Università degli Studi di Milano
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di laurea

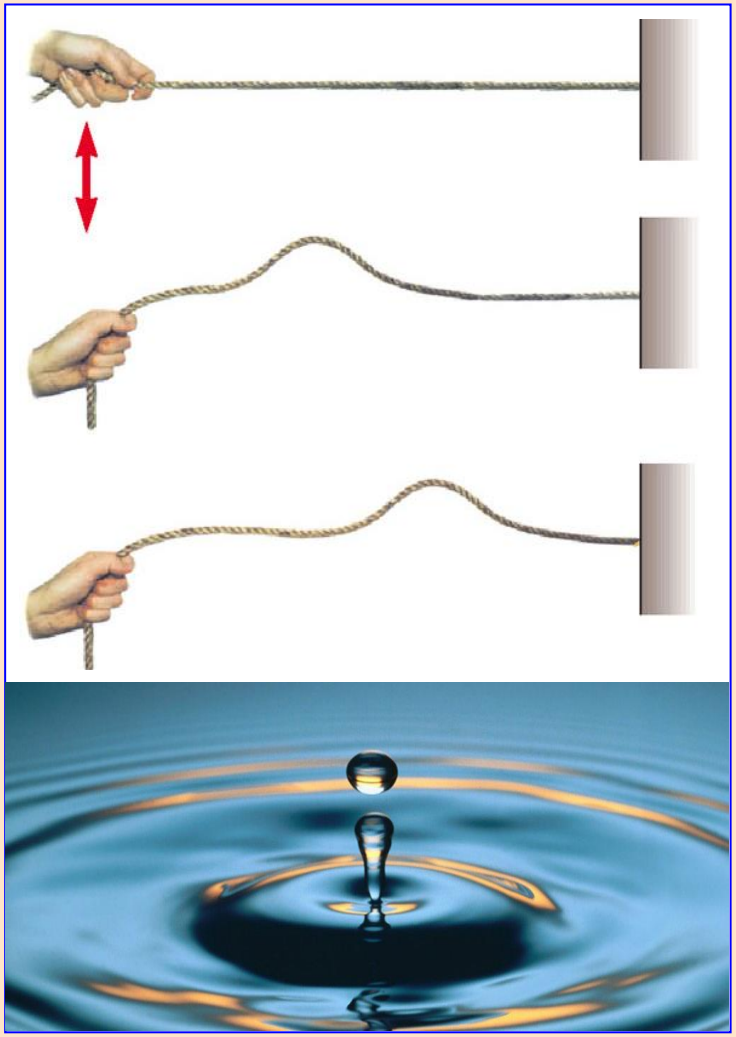
Tecniche Audiometriche – Tecniche Audioprotesiche

Corso di Fisica A.A. 2022-2023
Docente: Marie Claire Cantone

# 1. FENOMENI ONDULATORI

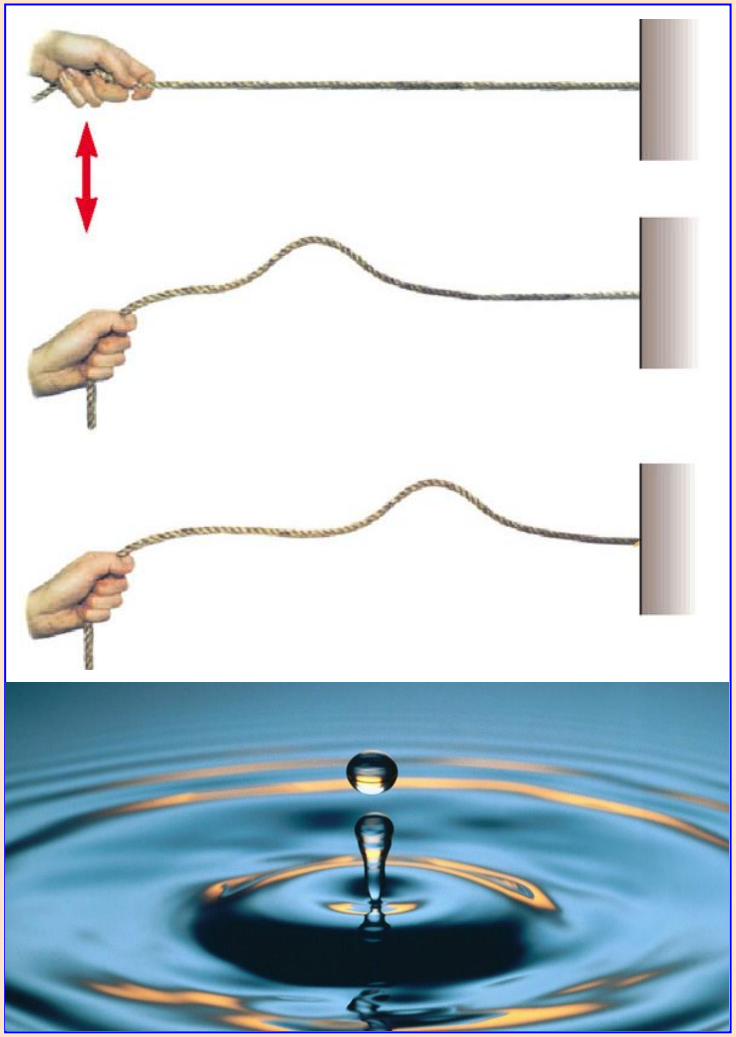
# ONDE

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

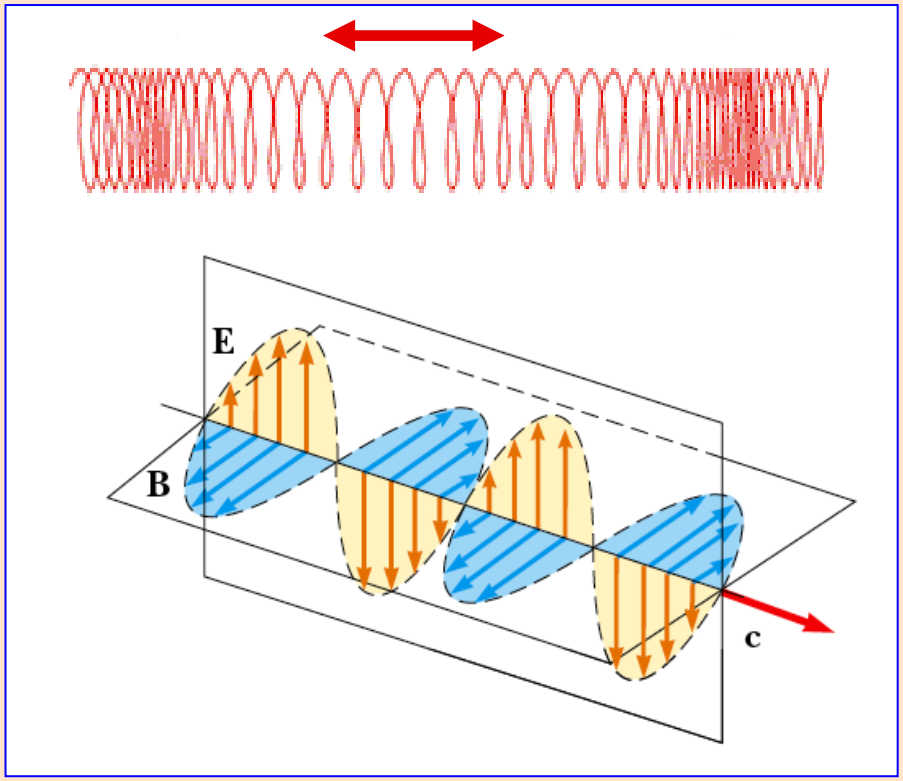


# ONDE

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

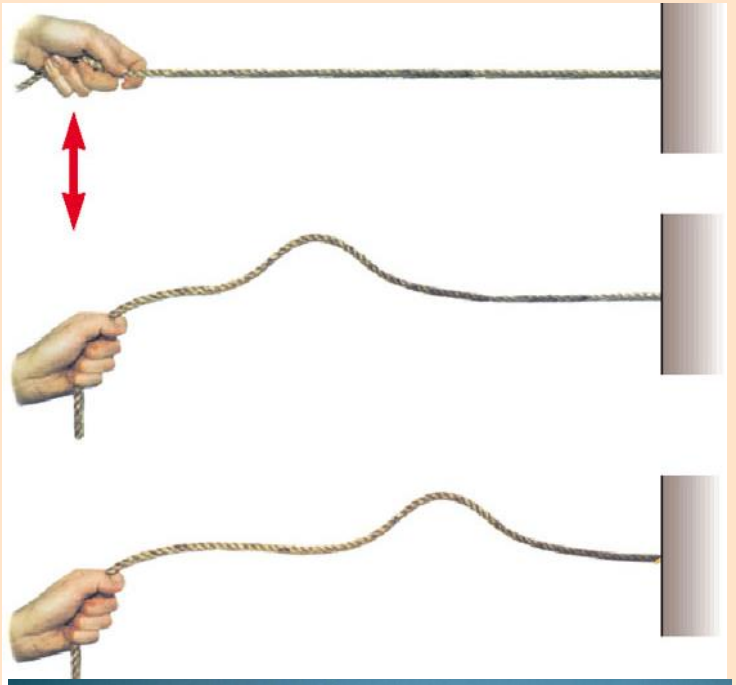


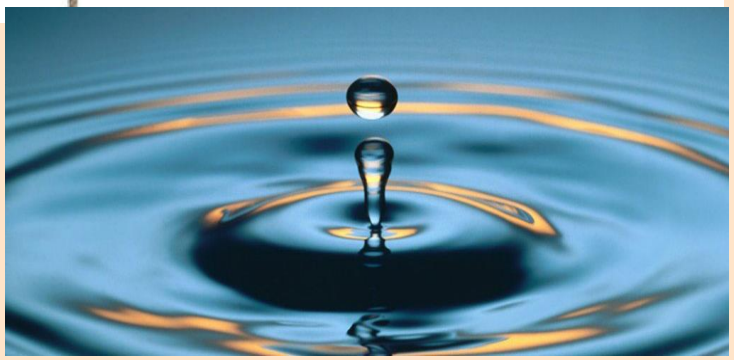
**Ad oscillare può essere una particella o un vettore campo.**



# ONDE

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

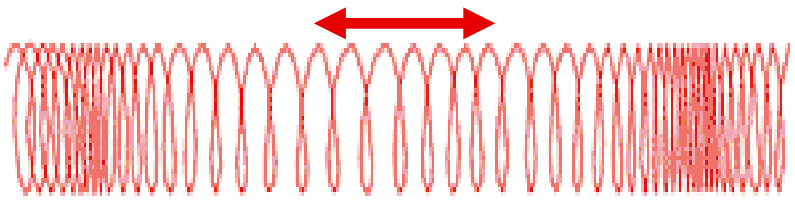




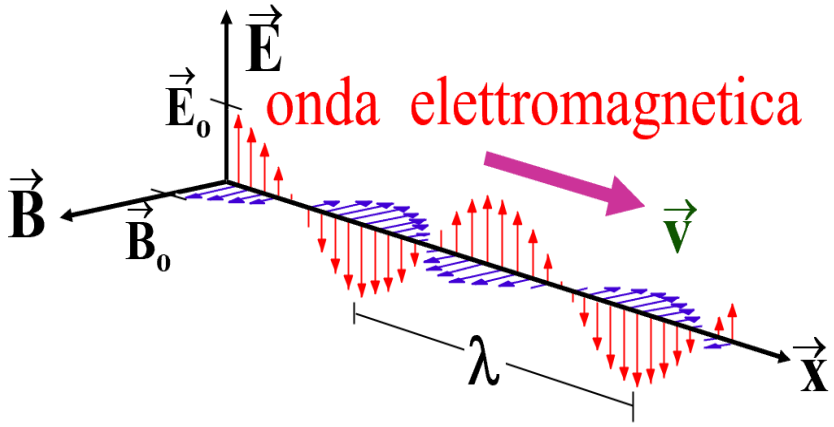
**La propagazione dell'onda avviene tramite un impulso che si propaga in un mezzo con una certa velocità.**

**In 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.**

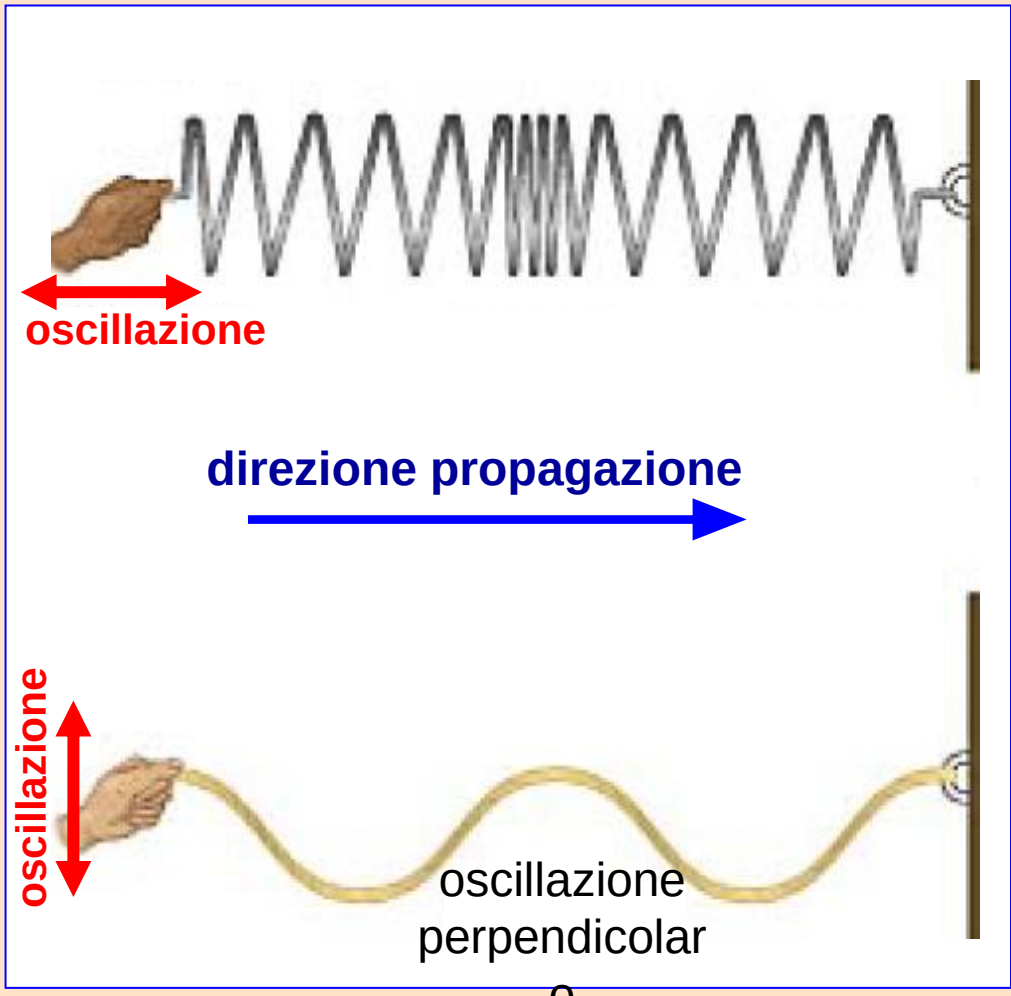
**Le onde meccaniche si propagano in mezzo, es. onde nei liquidi, onde sonore . .**

