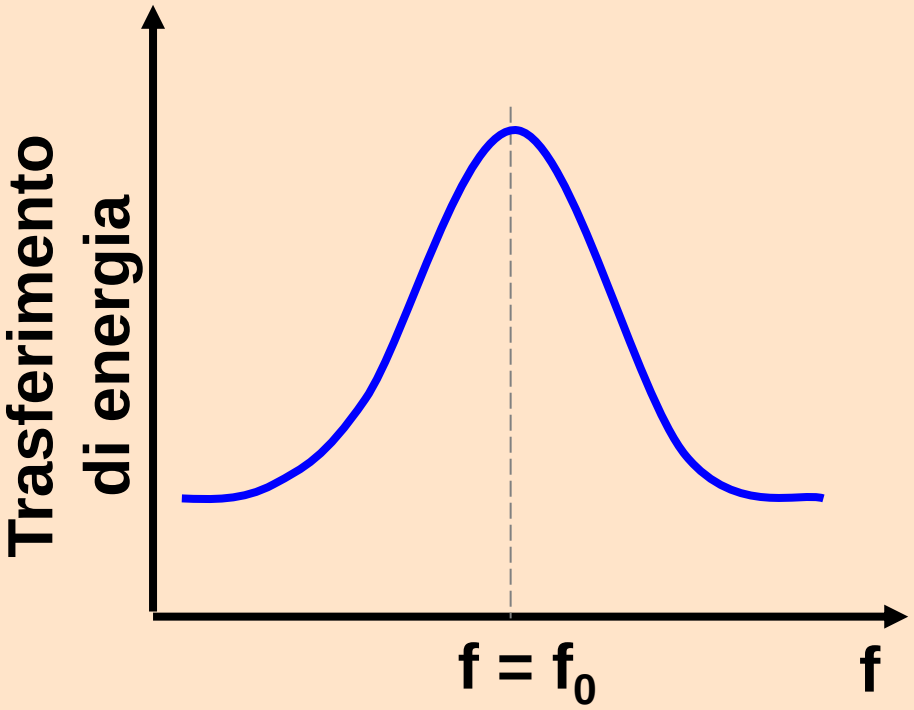
(SMORZAMENTO).

Effetto delle forze dissipative sull'ampiezza.

All'aumentare dell'attrito si può produrre uno smorzamento tanto grande da arrestare il sistema prima che si verifiche l'oscillazione.

OSCILLAZIONI FORZATE E RISONANZA

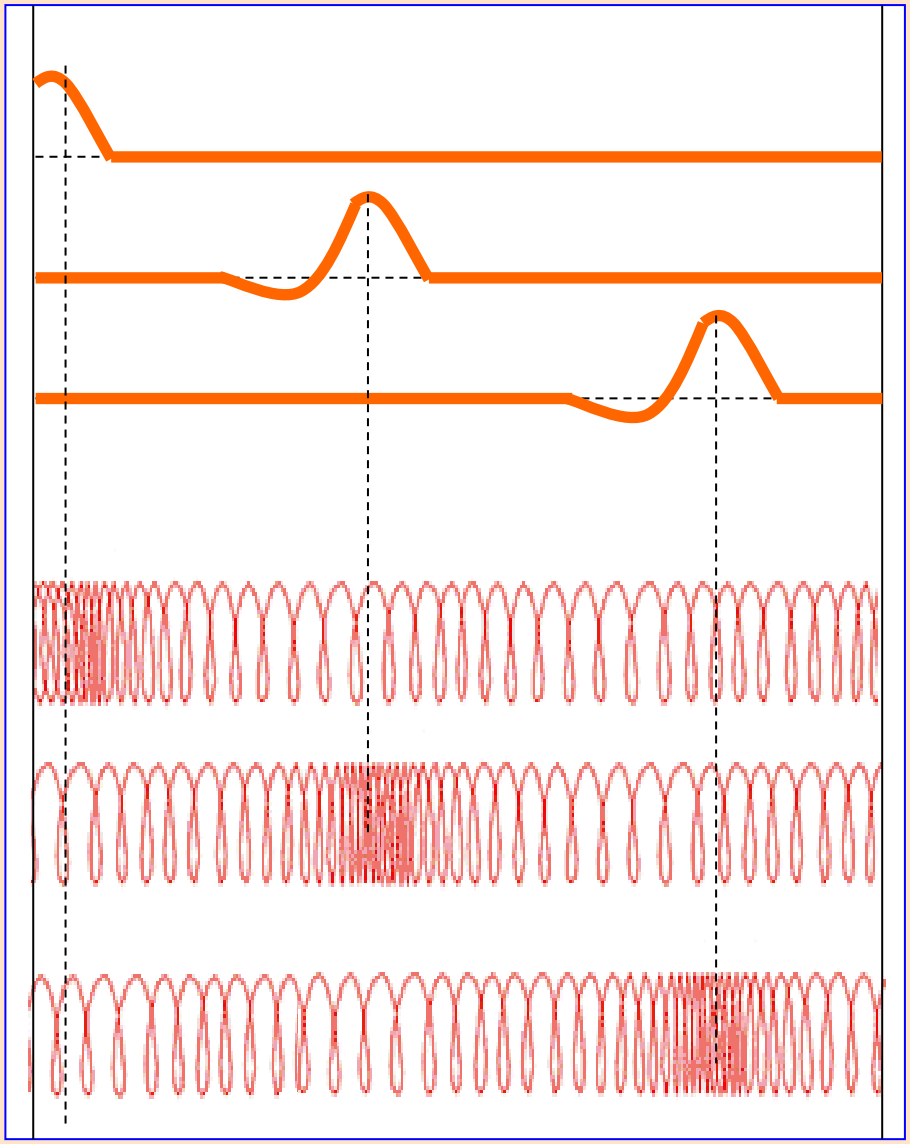
Per supplire alla diminuzione in ampiezza *dovuta allo smorzamento,* può essere fornita energia al sistema vibrante (OSCILLAZIONI FORZATE).



