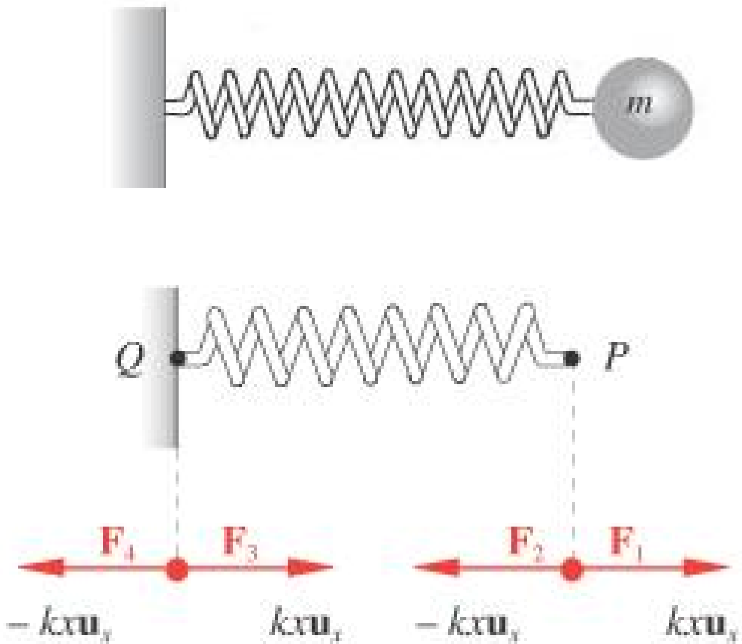
Oscillazioni e Onde

P.A. Tipler, "Invito alla Fisica", volume 2, Zanichelli, Cap.15

Forza elastica

La forza che la molla esercita ha la direzione della deformazione e verso opposto, quindi la legge di Hooke si può scrivere anche in forma vettoriale e

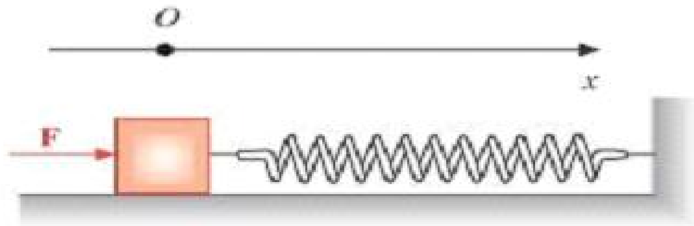
$$\mathbf{F} = -k\Delta\mathbf{x}$$



Forza elastica

Vediamo ora quale è la legge oraria di una massa attaccata a una molla vincolata in un estremo. Per fare ciò occorre scriverne la legge del moto:

da cui $-kx = ma$



$$-kx = m\frac{d^2x}{dt^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

Per trovare la legge oraria basta risolvere questa equazione differenziale:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x \quad \text{con} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\mathbf{\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0}$$

Forza elastica

E' soddisfatta da una funzione la cui derivata seconda è uguale alla funzione stessa cambiata di segno, a meno del coefficiente di proporzionalità (k/m).

Tale funzione è del tipo $\quad \mathrm{sen}(\omega t) \quad$ con $\quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Infatti se provo la soluzione :

$$x(t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi)$$

velocità e accelerazione sono

$$v = dx/dt = \omega A \cos(\omega t + \phi)$$

$$a = dv/dt = d^2x/dt^2 = -\omega^2 A\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi)$$

$$a = -\omega^2 A\,\mathrm{sen}(\omega t + \phi) = -\omega^2 x$$

Quindi ho che soddisfo la→

Equazione dell'oscillatore armonico →

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

Equazione oscillatore armonico

Molti fenomeni descritti dalla **legge dell' oscillatore armonico (semplice, smorzato o forzato)**

Moto di un pendolo semplice

Moto di pendolo di torsione

Circuiti elettrico

Oscillazione di liquido in un cannello

Moto di molecole

Forza elastica

La legge oraria sarà quindi:

$$x(t) = A\,sen(\omega t + \phi)$$

Oppure (equivalenti seno e coseno, cambia **φ**):

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$$

dove A è l'ampiezza di oscillazione con dimensioni lunghezza, e **φ** è la fase.