**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).**



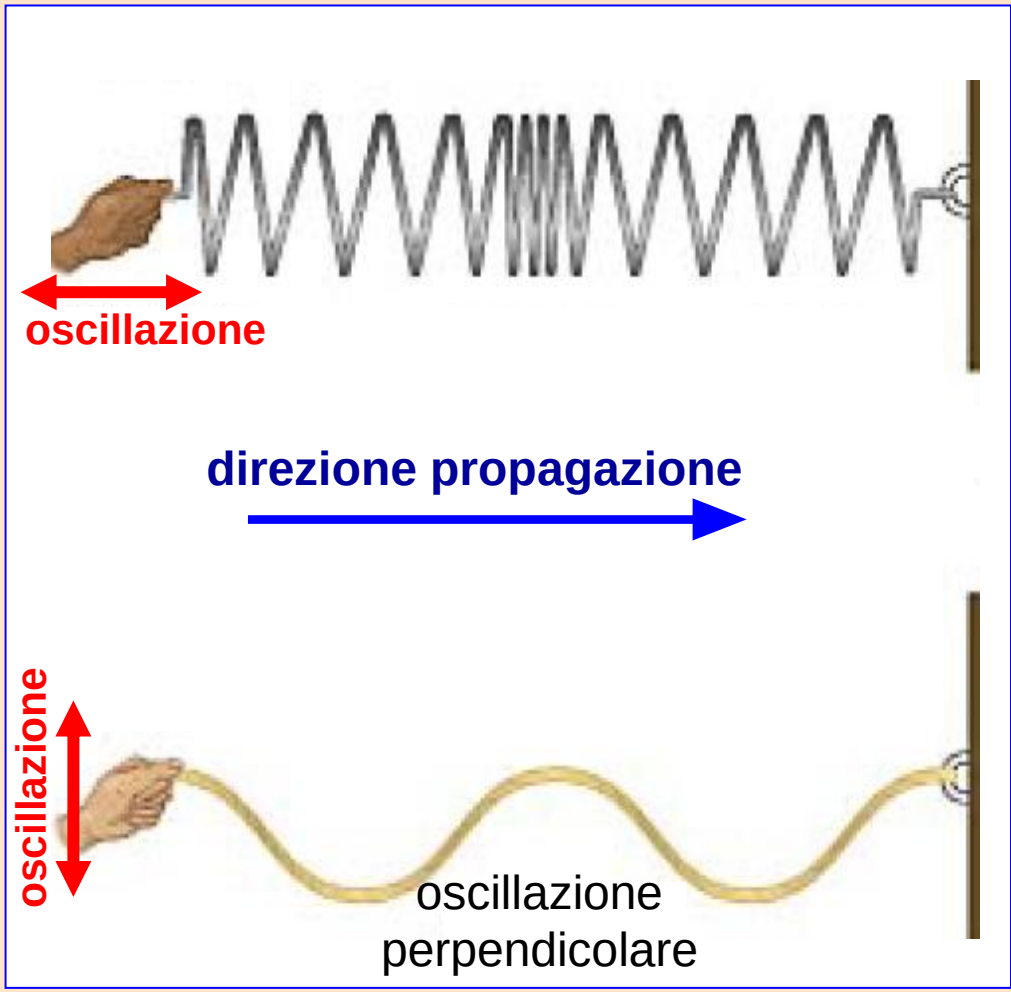
# TIPI DI ONDE

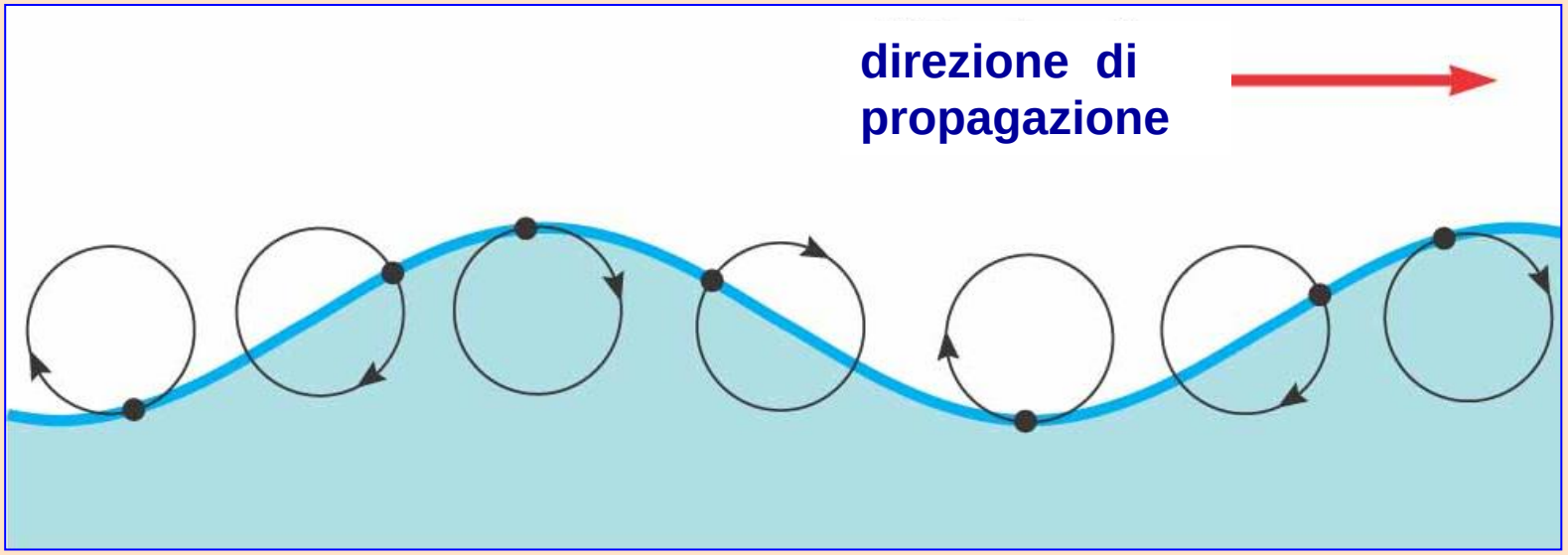
## Onde longitudinali

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

## Onde trasversali

**<u>la direzione di oscillazione è perpendicolare alla direzione di propagazione</u> (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

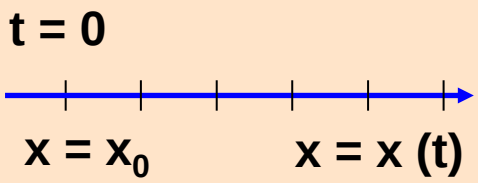
**In meccanica esempi classici sono** il pendolo e l'altalena**, ma fenomeni con caratteristiche oscillatorie si ritrovano in altri campi della fisica:**

- 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,**

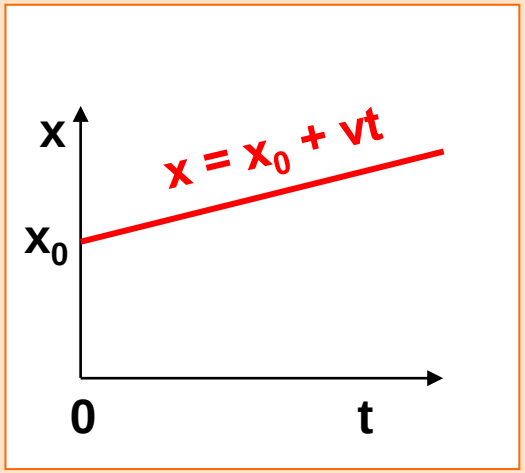
La natura dei sistemi vibranti può avere diversa origine ma le **stesse equazioni** descrivono il comportamento del sistema.

# MOTO ARMONICO IN CINEMATICA

# Moto rettilineo uniforme

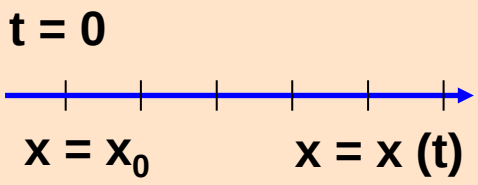



$x = x_0 + vt$

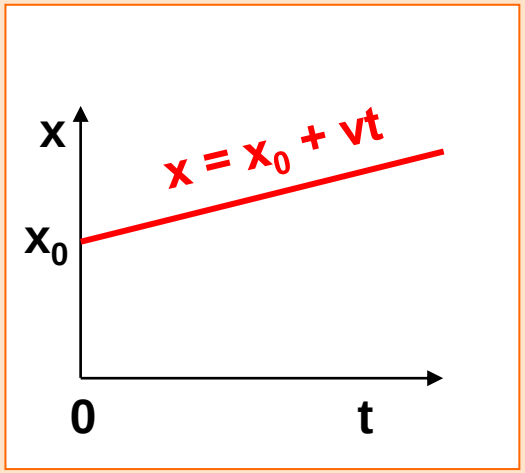



- $\vec{v}$ è cost in modulo, direzione e verso;
- la traiettoria è rettilinea;
- $\vec{a}$ è nulla;
- il grafico spazio-tempo è una retta;
- la legge oraria è una funzione lineare del tempo.

# Moto rettilineo uniforme

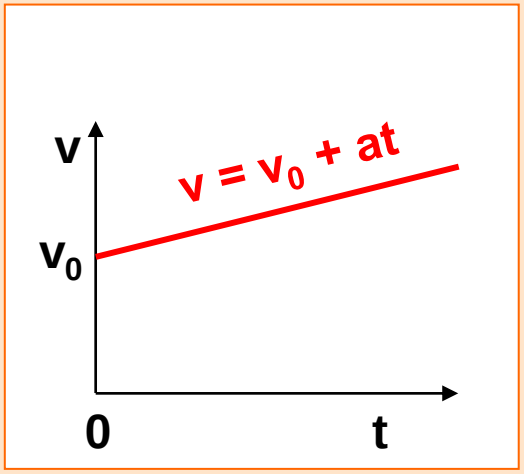



$x = x_0 + vt$

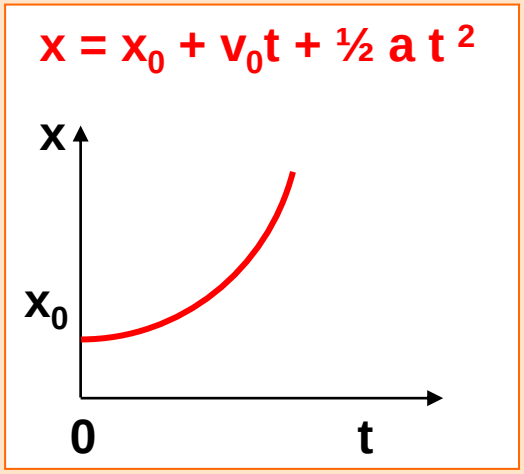



- $\vec{v}$ è cost in modulo, direzione e verso;
- la traiettoria è rettilinea;
- $\vec{a}$ è nulla;
- il grafico spazio-tempo è una retta;
- la legge oraria è una funzione lineare del tempo.

# Moto rettilineo uniformemente accelerato



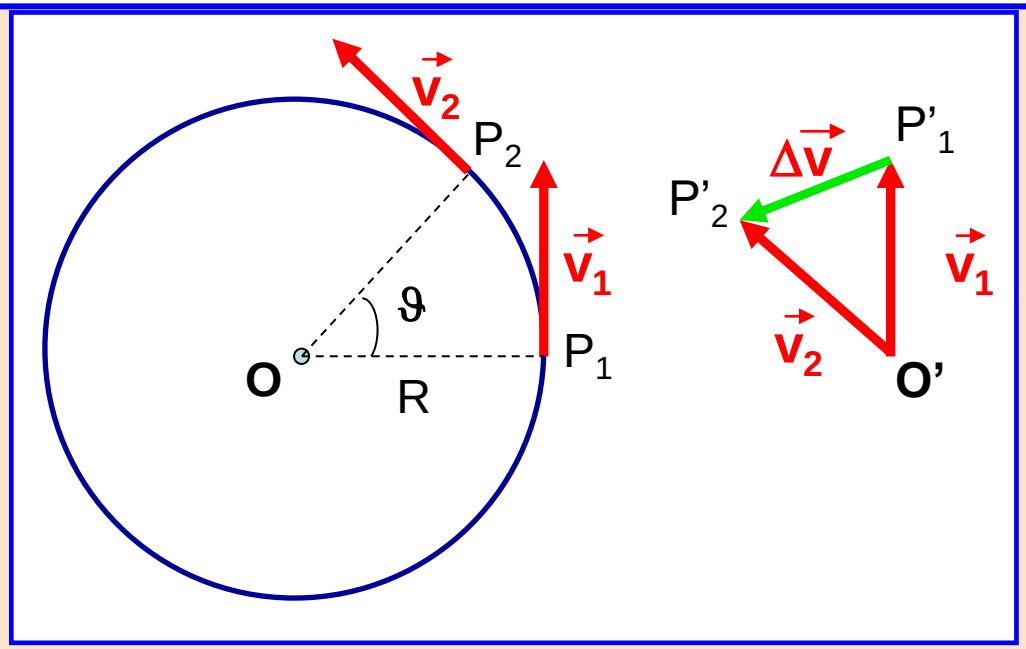

$x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2} a t^2$




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

- $\vec{a}$ 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 $\Delta t$ piccolo**

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

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

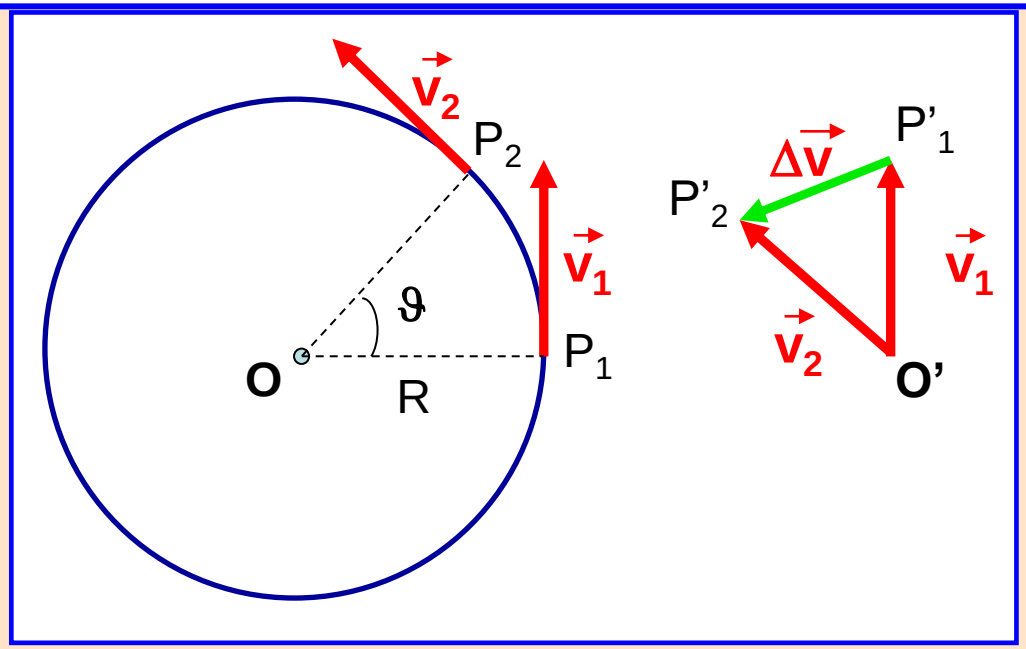
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

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

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

COME AVEVAMO GIA INTRODOTTO

# Moto circolare uniforme




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

**Per $\Delta t$ piccolo**

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

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

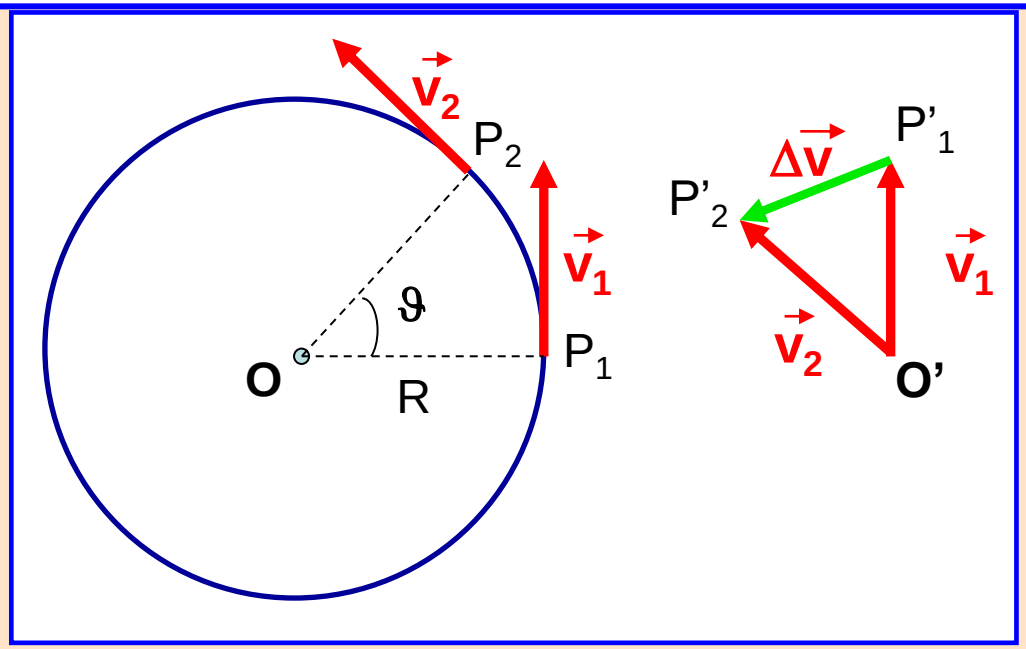
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

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

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

COME AVEVAMO GIA INTRODOTTO

# Moto circolare uniforme




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

**Per $\Delta t$ piccolo**

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

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

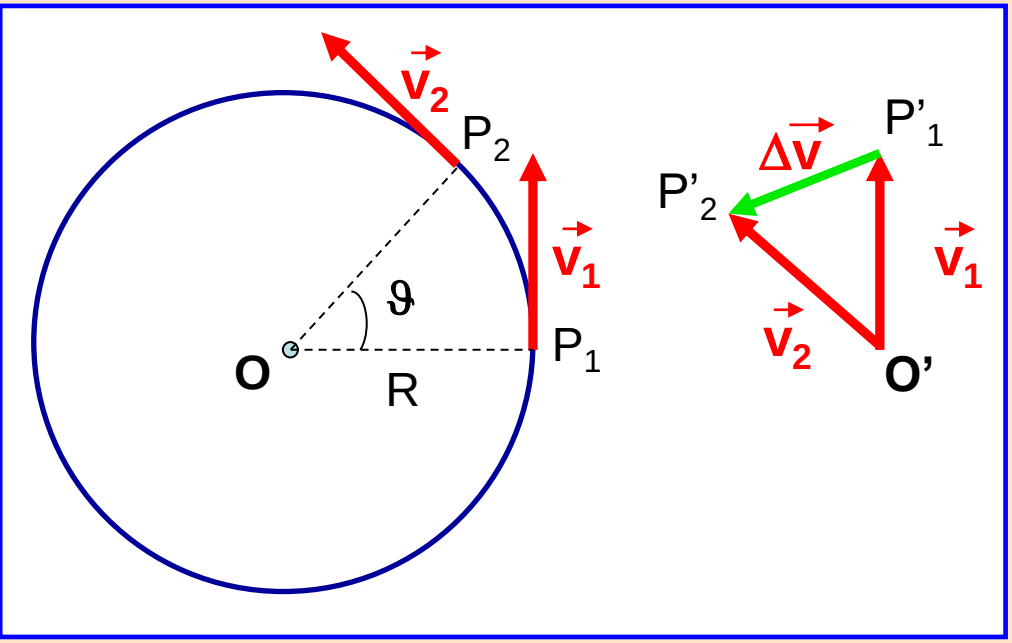
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \Delta x = v\,\Delta t \qquad v\,\Delta x = v^2\Delta t$$