Il trasferimento di energia dalla sorgente al sistema vibrante è tanto maggiore quanto più la frequenza della sorgente f è vicina a quella dell' oscillatore stesso f_0 (RISONANZA).

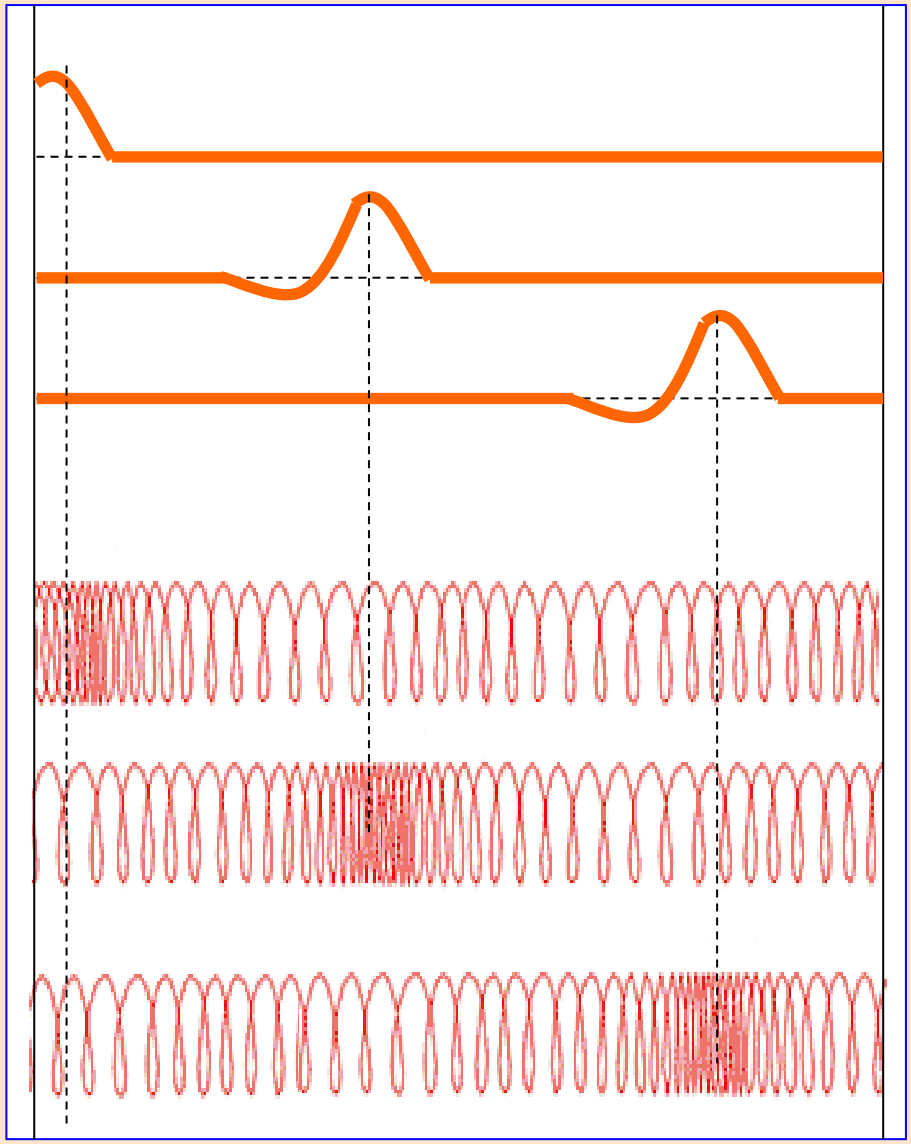
EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

ONDE PERIODICHE



ONDE PERIODICHE

Sono prodotte da particelle o campi che vibrano in modo periodico, ovvero assumono gli stessi valori al tempo t, al tempo t + T, al tempo t + 2T, . . (T è il periodo).