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

COME AVEVAMO GIA INTRODOTTO

# 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.




**Per Δt piccolo**

$a = v^2 / R$

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

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

**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 :

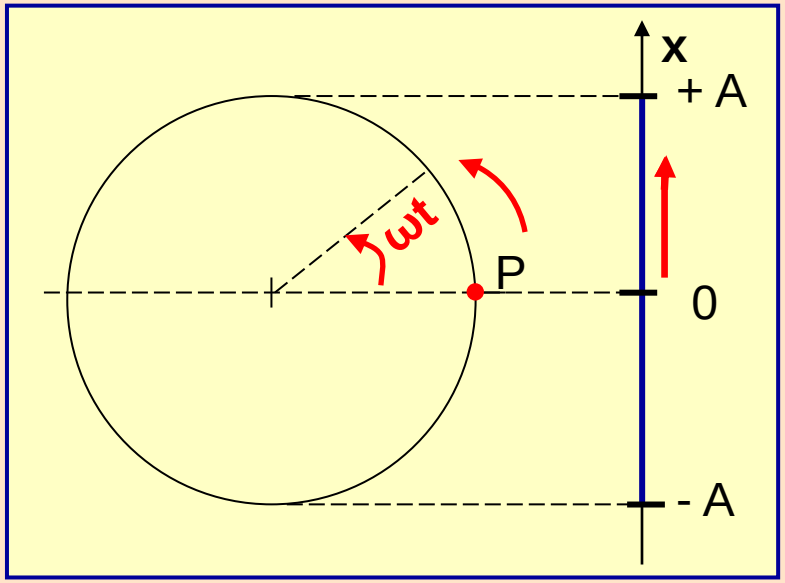
- visto come la proiezione di un punto P che si muove di moto circolare uniforme su una circonferenza di raggio A

# Moto armonico

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

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

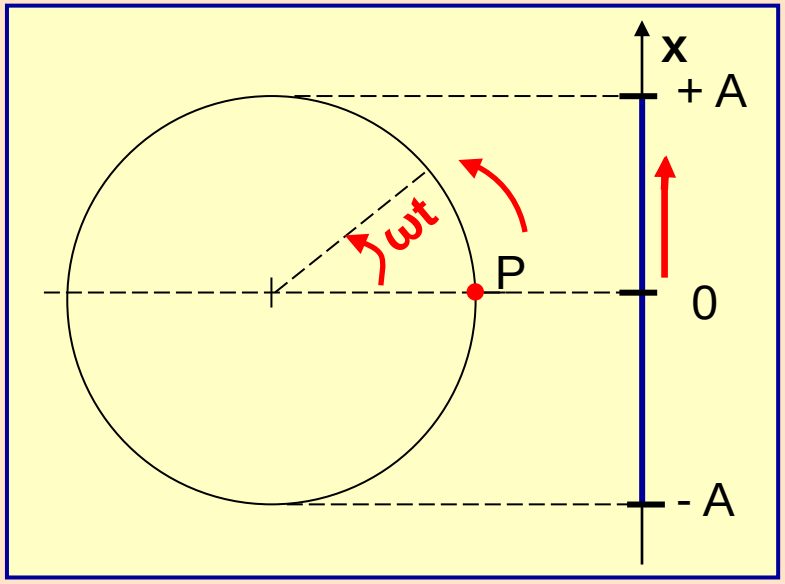


# Moto armonico

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

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

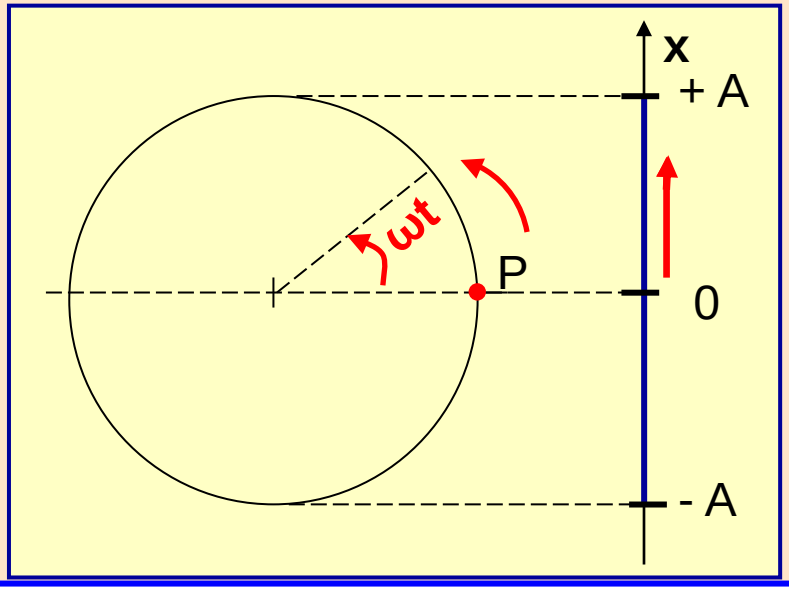
# Moto armonico

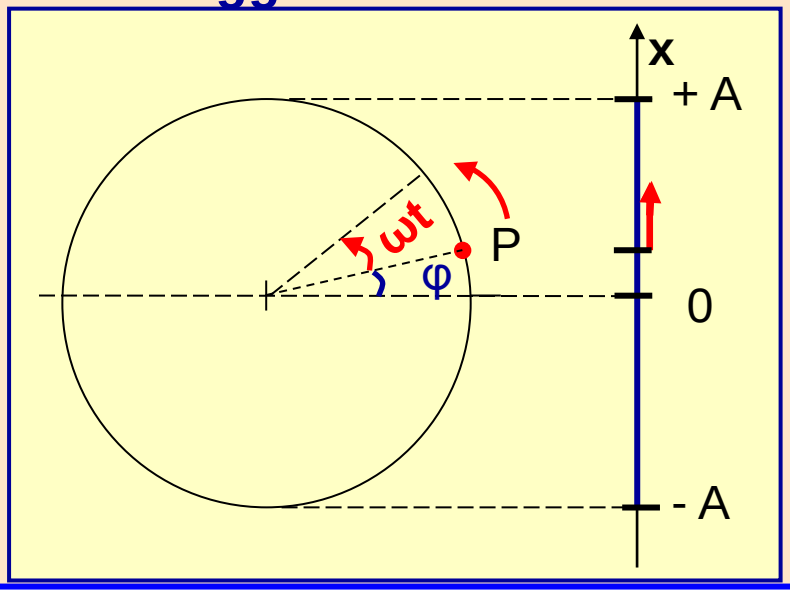
- **moto periodico di un punto lungo una traiettoria rettilinea attorno ad un centro di oscillazione con legge oraria :**

$x = A \sin \omega t$ **(quando x = 0 per t =0)**

$x = A \sin (\omega t + \varphi)$ **(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;**

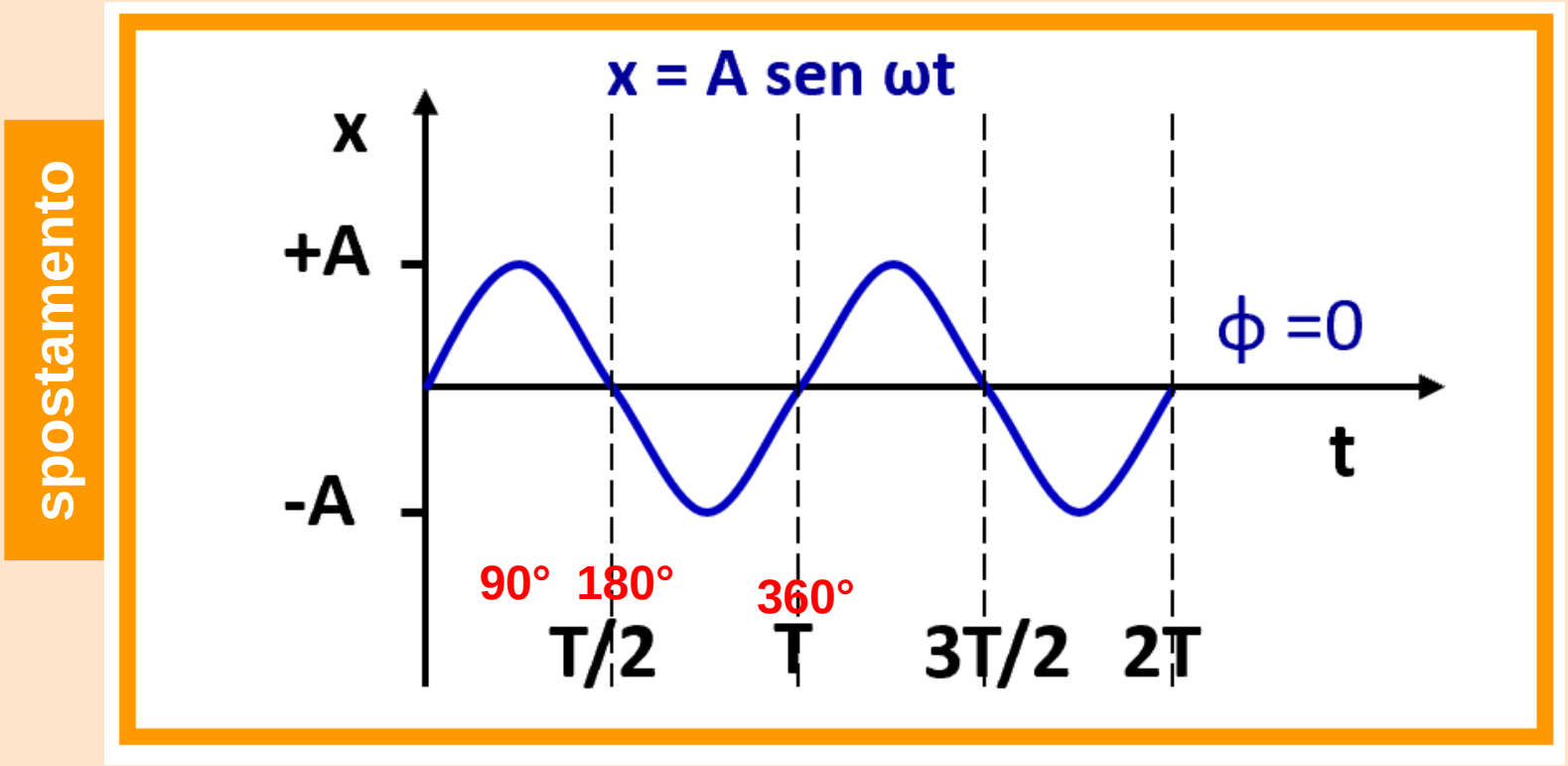
**T = periodo, tempo impiegato per ciclo;**

**f = frequenza, numero di cicli in un secondo;**

**φ = fase iniziale**

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

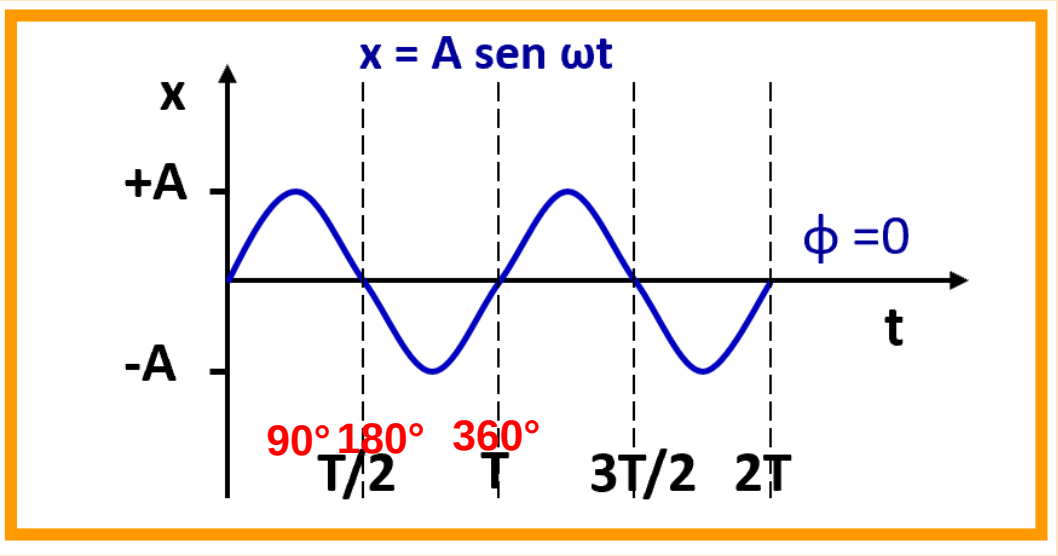
**T = periodo, tempo impiegato per ciclo;**



- $x = A \sen \omega t$

**T = periodo, tempo impiegato per ciclo;**

spostamento



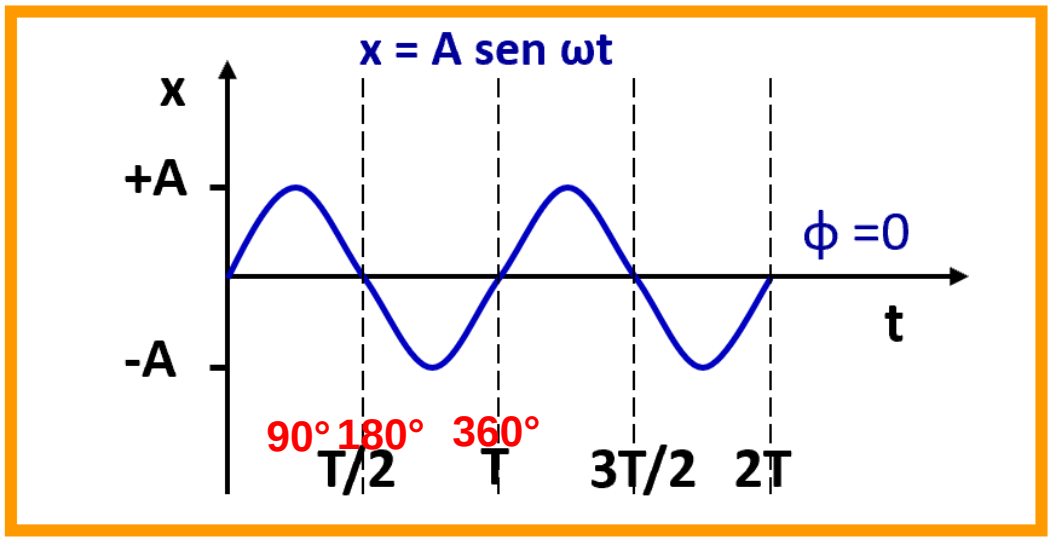

$v = dx / dt$

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

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

**T = periodo, tempo impiegato per ciclo;**

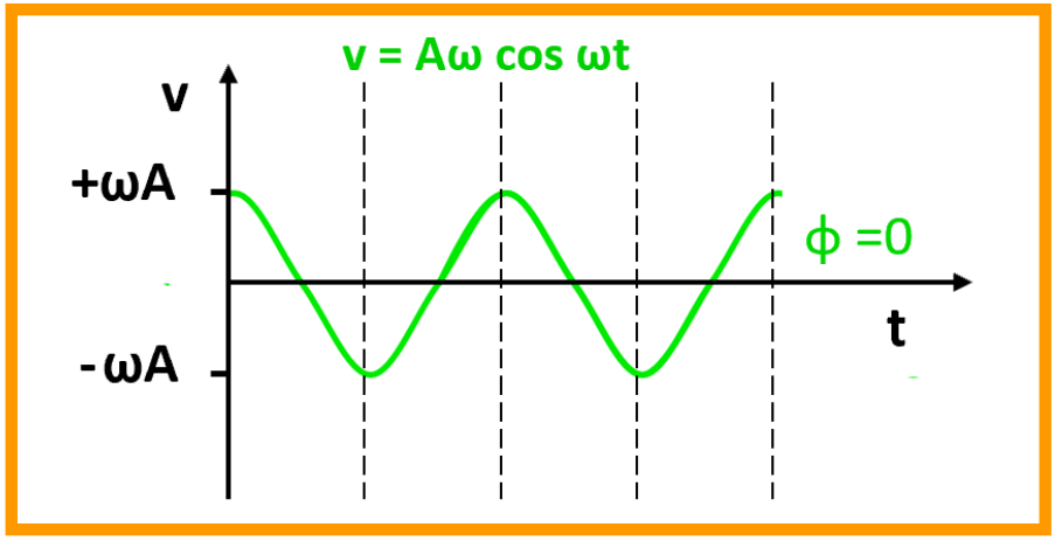
spostamento



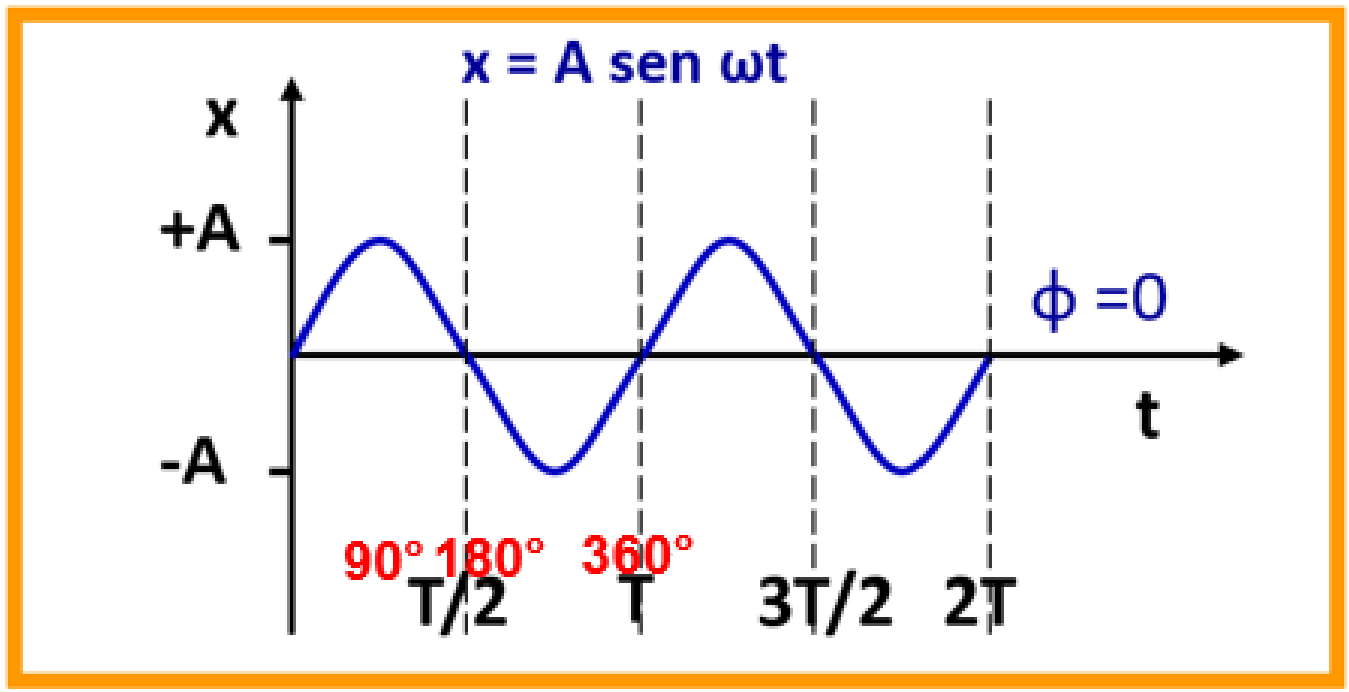

$v = dx / dt$

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

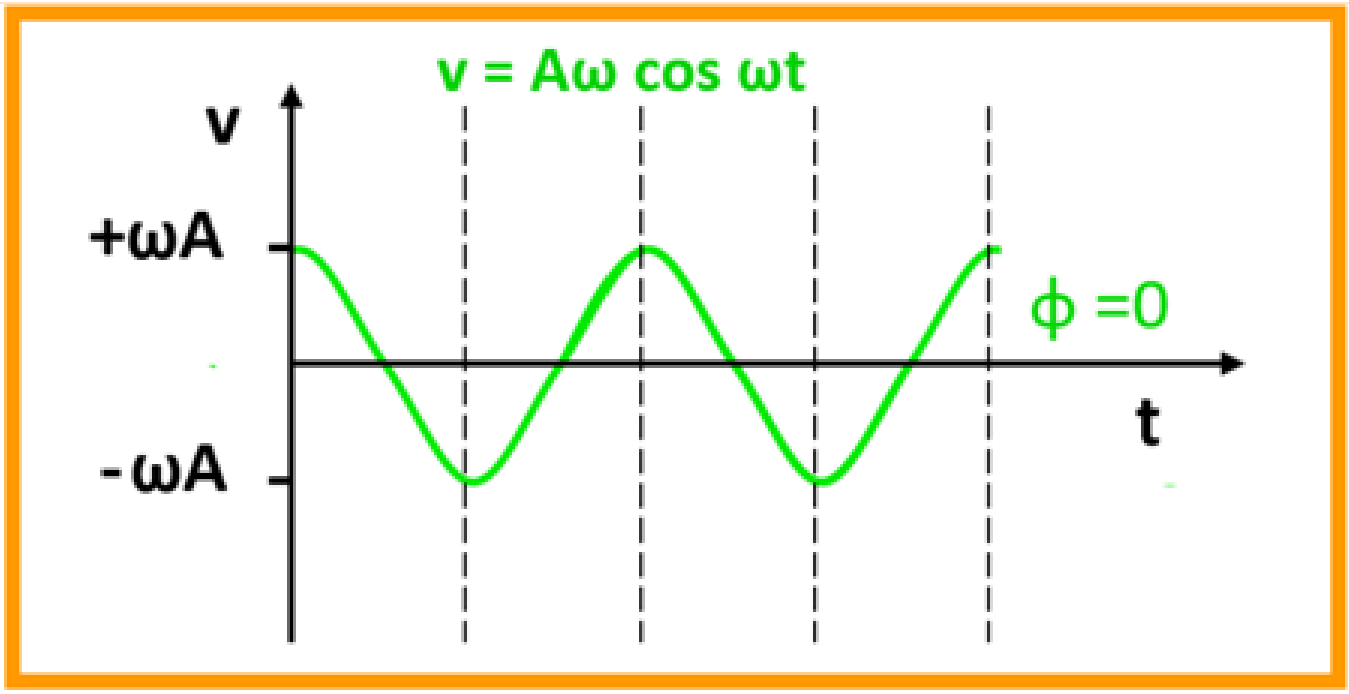
velocità



spostamento



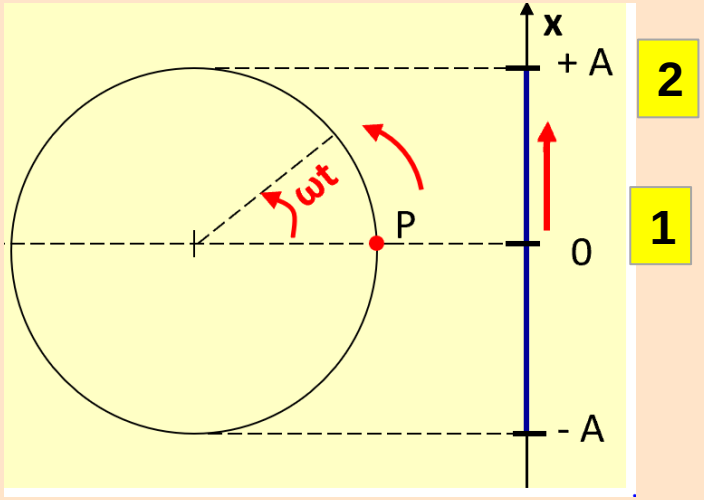

velocità



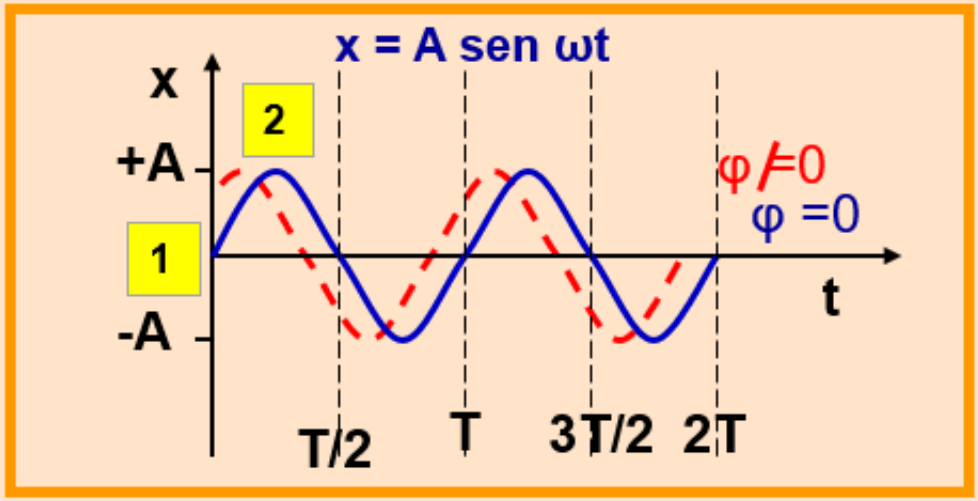
## velocità e accelerazione del moto:

$v = dx / dt$

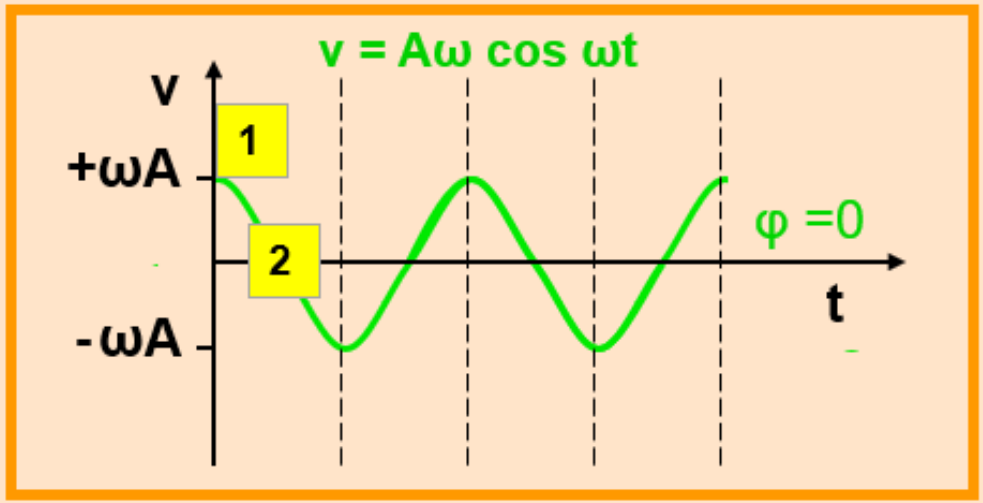
$v = A\omega \cos \omega t$




spostamento




velocità



- **velocità e accelerazione del moto:**

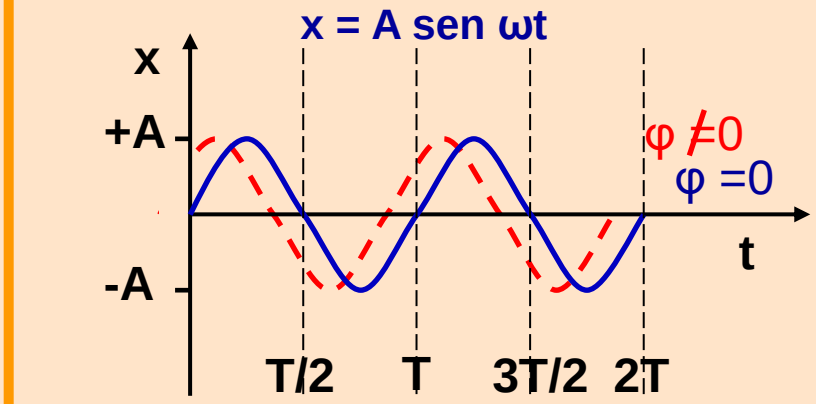
$$v = dx / dt$$

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

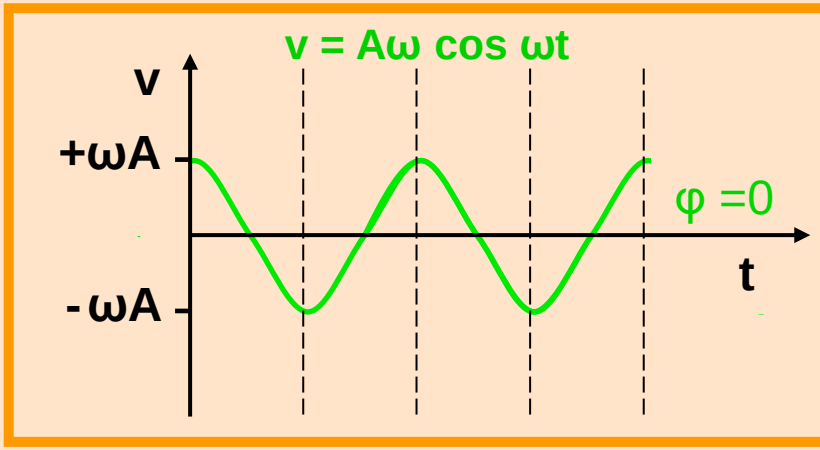
$$a = dv / dt$$

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

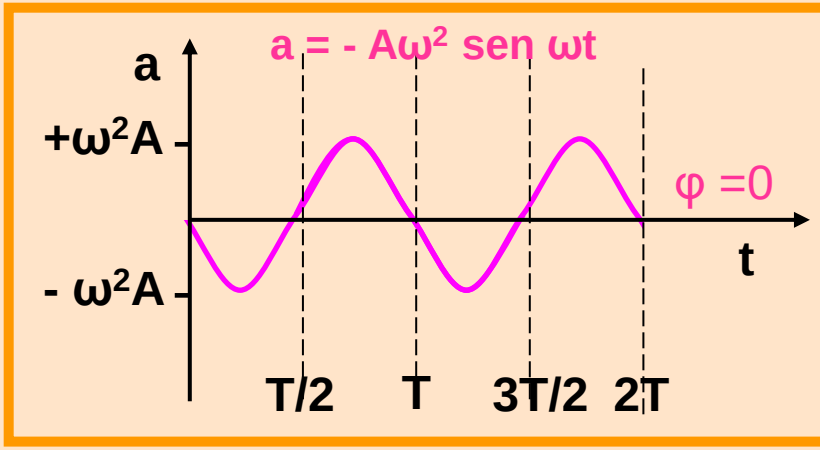
spostamento




velocità




accelerazione



- **velocità e accelerazione del moto:**

$v = dx / dt$

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

$a = dv / dt$

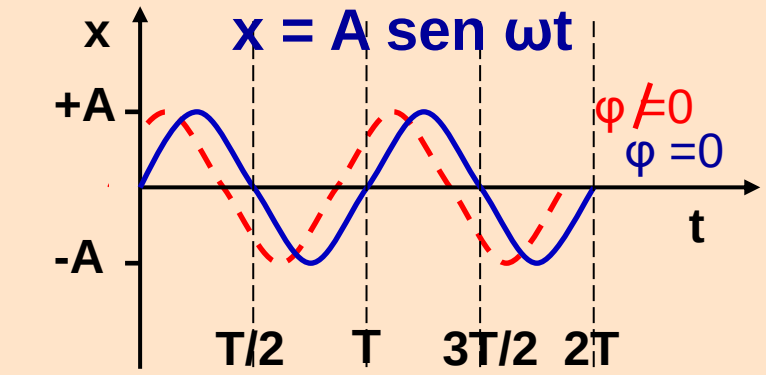
$a = - A\omega^2 \operatorname{sen} \omega t$

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

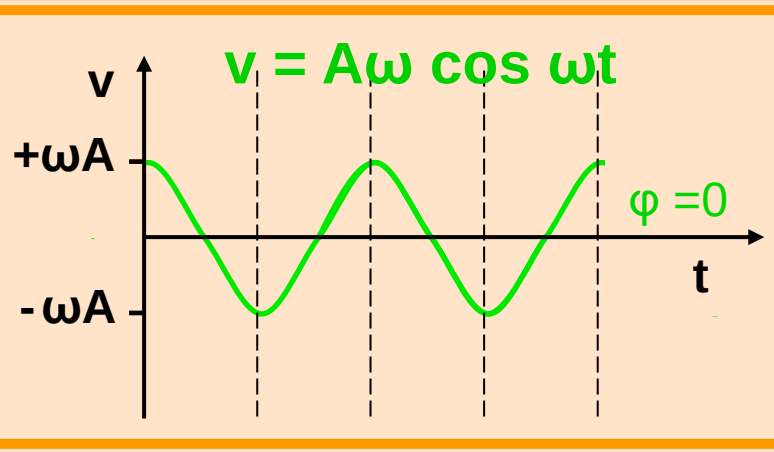
$$a = - \omega^2 x$$

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

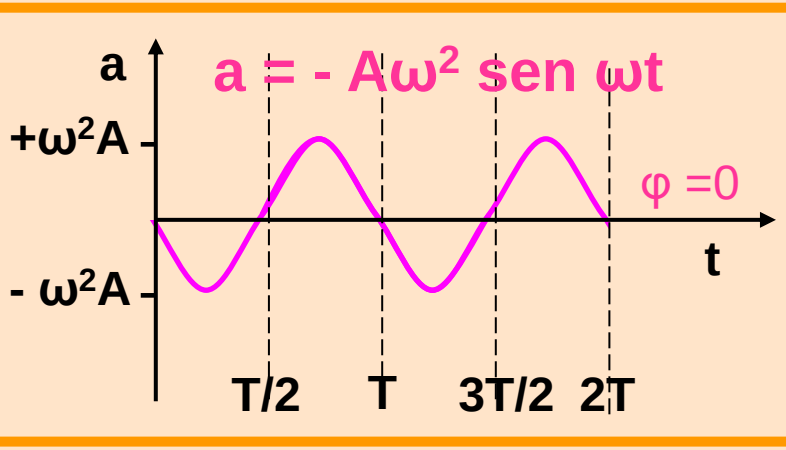
spostamento




velocità



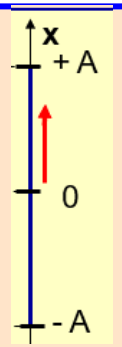

accelerazione



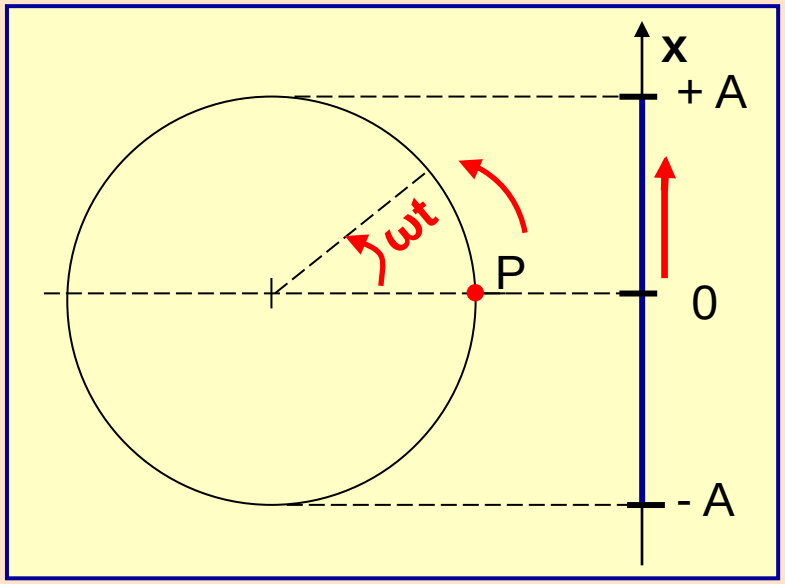
# Moto armonico

- 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

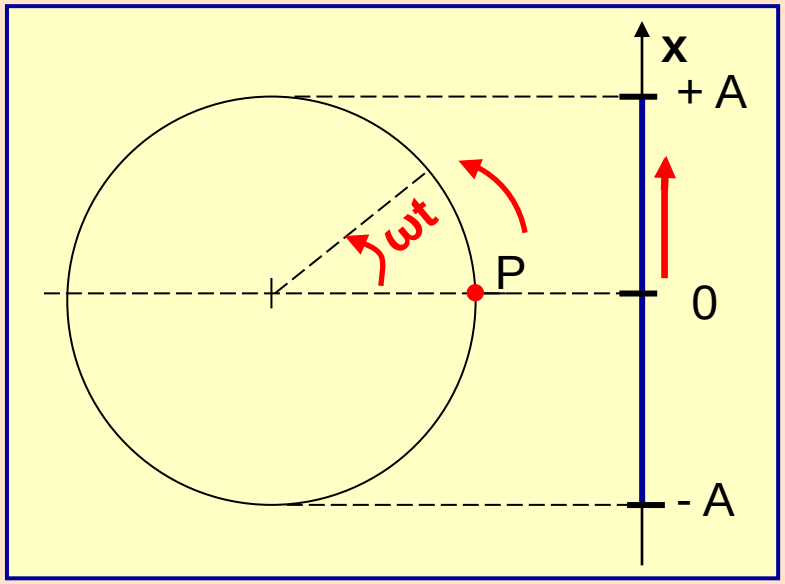



| | |
|---|---|
| $f = 1 / T$ | $v = 2\pi R / T$ |
| $\omega = d\vartheta / dt = 2\pi / T$ | $v = \omega R$ |
| $a = v^2 / R = \omega^2 R$ | |