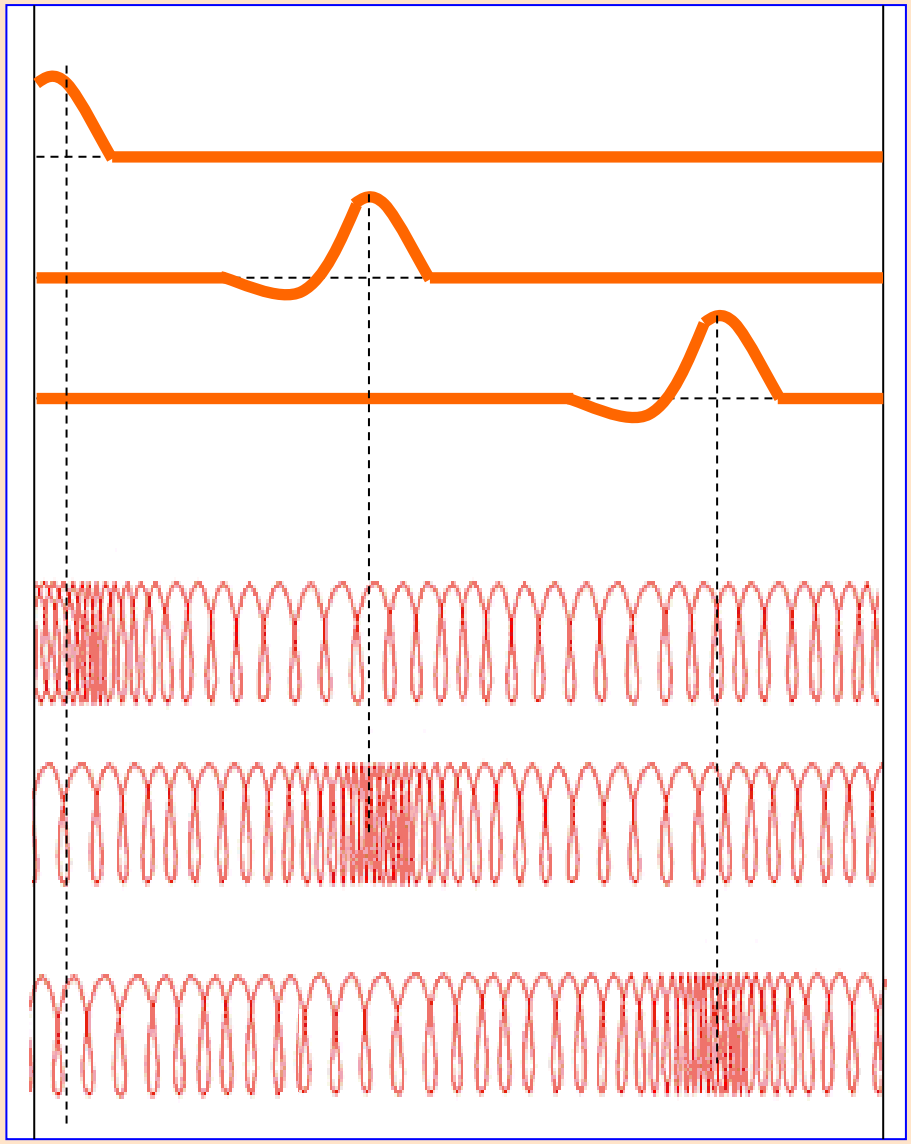


ONDE PERIODICHE

Sono prodotte da particelle o campi che vibrano in modo periodico, ovvero assumono gli stessi valori al tempo t, al tempo t + T, al tempo t + 2T, . . (T è il periodo).

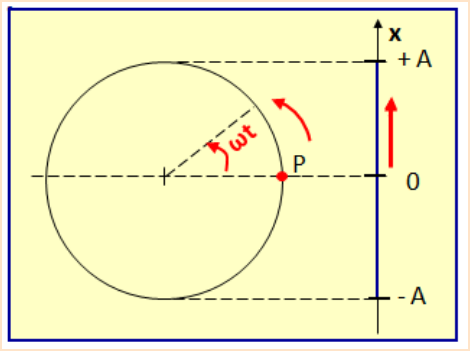
Tutte le onde periodiche sono rappresentate dallo stesso formalismo matematico e caratterizzate da:

- **periodo (T)**
- **frequenza (f)**
- **lunghezza d'onda (λ)**
- **ampiezza (A)**



EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

Perturbazione periodica prodotta facendo oscillare un estremo fra + A e – A di moto armonico semplice :