# 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




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

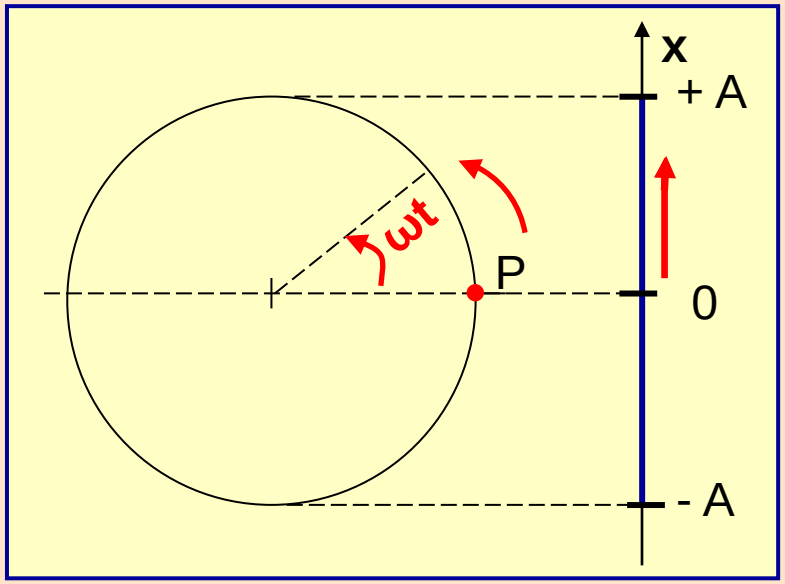
**MOTO CIRCOLARE UNIFORME**

**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**

$v = dx / dt$

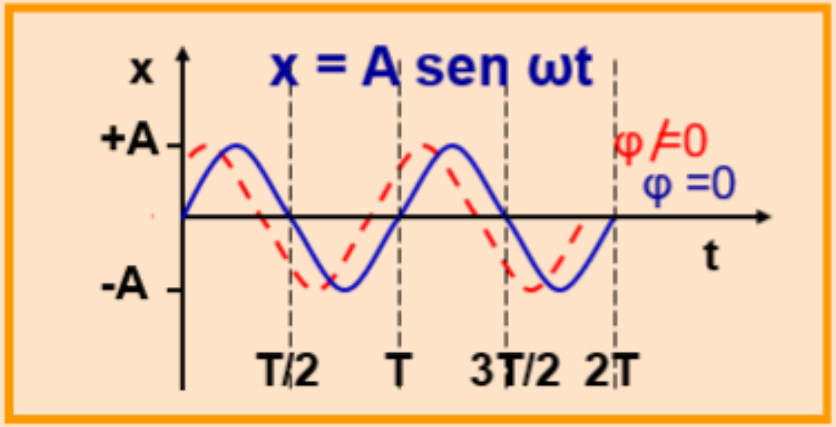
- $v = A\omega \cos \omega t$

**accelerazione**

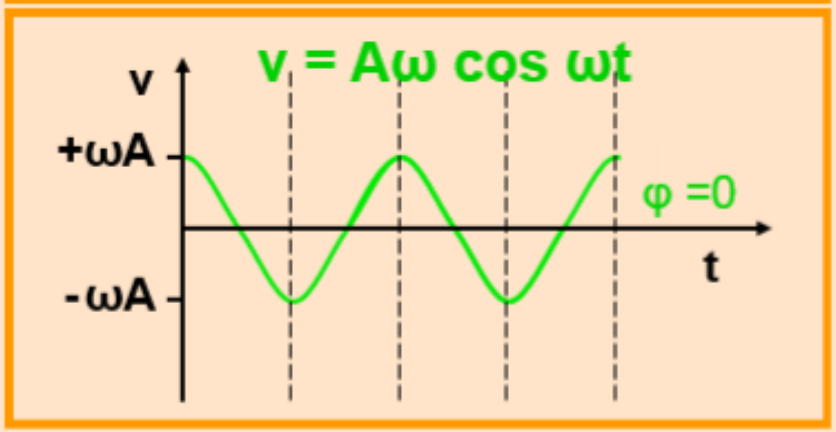
$a = dv / dt$

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

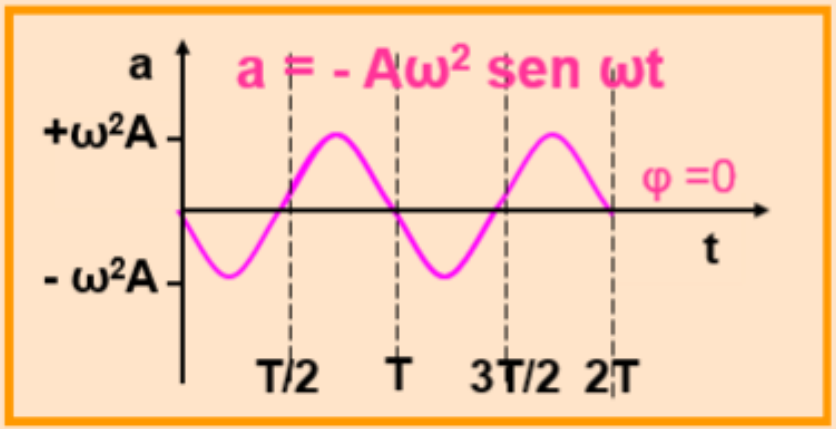
spostamento



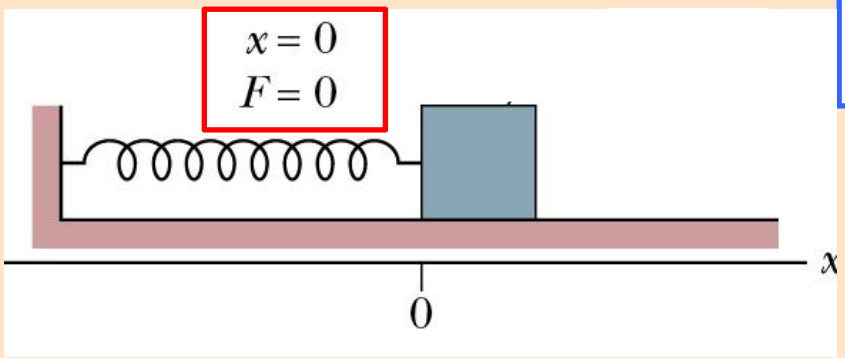

velocità




accelerazione



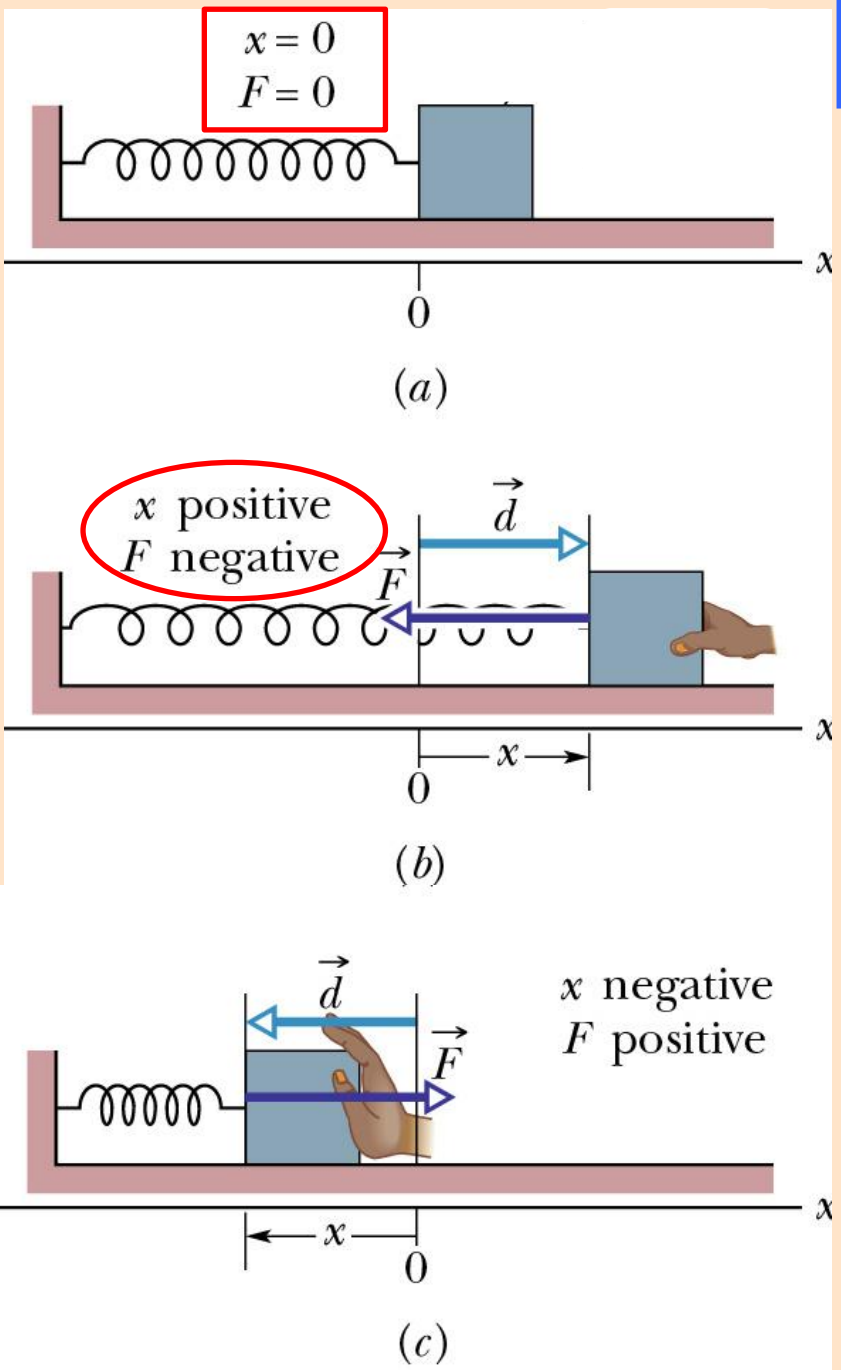
# FORZE ELASTICHE E MOTI OSCILLATORI IN DINAMICA




# FORZE ELASTICHE

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

# FORZE ELASTICHE

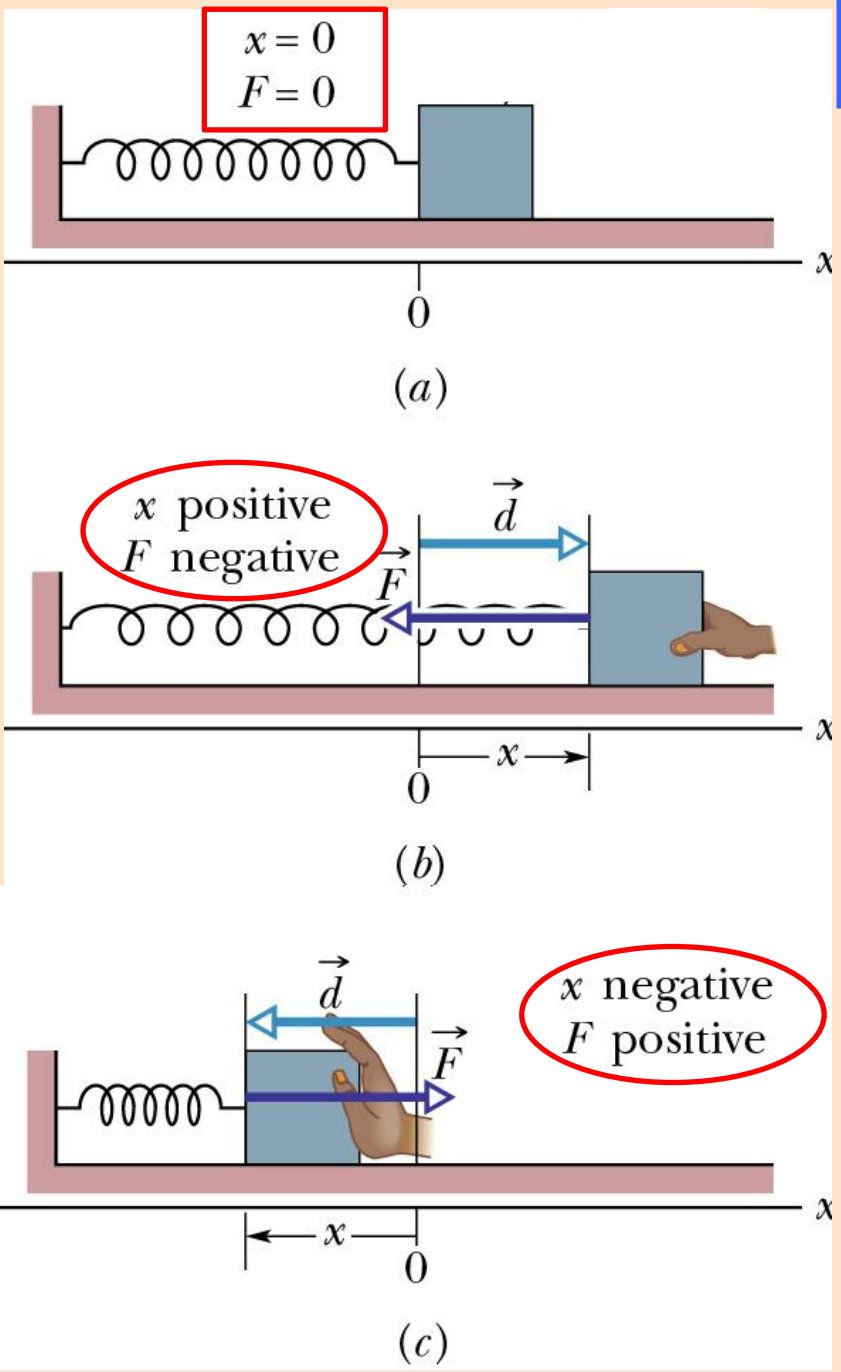



**La massa m è attaccata ad una molla. Nessuna forza applicata (F=0) → nessuno spostamento (x=0)**

**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**

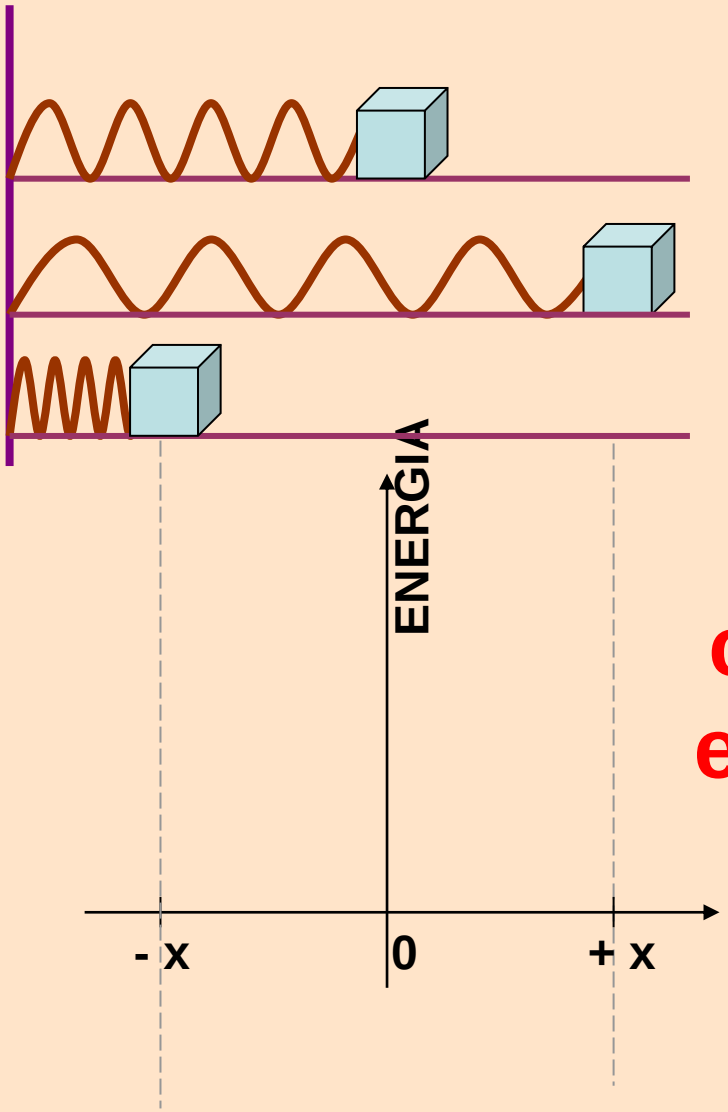
$x = A \text{ sen } \omega t$ $a = - \omega^2 x$ $\omega^2 = - a/x = kx/xm = k/m$

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

**moto oscillatorio o vibratorio con pulsazione**

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

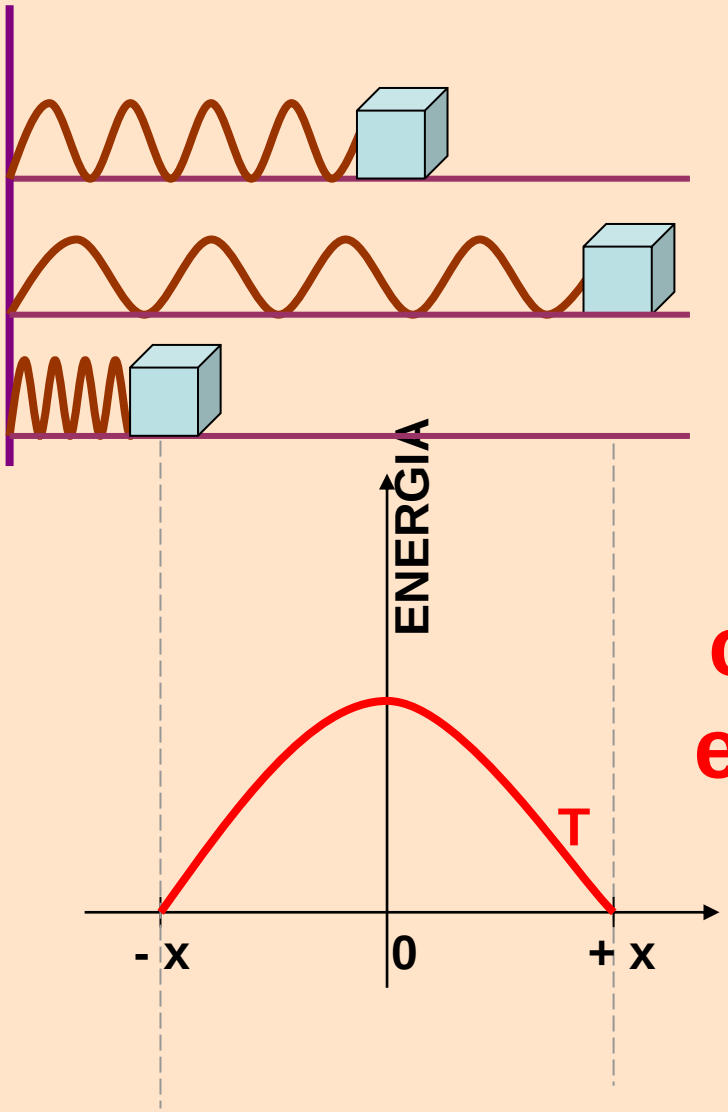
# La forza elastica è una forza conservativa




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

**come varia T, energia cinetica ?**

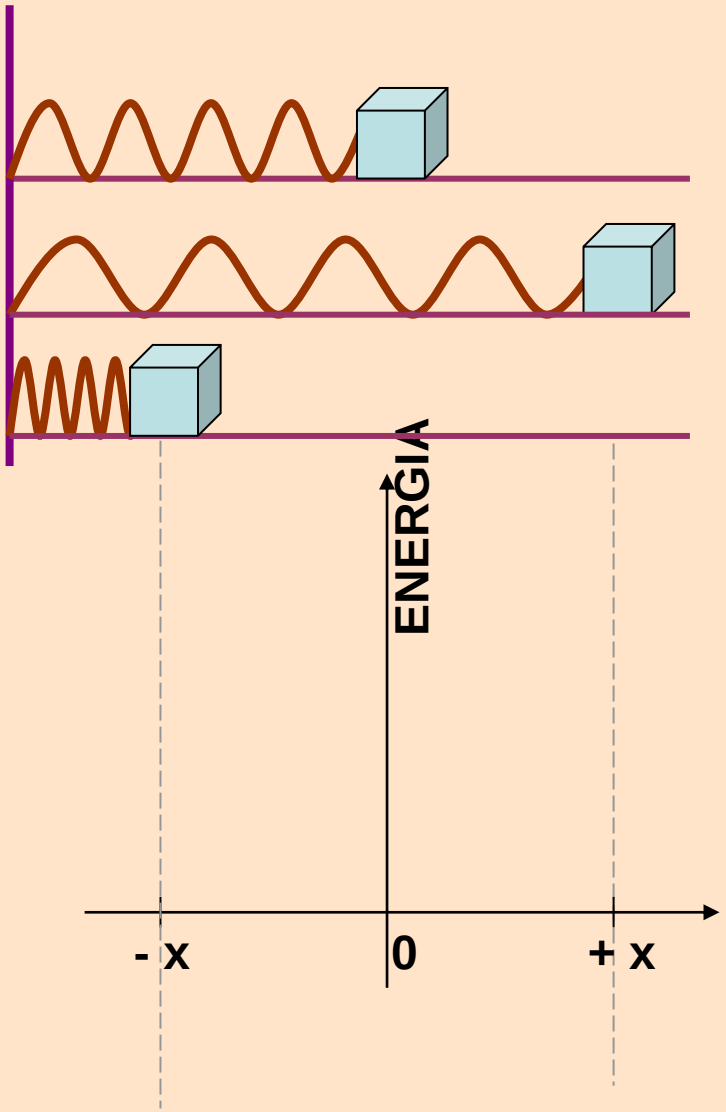
# La forza elastica è una forza conservativa




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

**come varia T, energia cinetica ?**

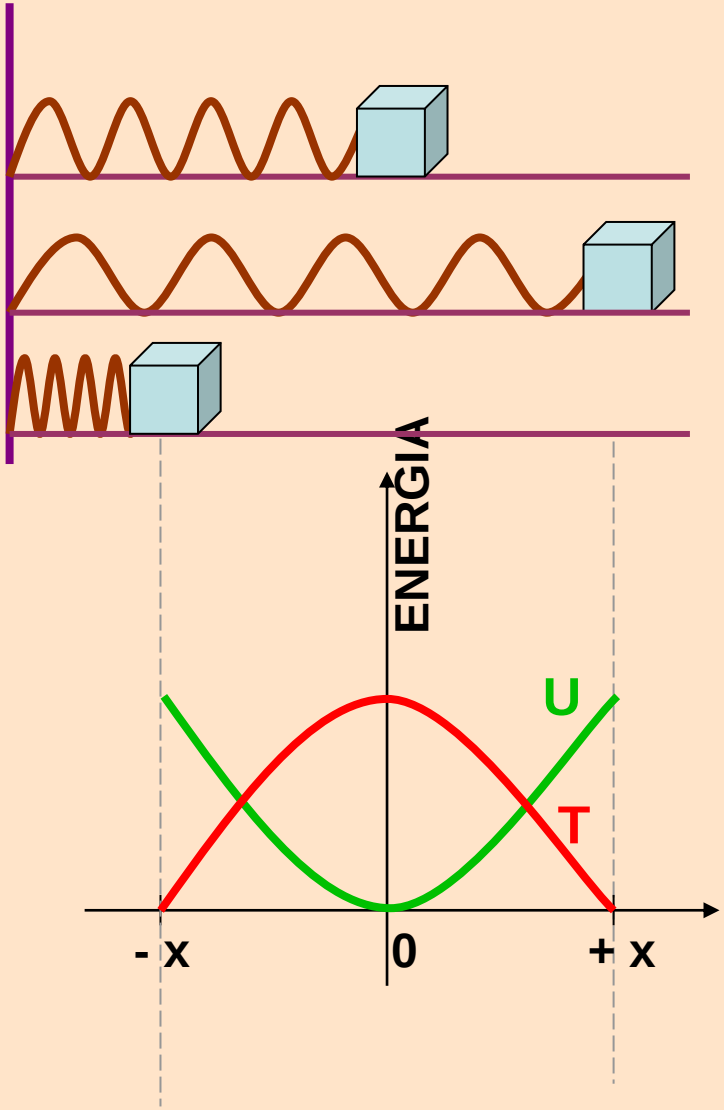
# La forza elastica è una forza conservativa