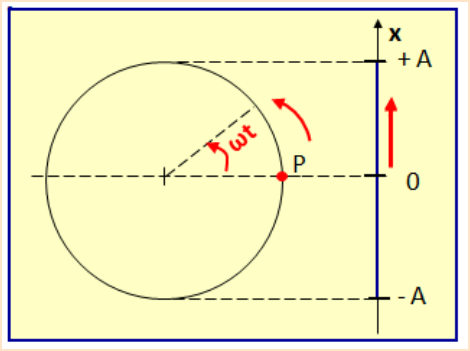
$$y = A \operatorname{sen} \omega t$$

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

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

EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

Perturbazione periodica prodotta facendo oscillare un estremo fra + A e – A di moto armonico semplice :



$$y = A \sin \omega t$$

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

$$y = A \sin 2\pi\, t / T$$

In una onda, tutti i punti oscilleranno con la stessa legge ma ognuno con un ritardo rispetto al punto precedente ($v = x/\Delta t$, da cui **$\Delta t = x / v$,** e inoltre **$x = v\,\Delta t$).**

Segue che lo stato di vibrazione è funzione del tempo t e della distanza x dalla sorgente, $y = y(x,t)$.

EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

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

$v = x/\Delta t$

$\Delta t = x/v$

$x = v \, \Delta t$

Equazione di propagazione dell'onda

ritardo

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

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

EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

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

Equazione di propagazione dell'onda

ritardo

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

lunghezza d'onda

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

EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

$y = A \text{ sen } 2\pi\, t/T$ **Equazione moto armonico**

$v = x/\Delta t$

$\Delta t = x/v$

$x = v\,\Delta t$

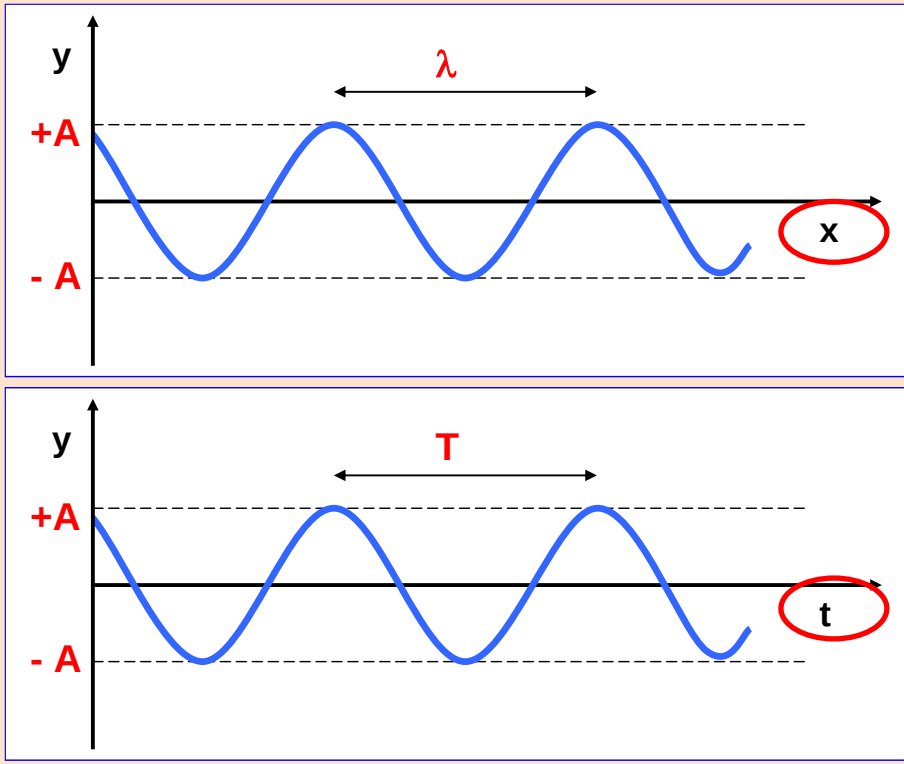
Equazione di propagazione dell'onda

ritardo

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

lunghezza d'onda

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



EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

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

$v = x/\Delta t$

$\Delta t = x/v$

$x = v \, \Delta t$

Equazione di propagazione dell'onda

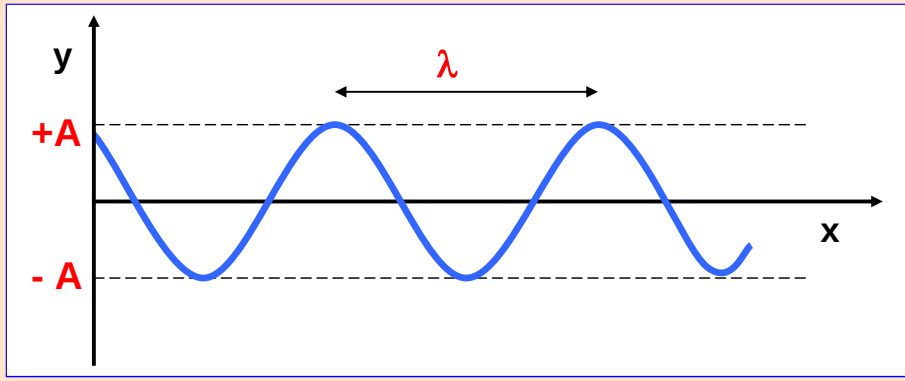
ritardo

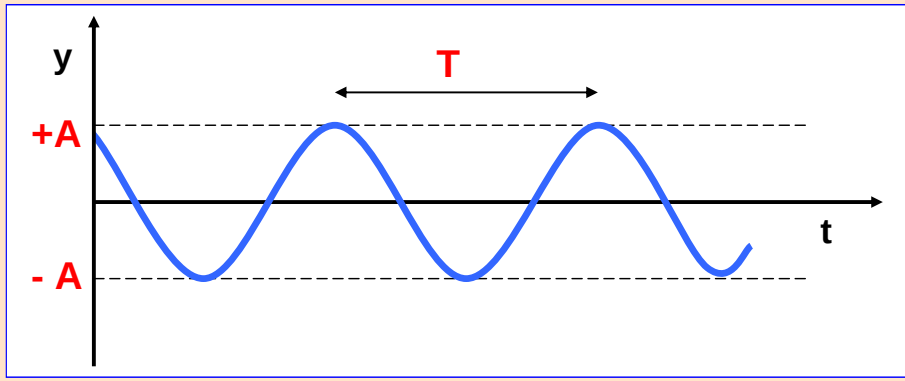
$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t - x/v) / T$$

lunghezza d'onda

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

grandezza	dimensioni fisiche	unità di misura	
$\lambda = v\,T$	$[\lambda] = [L]$	m	
$f = 1/T$	$[f] = [T^{-1}]$	s^{-1}	Hz
$v = \lambda\, f$	$[v] = [L\,T^{-1}]$	m/s	





$$\lambda = v\,T$$

$$f = 1/T$$

$$v = \lambda\, f$$

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

La lancetta dei minuti di un orologio che si trova su un campanile è lunga 1 m.

Calcolare la velocità angolare e la velocità lineare della sua punta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

La lancetta dei minuti di un orologio che si trova su un campanile è lunga 1 m.

Calcolare la velocità angolare e la velocità lineare della sua punta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

La lancetta dei minuti fa un giro ogni ora, ovvero ogni 3600 secondi.

$$f = \frac{1 \text{ giro}}{3600 \text{ secondi}} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ s^{-1} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ Hz$$

La lancetta dei minuti di un orologio che si trova su un campanile è lunga 1 m.

Calcolare la velocità angolare e la velocità lineare della sua punta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

La lancetta dei minuti fa un giro ogni ora, ovvero ogni 3600 secondi.

$$f = \frac{1 \text{ giro}}{3600 \text{ secondi}} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ s^{-1} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ Hz$$

$$\omega = 2\,\pi\, f = 1.74 \cdot 10^{-3} \text{ radianti } s^{-1}$$

La lancetta dei minuti di un orologio che si trova su un campanile è lunga 1 m.

Calcolare la velocità angolare e la velocità lineare della sua punta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

La lancetta dei minuti fa un giro ogni ora, ovvero ogni 3600 secondi.

$$f = \frac{1 \text{ giro}}{3600 \text{ secondi}} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ s^{-1} = 0.277 \cdot 10^{-3}\ Hz$$

$$\omega = 2\,\pi\, f = 1.74 \cdot 10^{-3} \text{ radianti } s^{-1}$$

$$v = \omega R = (1.74 \cdot 10^{-3} \text{ radianti } s^{-1}) \cdot (1\ m) = 1.74 \cdot 10^{-3}\ ms^{-1}$$

Una centrifuga con diametro 20 cm ruota a 6000 giri al minuto.

Calcolare la velocità periferica, il periodo, la velocità angolare, la frequenza e l'accelerazione centripeta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

Una centrifuga con diametro 20 cm ruota a 6000 giri al minuto.

Calcolare la velocità periferica, il periodo, la velocità angolare, la frequenza e l'accelerazione centripeta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

f = (6000 giri al minuto) / (60 secondi al minuto) = 100 s^{-1} = 100 Hz

$T = 1 / 100\ s^{-1}$ = 0.01 s

Una centrifuga con diametro 20 cm ruota a 6000 giri al minuto.

Calcolare la velocità periferica, il periodo, la velocità angolare, la frequenza e l'accelerazione centripeta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

f = (6000 giri al minuto) / (60 secondi al minuto) = 100 s^{-1} = 100 Hz

$T = 1 / 100\ s^{-1}$ = 0.01 s

$\omega = 2\pi / T = 2\ \pi$ / (0.01 s) = 628 s^{-1}

Una centrifuga con diametro 20 cm ruota a 6000 giri al minuto.

Calcolare la velocità periferica, il periodo, la velocità angolare, la frequenza e l'accelerazione centripeta.