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

**come varia U, energia potenziale ?**

# La forza elastica è una forza conservativa



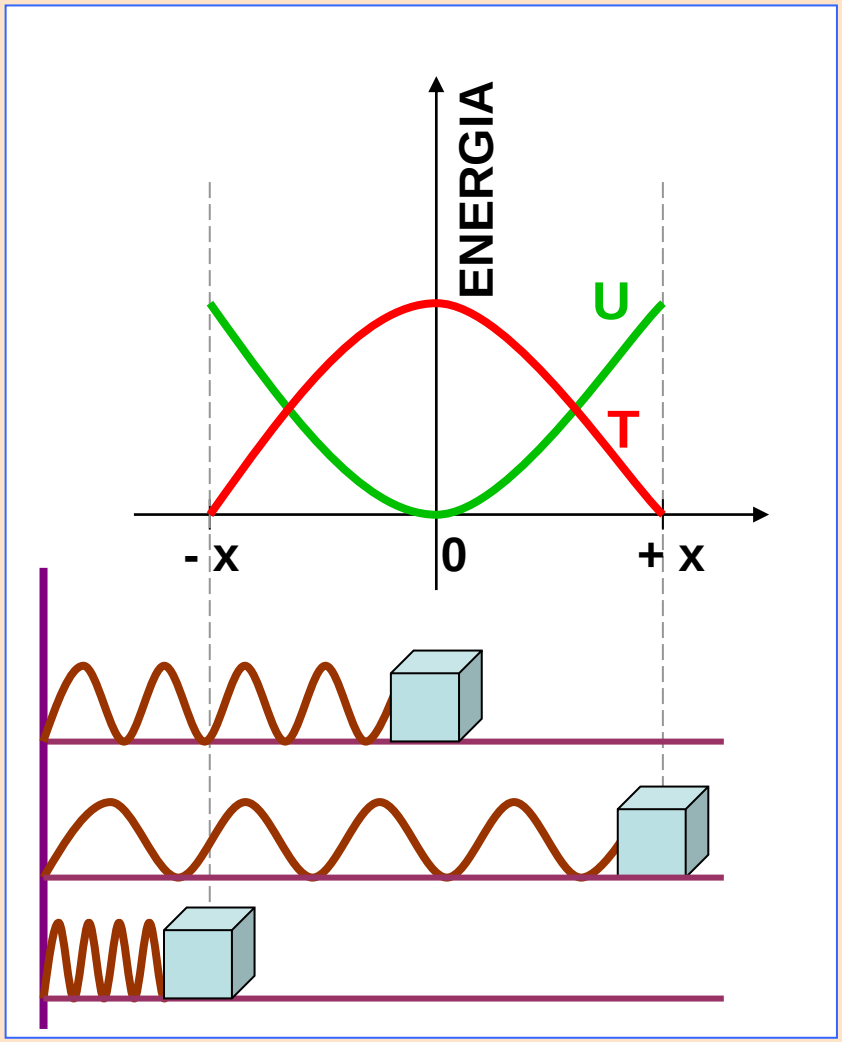

**Il lavoro della forza elastica, durante lo spostamento è dato da ??????**

# 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:**

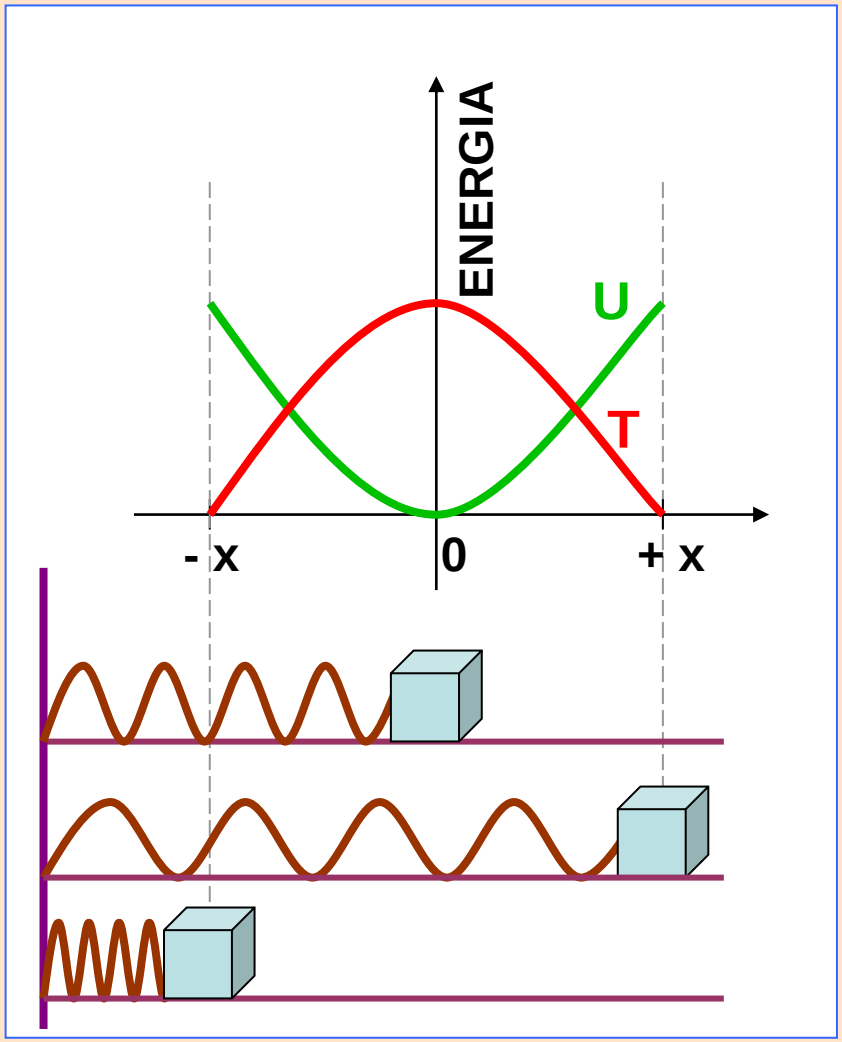
$L = -\Delta U$ $\qquad$ $L = \Delta T$

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

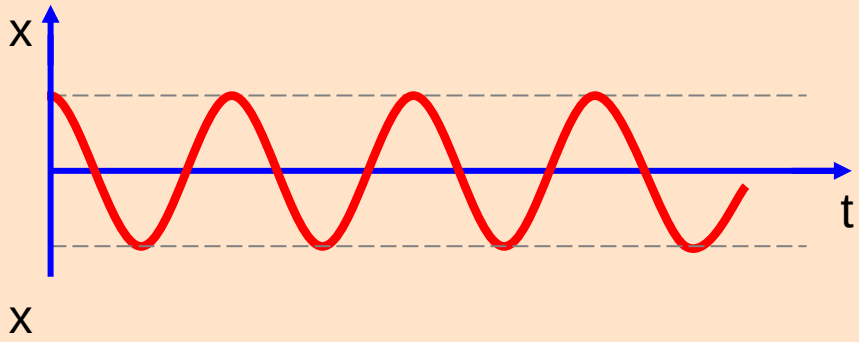
$\omega = \sqrt{k/m}$

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

**La forza elastica è una forza conservativa**

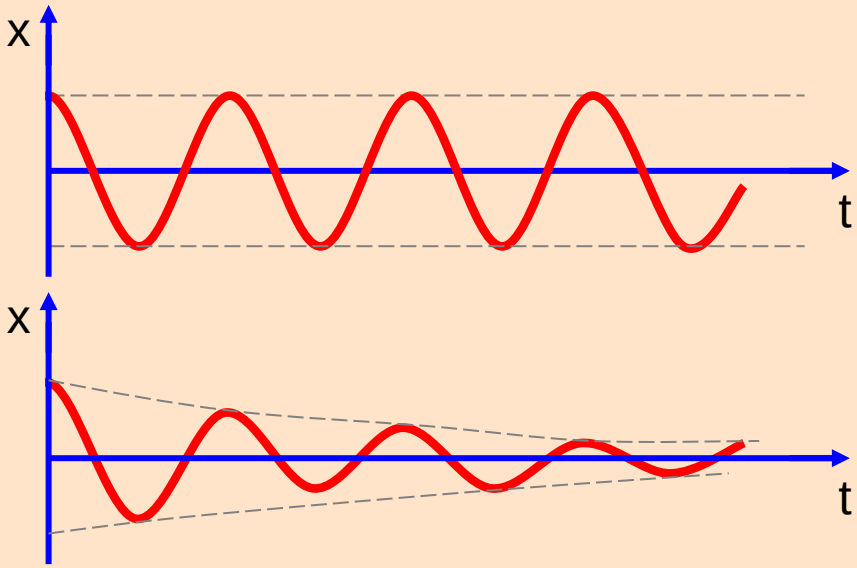


# OSCILLAZIONI SMORZATE




**moto armonico**

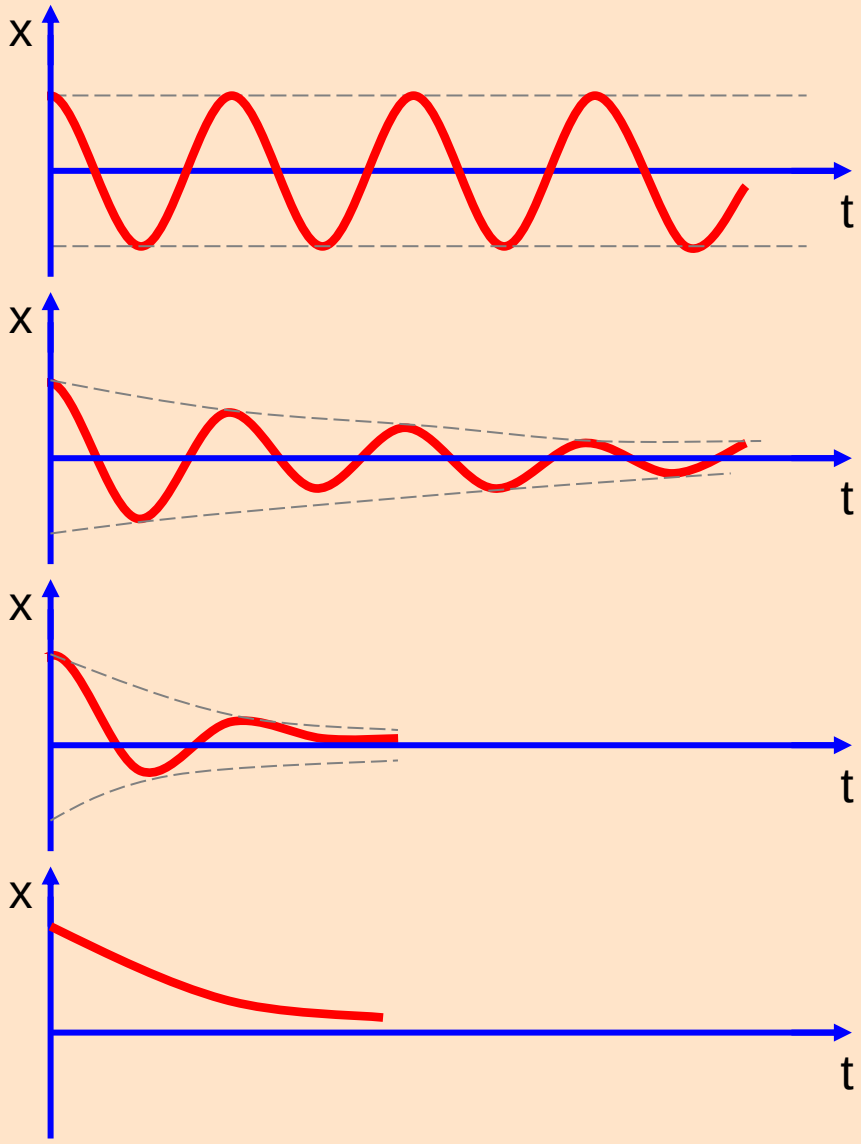
# OSCILLAZIONI SMORZATE




**moto armonico**

**presenza di forze dissipative**

# OSCILLAZIONI SMORZATE

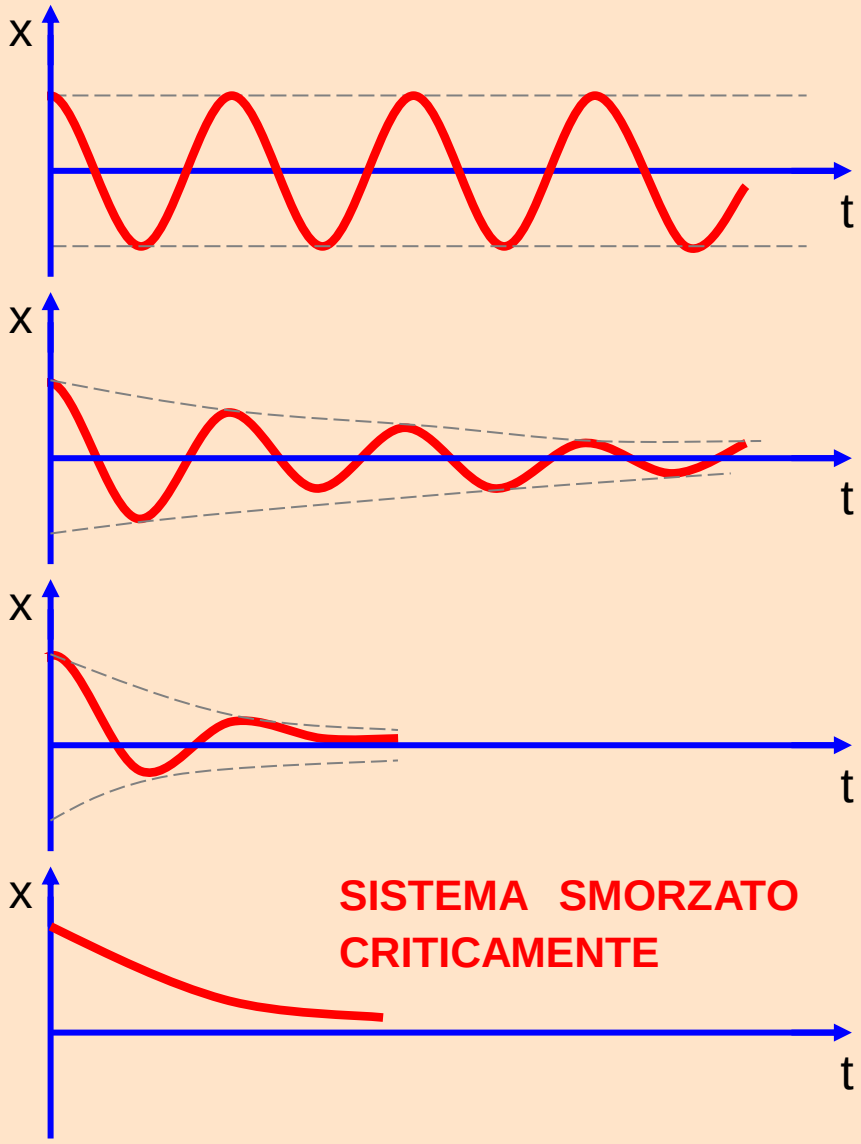



**moto armonico**

**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.**

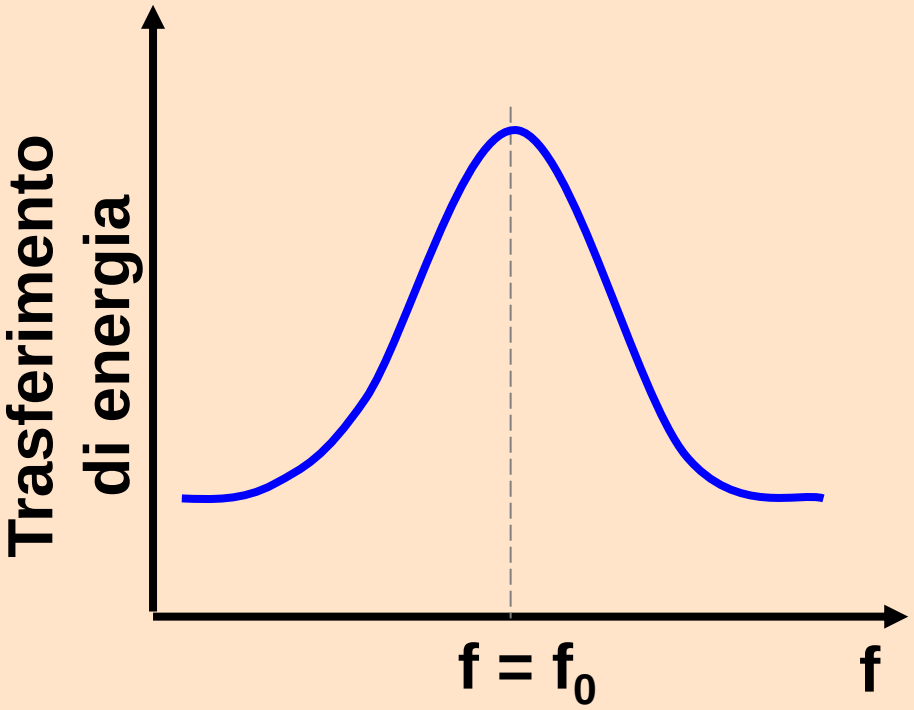
**(SMORZAMENTO).**

**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

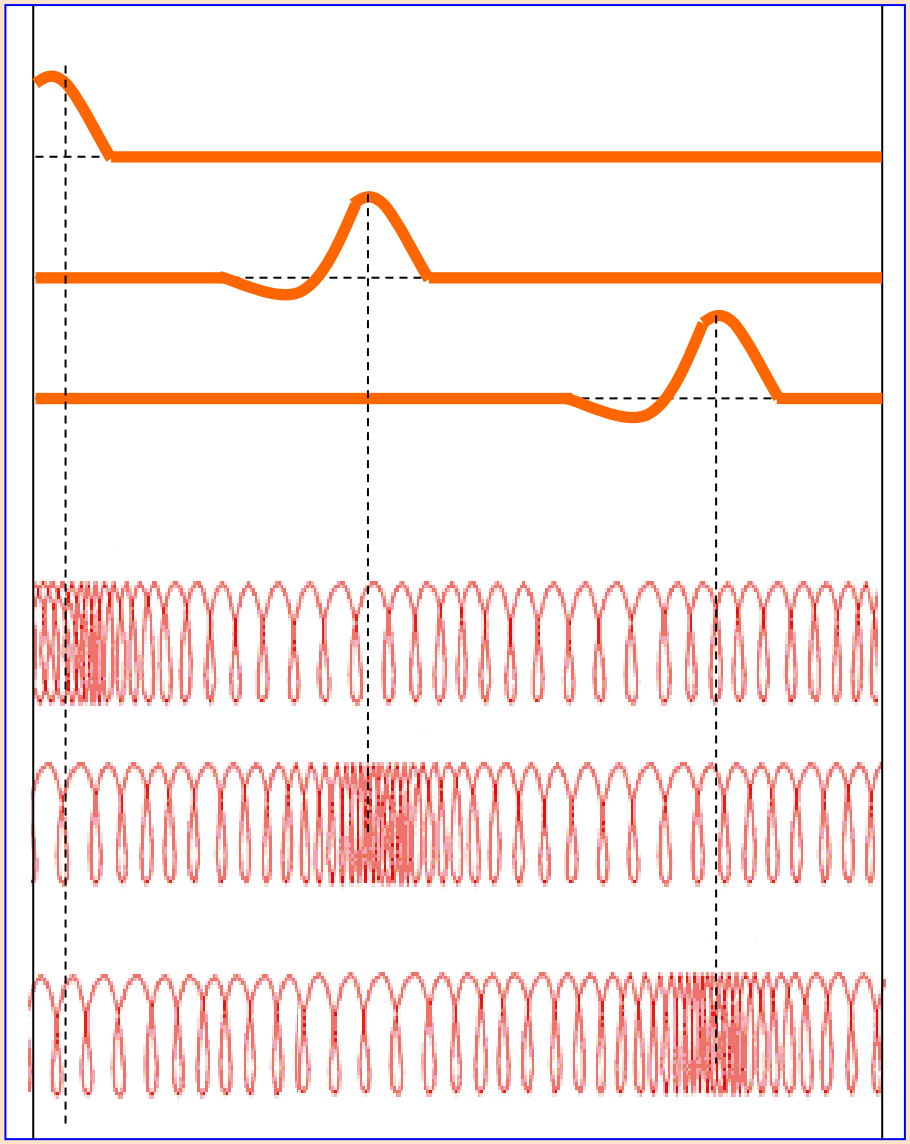
**Per supplire alla diminuzione in ampiezza *dovuta allo smorzamento,* può essere fornita energia al sistema vibrante (OSCILLAZIONI FORZATE).**




**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).**

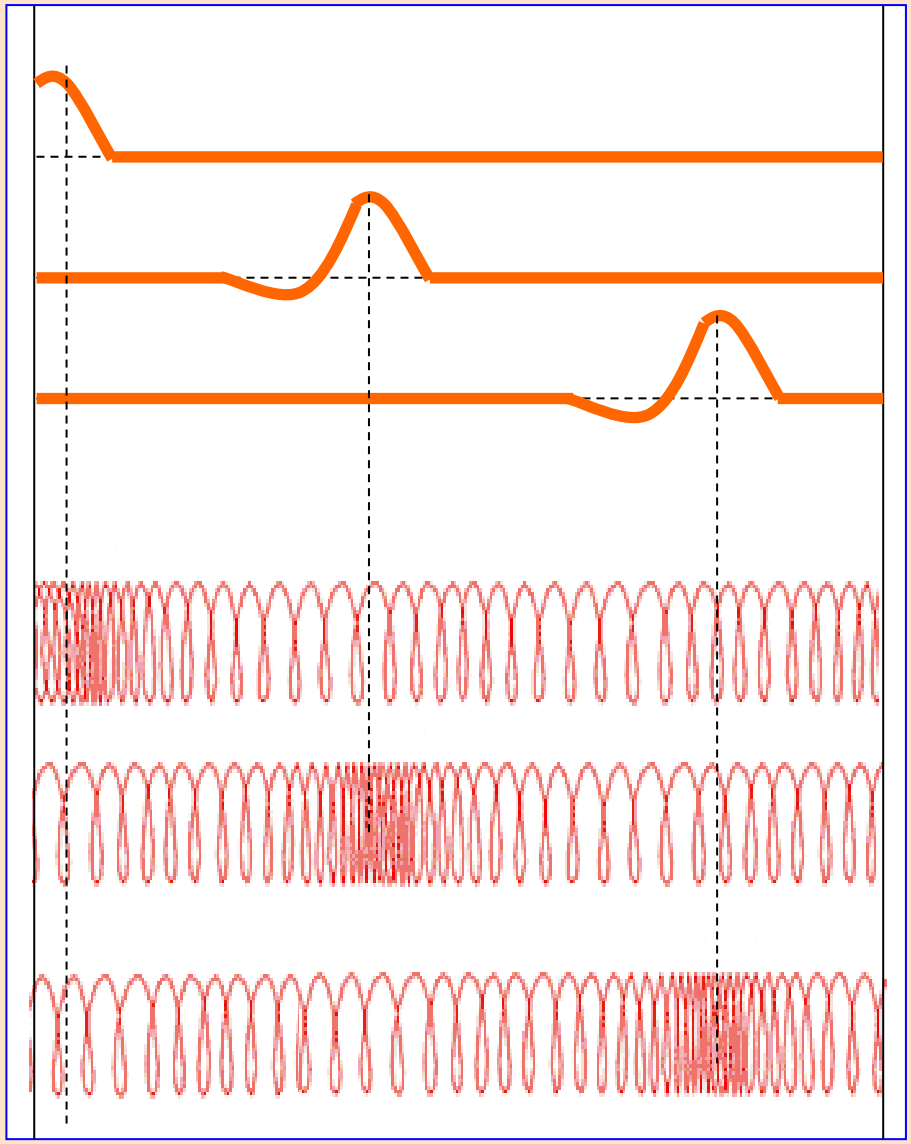
# EQUAZIONE DELL'ONDA SINUSOIDALE

# 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).**

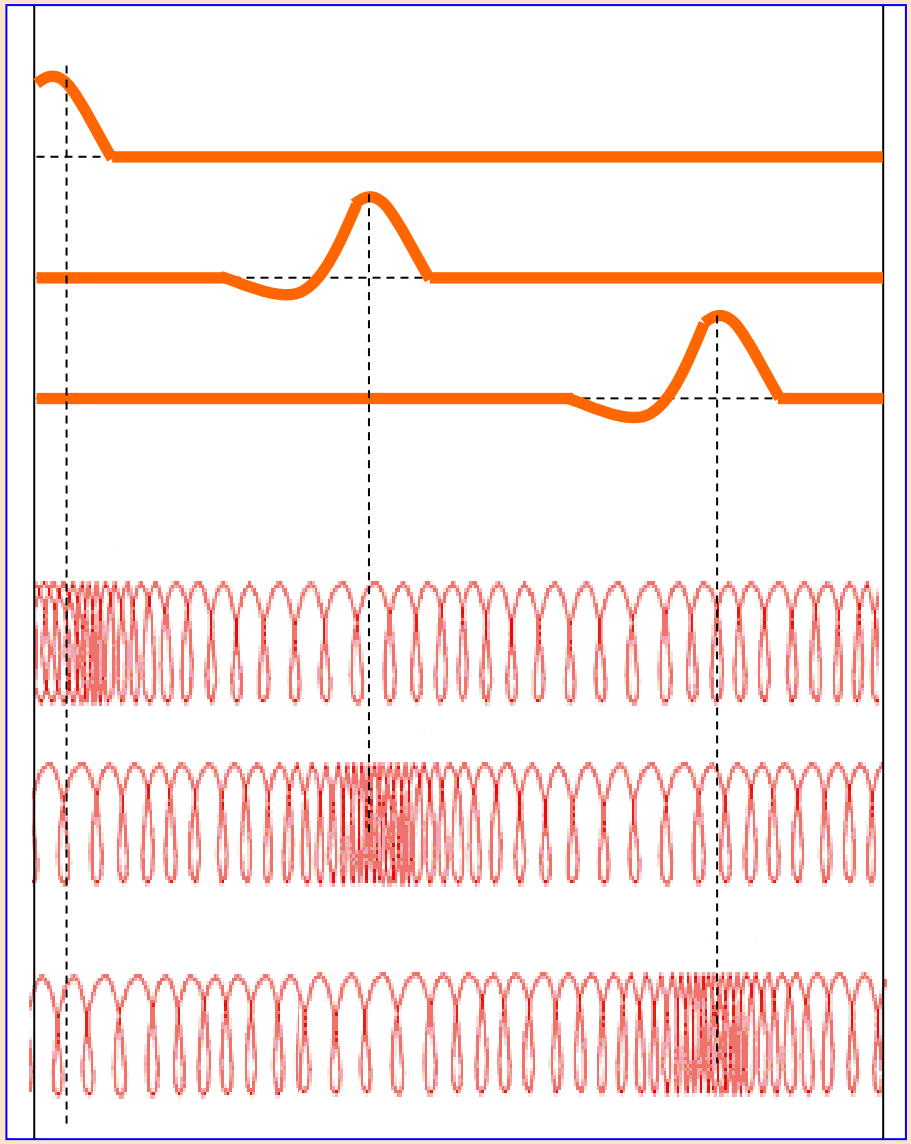


# ONDE PERIODICHE

**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).**

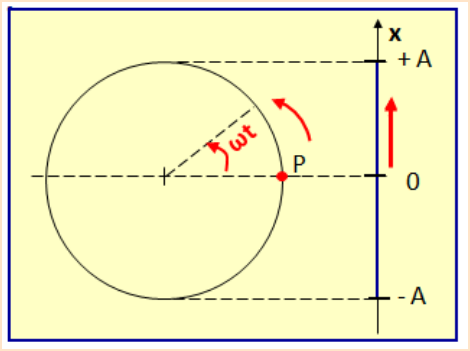
**Tutte le onde periodiche sono rappresentate dallo stesso formalismo matematico e caratterizzate da:**