$f = 1 / T$	$v = 2\pi R / T$
$\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$	$v = \omega R$
$a = v^2 / R = \omega^2 R$	

f = (6000 giri al minuto) / (60 secondi al minuto) = 100 s^{-1} = 100 Hz

$T = 1 / 100\ s^{-1}$ = 0.01 s

$\omega = 2\pi / T = 2\ \pi / (0.01\ s) = 628\ s^{-1}$

$v = \omega R = (628\ s^{-1}) \cdot (10 \cdot 10^{-2}\ m) = 62.8\ ms^{-1}$

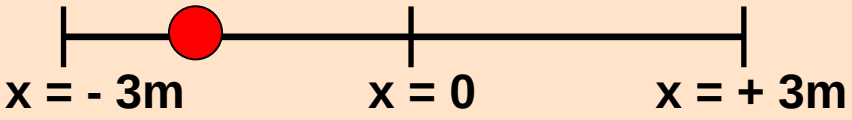
$a = \omega^2 R = (628\ s^{-1})^2 \cdot (10 \cdot 10^{-2}\ m) = 3.9 \cdot 10^4\ ms^{-2}$

Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:

$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

dove x è in metri e t in secondi. Si determini l'ampiezza, il periodo e la frequenza del moto.

$x = A \text{ sen } (\omega t + \varphi)$



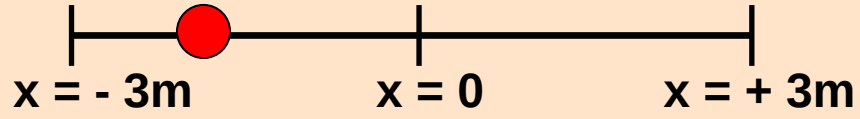
Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:

$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

dove x è in metri e t in secondi. Si determini l'ampiezza, il periodo e la frequenza del moto.

$x = A \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$



$A = 3 \text{ m} \quad \omega = \pi \text{ rad / s}$

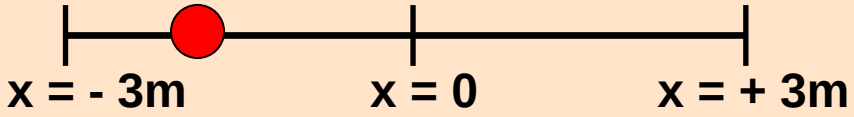
Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:

$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

dove x è in metri e t in secondi. Si determini l'ampiezza, il periodo e la frequenza del moto.

$x = A \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$



$A = 3 \text{ m}$ $\omega = \pi \text{ rad / s}$

$\omega = 2\pi / T \Rightarrow T = 2\pi / \omega$

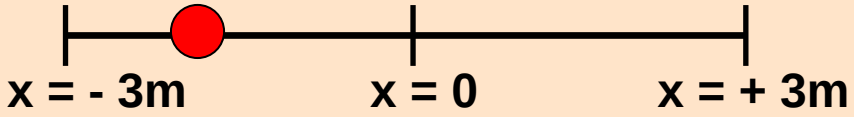
Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:

$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

dove x è in metri e t in secondi. Si determini l'ampiezza, il periodo e la frequenza del moto.

$x = A \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$



$A = 3 \text{ m}$ $\omega = \pi \text{ rad / s}$

$\omega = 2\pi / T$ $\Rightarrow$ $T = 2\pi / \omega$ $T = 2\pi / \pi = 2 \text{ s}$

$f = 1 / T$ $f = 1 / 2 \text{ s}^{-1} = 0.5 \text{ Hz}$

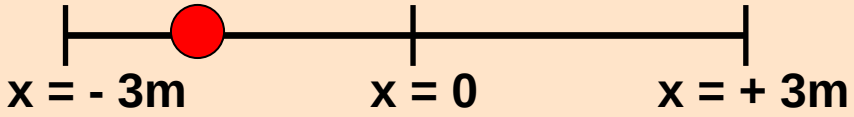
Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:

$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

dove x è in metri e t in secondi. Si determini l'ampiezza, il periodo e la frequenza del moto.

$x = A \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$



$A = 3$ m $\quad \omega = \pi$ rad / s

$\omega = 2\pi / T \Rightarrow T = 2\pi / \omega$

$T = 2\pi / \pi = 2$ s

$f = 1 / T$ $\quad f = 1 / 2 \text{ s}^{-1} = 0.5$ Hz

---

ampiezza $A = 3$ m

periodo $T = 2$ s

frequenza $f = 0.5$ Hz

Un’onda sonora ha una lunghezza d’onda di 6.6 μm. Determinare il periodo di oscillazione, sapendo che la velocità di propagazione dell’onda nell’aria è 330 m/s.

$T = 1/f$

Un’onda sonora ha una lunghezza d’onda di 6.6 μm. Determinare il periodo di oscillazione, sapendo che la velocità di propagazione dell’onda nell’aria è 330 m/s.

$\lambda = v/f$ $f = v/\lambda$

Un’onda sonora ha una lunghezza d’onda di 6.6 μm. Determinare il periodo di oscillazione, sapendo che la velocità di propagazione dell’onda nell’aria è 330 m/s.

$\lambda = v/f$ $\qquad$ $f = v/\lambda$

$f = (330\ m/s) / (6.6 \times 10^{-6}\ m) = 50 \times 10^{6}\ Hz$

Un’onda sonora ha una lunghezza d’onda di 6.6 μm. Determinare il periodo di oscillazione, sapendo che la velocità di propagazione dell’onda nell’aria è 330 m/s.

$\lambda = v/f \qquad f = v/\lambda$

$f = (330\ m/s) / (6.6 \times 10^{-6}\ m) = 50 \times 10^{6}\ Hz$

$T = 1/f = 1/50 \times 10^{-6}\ s = 0.02 \times 10^{-6}\ s$

$T = 20\ ns$

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

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

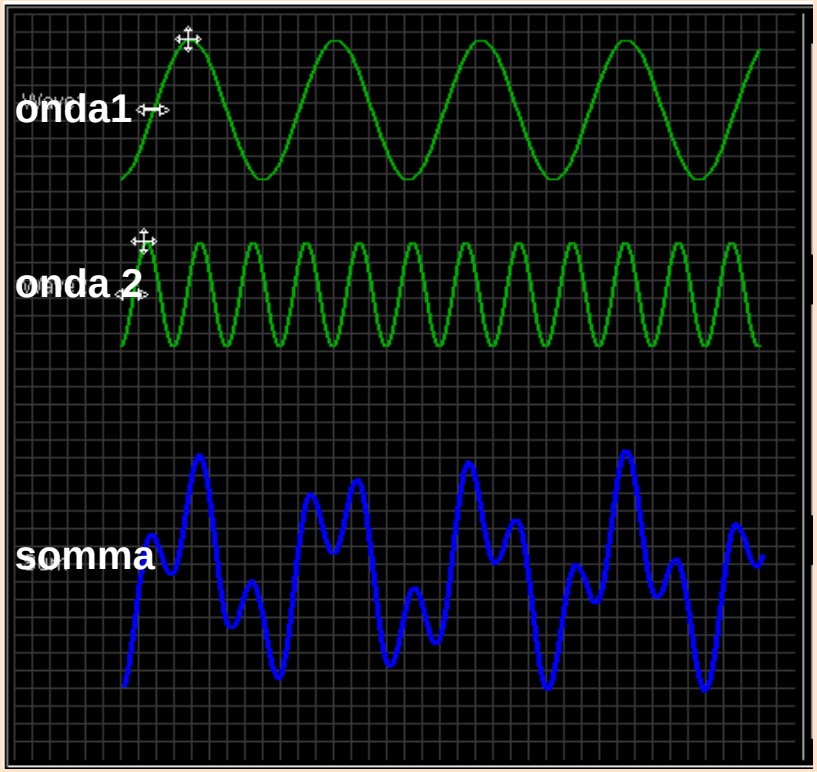
$$\omega = d\,\vartheta / dt = 2\pi / T = 2\,\pi\ f$$

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

TEOREMA DI FOURIER

Qualsiasi onda periodica può essere vista come somma di onde sinusoidali di lunghezza d'onda e ampiezza definite.

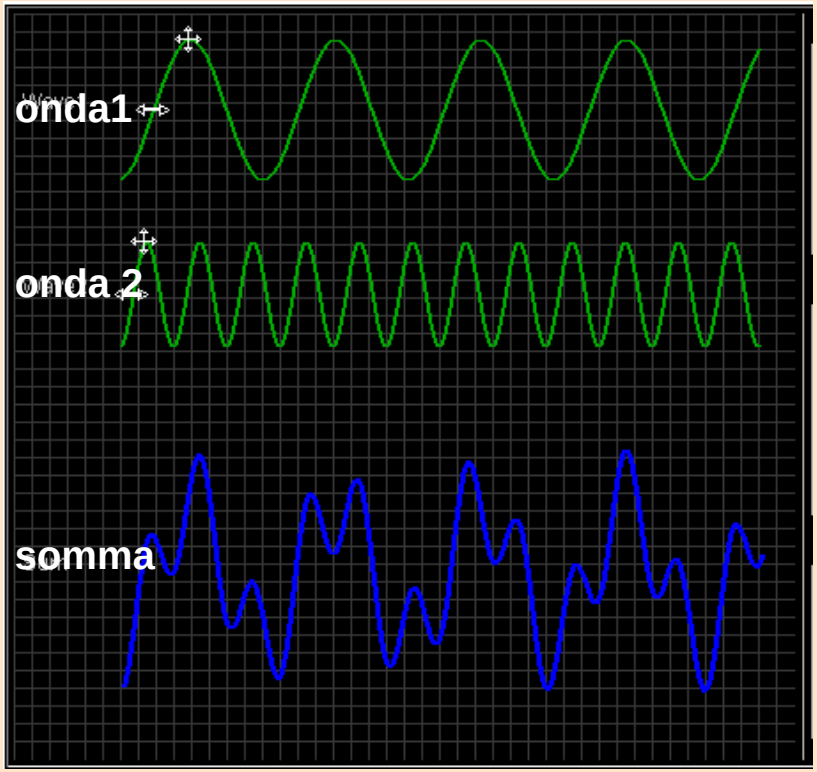
Le componenti di un'onda periodica complessa di lunghezza d'onda λ sono termini della serie λ, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{1}{3}\lambda$, …$\frac{1}{n}\lambda$, ovvero onde sinusoidali con frequenze che appartengono alla serie f, 2f, 3f…nf (con $f = v/\lambda$ frequenza dell'onda complessa). SERIE ARMONICA