- **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 :**



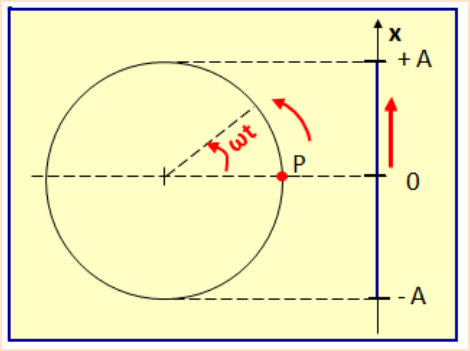

$$y = A \operatorname{sen} \omega t$$

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

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

# 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**

$v = x/\Delta t$

$\Delta t = x/v$

$x = v\,\Delta t$

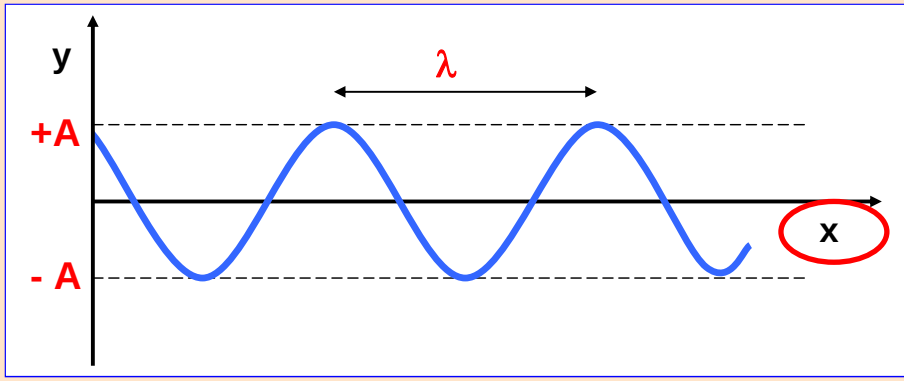
**Equazione di propagazione dell'onda**

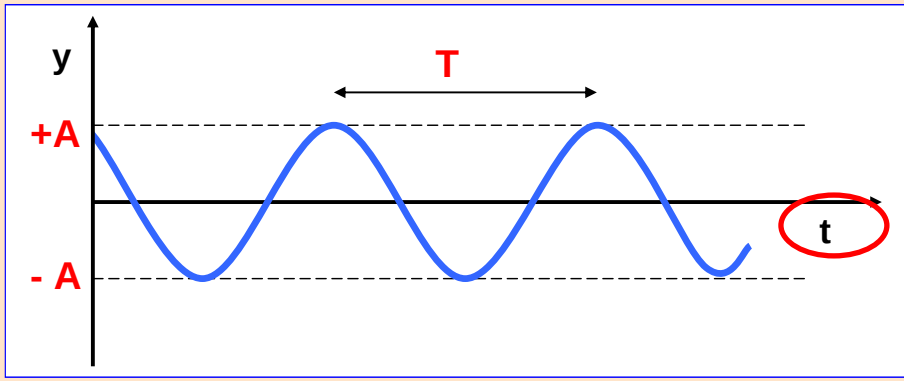
ritardo

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

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**

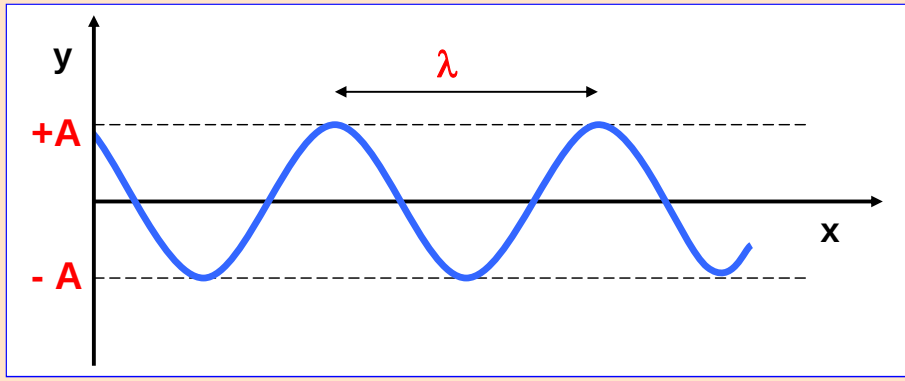
ritardo

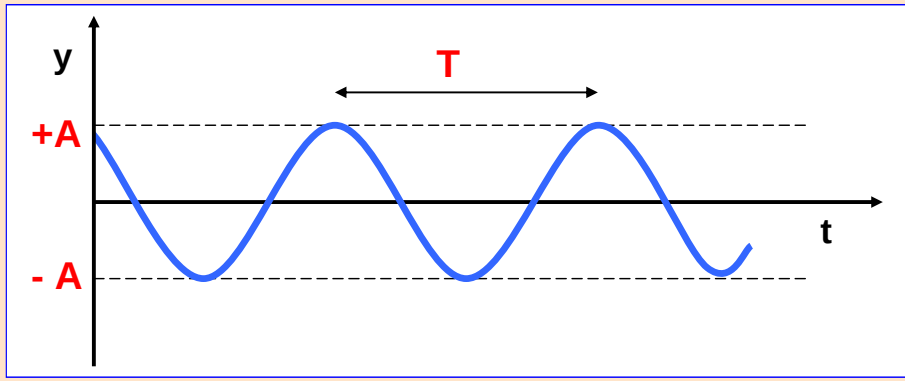
$$y = A \text{ sen } 2\pi \, (t - x/v) / T$$

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

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

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

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

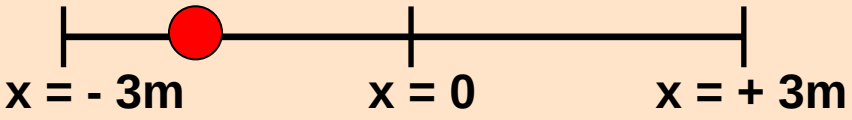
**Un corpo oscilla di moto armonico lungo l'asse x. La sua posizione varia nel tempo con l'equazione:**

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

**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:**

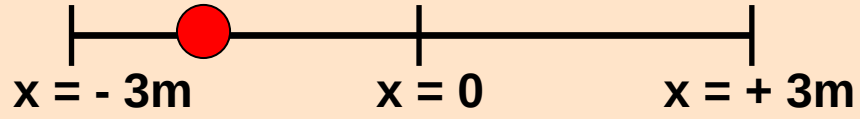
$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

**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:**

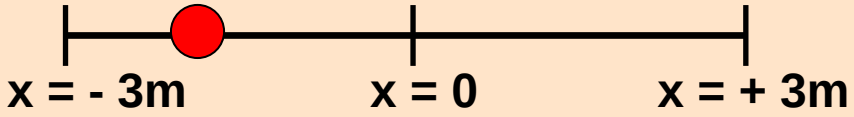
$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

**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:**

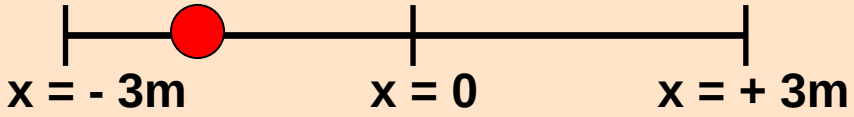
$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

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

---

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

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




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

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

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

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

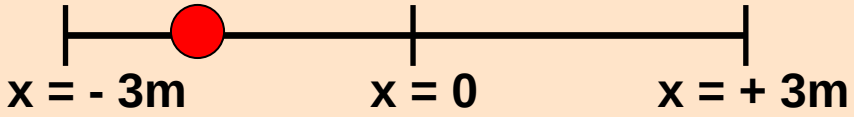
$$x = 3 \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$$

**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

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

---

| ampiezza | periodo | frequenza |
|---|---|---|
| $A = 3$ m | $T = 2$ s | $f = 0.5$ Hz |

**Per il corpo che oscilla di moto armonico secondo l'equazione dell'esempio precedente, calcolare velocità ed accelerazione per ogni t e calcolare la posizione e la velocità ai tempi t = 0 e t = 1 s.**

---

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

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

- velocità e accelerazione del moto:

$v = dx / dt$

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

$a = dv / dt$

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

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

**Per il corpo che oscilla di moto armonico secondo l'equazione dell'esempio precedente, calcolare velocità ed accelerazione per ogni t e calcolare la posizione e la velocità ai tempi t = 0 e t = 1 s.**

---

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

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

$$v = dx / dt$$

$$v = A\omega \cos (\omega t + \varphi)$$

$$a = dv / dt$$

$$a = - A\omega^2 \text{ sen } (\omega t + \varphi)$$

**Per il corpo che oscilla di moto armonico secondo l'equazione dell'esempio precedente, calcolare velocità ed accelerazione per ogni t e calcolare la posizione e la velocità ai tempi t = 0 e t = 1 s.**

---

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

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

$v = dx / dt$

$v = A\omega \cos (\omega t + \varphi)$

$a = dv / dt$

$a = - A\omega^2 \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$v = (3\ \pi \text{ m/s}) \cos (\pi t + \pi/4)$

$a = - (3\ \pi^2 \text{ m/s}^2) \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$

**Per il corpo che oscilla di moto armonico secondo l'equazione dell'esempio precedente, calcolare velocità ed accelerazione per ogni t e calcolare la posizione e la velocità ai tempi t = 0 e t = 1 s.**

---

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

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

$v = dx / dt$

$v = A\omega \cos (\omega t + \varphi)$

$a = dv / dt$

$a = - A\omega^2 \text{ sen } (\omega t + \varphi)$

$v = (3\ \pi \text{ m/s}) \cos (\pi t + \pi/4)$

$a = - (3\ \pi^2 \text{ m/s}^2) \text{ sen } (\pi t + \pi/4)$

**Per t = 0**

$x = (3 \text{ m}) \text{ sen } \pi/4 = 2.12 \text{ m}$

$v = (3\ \pi \text{ m/s}) \cos \pi/4$

$v = 9.42 \text{ m/s} \cdot 0.707 = 6.66 \text{ m/s}$

**Per t = 1 s**

$x = (3 \text{ m}) \text{ sen } 5\ \pi/4 = - 2.12 \text{ m}$

$v = (3\ \pi \text{ m/s}) \cos 5\pi/4$

$v = 9.42 \text{ m/s} \cdot (- 0.707) = - 6.66 \text{ m/s}$

**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.**

**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.**

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

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

**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 ?**

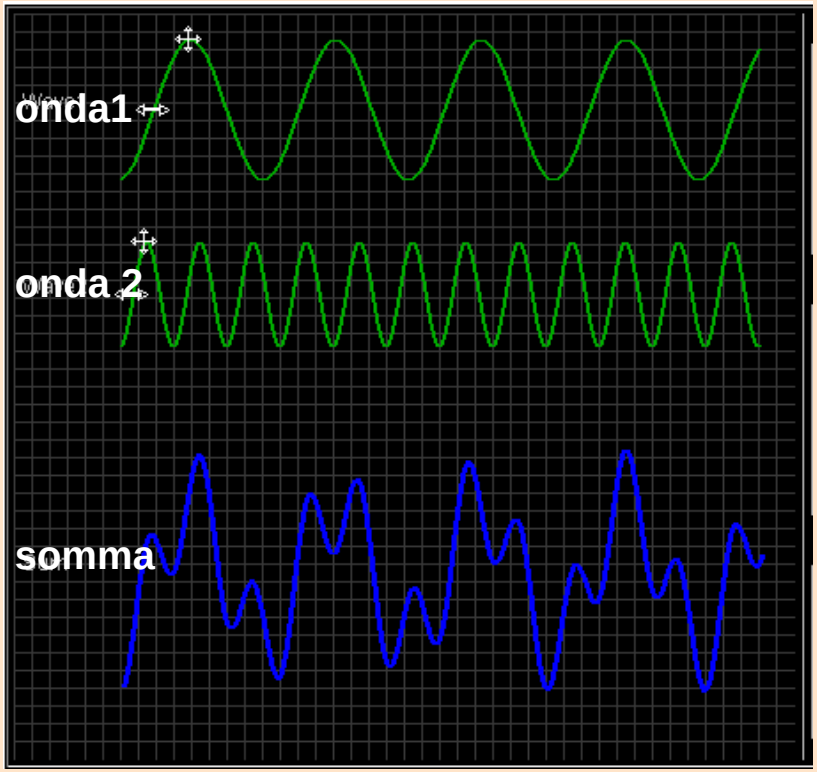
$$\omega = d\,\vartheta / dt = 2\pi / T = 2\,\pi\ f$$

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

# TEOREMA DI FOURIER

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

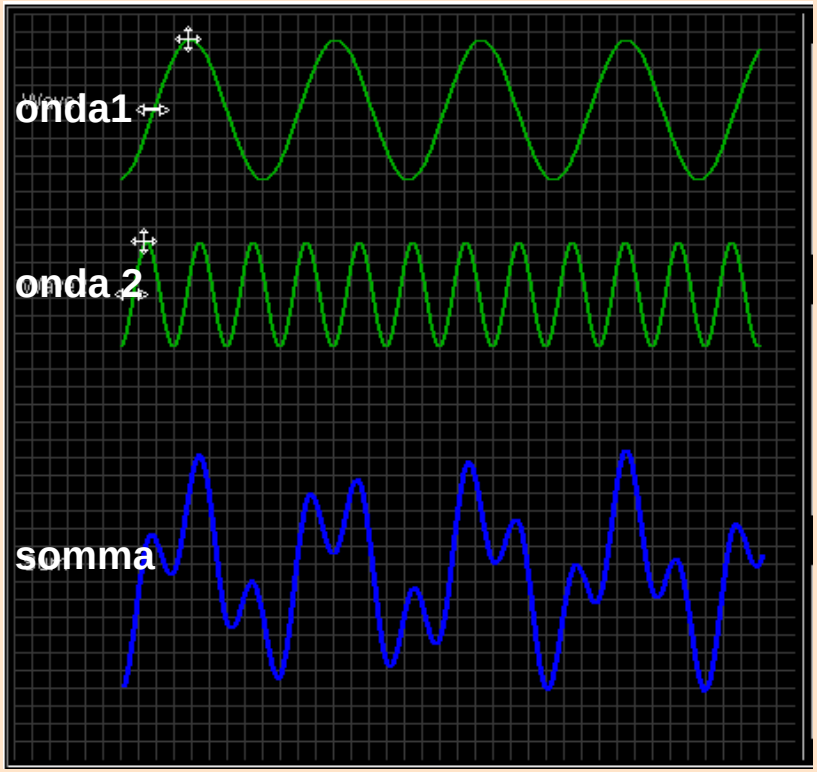
**Le componenti di un'onda periodica complessa di lunghezza d'onda $\lambda$ sono termini della serie $\lambda$, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{1}{3}\lambda$, …$\frac{1}{n}\lambda$, ovvero onde sinusoidali con frequenze che appartengono alla serie f, 2f, 3f…nf (con $f = v/\lambda$ frequenza dell'onda complessa).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

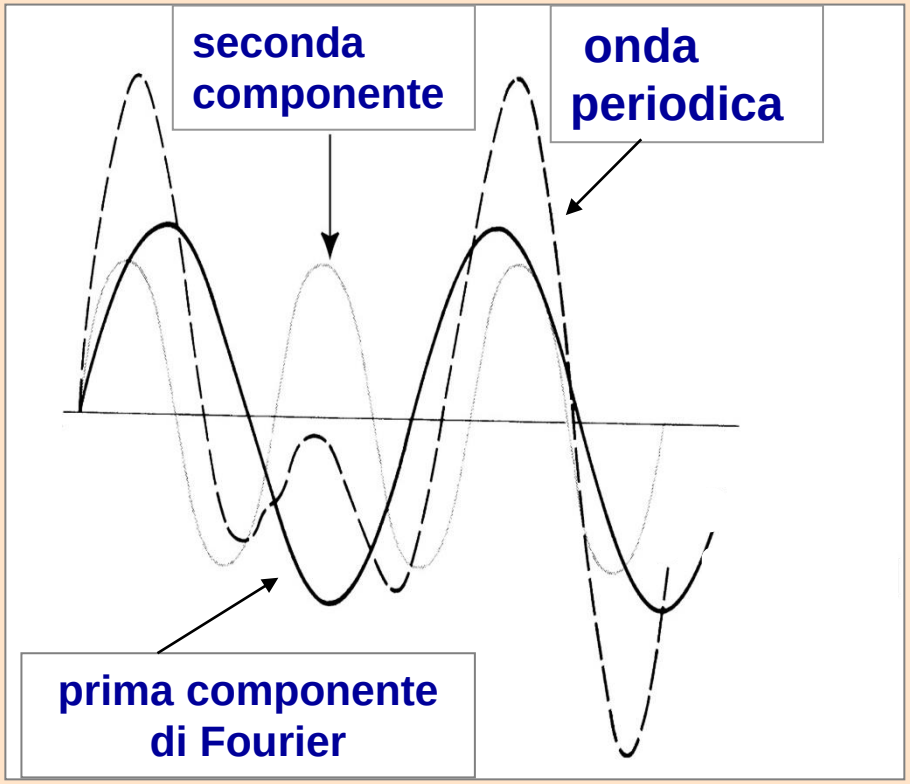


# TEOREMA DI FOURIER

**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 $\lambda$ sono termini della serie $\lambda$, $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{1}{3}\lambda$, …$\frac{1}{n}\lambda$, 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