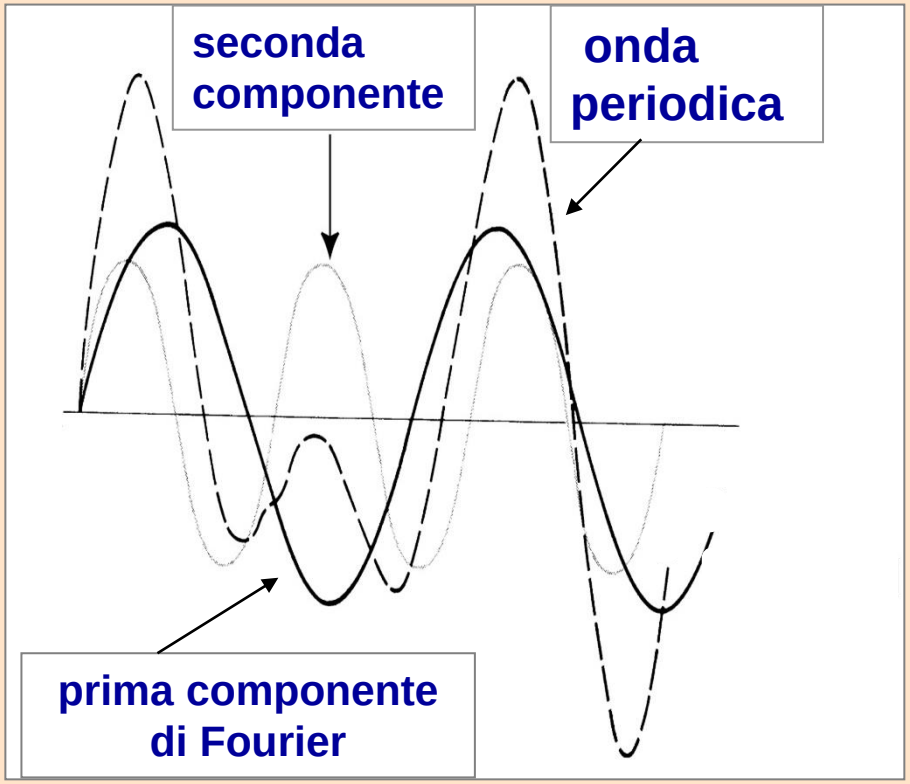


TEOREMA DI FOURIER

Qualsiasi onda periodica può essere vista come somma di onde sinusoidali di lunghezza d'onda e ampiezza definite.

Le componenti di un'onda periodica complessa di lunghezza d'onda λ sono termini della serie λ, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{1}{3}\lambda$, …$\frac{1}{n}\lambda$, ovvero onde sinusoidali con frequenze che appartengono alla serie f, 2f, 3f…nf (con $f = v/\lambda$ frequenza dell'onda complessa). SERIE ARMONICA





ENERGIA TRASPORTATA DA UN'ONDA

Onde di ogni tipo trasportano energia, basta pensare all' energia associata alla luce del sole, **alle** onde dell'oceano, alle onde sonore. **L'espressione dell'energia dipende dalla natura dell'onda.**

Tuttavia è sempre proporzionale al quadrato dell' ampiezza

ENERGIA TRASPORTATA DA UN'ONDA

Onde di ogni tipo trasportano energia, basta pensare all' energia associata alla luce del sole**, alle** onde dell'oceano, alle onde sonore**. L'espressione dell'energia dipende dalla natura dell'onda.**

Tuttavia è sempre proporzionale al quadrato dell' ampiezza

Ciascun punto in un onda sinusoidale si muove di moto armonico, energia cinetica ($^1/_2$ mv^2) ed energia potenziale ($^1/_2$ k x^2) sono proporzionali al quadrato dell' ampiezza

$$T = \tfrac{1}{2}\, m\, v^2 = \tfrac{1}{2}\, m\, \omega^2\, x^2 = \tfrac{1}{2}\, kx^2$$

$$E_{TOT} = \tfrac{1}{2}\, k\, A^2$$

ENERGIA TRASPORTATA DA UN'ONDA

Nelle onde sonore e luminose si considera la grandezza intensità I, potenza trasportata attraverso area unitaria, espressa in W/m^2 .

$$I \div A^2$$

$L = F\ s$ Lavoro si misura in J

Potenza $= L / \Delta t$ Potenza si misura in J/s 1 J/s = 1 W