A e **φ** dipendono dalle **condizioni iniziali** del moto, **ω dalla fisica (m e k)**

T periodo → tempo per oscillazione completa di seno o coseno cioè 2π

$$\boldsymbol{(\omega(T + t) + \phi) \rightarrow (\omega t + \phi + 2\pi)}$$

$$\boldsymbol{\omega T = 2\pi \Rightarrow T = 2\pi/\omega}$$

$$\boldsymbol{T = 2\pi/\omega}$$

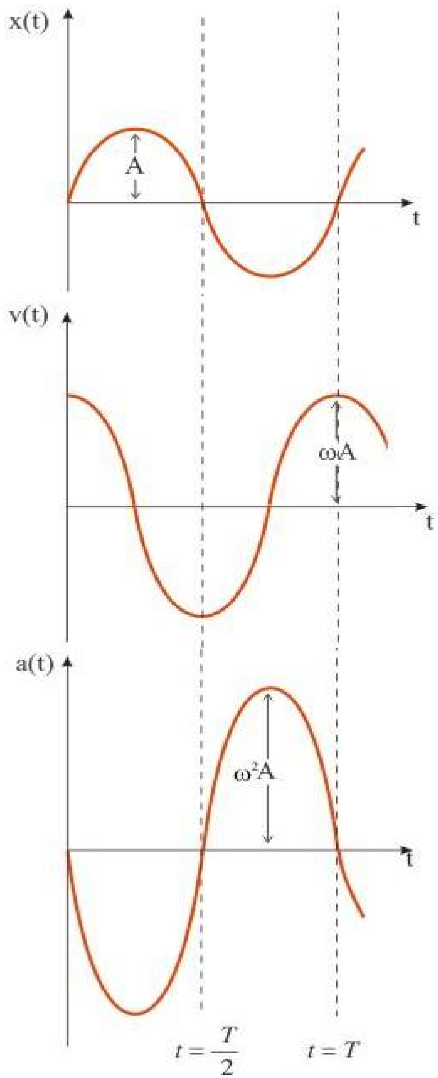
$$\nu = 1/T = \omega/2\pi$$

si osserva che:

→ nel punto di massimo allungamento e di massima compressione, **l'accelerazione è massima e la velocità è nulla** (il corpo sta infatti invertendo il verso del moto)

→ nel punto di equilibrio, **l'accelerazione è nulla e la velocità massima** (con segno + o - a seconda che la molla si stia allungando o comprimendo)

Moto Periodico



Moto periodico con pulsazione $\omega = \frac{2\pi}{T}, \varphi = 0$

$$x(t) = A\sin(\omega t)$$ **(posizione)**

$$v(t) = A\omega\cos(\omega t)$$ **(velocità)**

$$a(t) = -A\omega^2\sin(\omega t)$$ **(accelerazione)**

Moto armonico semplice

ν **è la frequenza e** ω **è la pulsazione**. E' da notare che la scelta di una funzione **seno** o di una funzione **coseno** per scrivere la legge oraria del moto è **indifferente** e dipende solo dalla scelta dell'origine degli assi. L'espressione più generale si ottiene con l'introduzione di una fase φ: $\mathbf{x = A\cos(2\pi\nu t + \varphi)}$
Le equazioni corrispondenti per la velocità e l'accelerazione sono:

$$v = -(2\pi\nu)A\mathrm{sen}(2\pi\nu t) = -\omega A\mathrm{sen}(\omega t)$$
$$a = -(2\pi\nu)^2 A\cos(2\pi\nu t) = -\omega^2 A\cos(\omega t) = -\omega^2 x$$

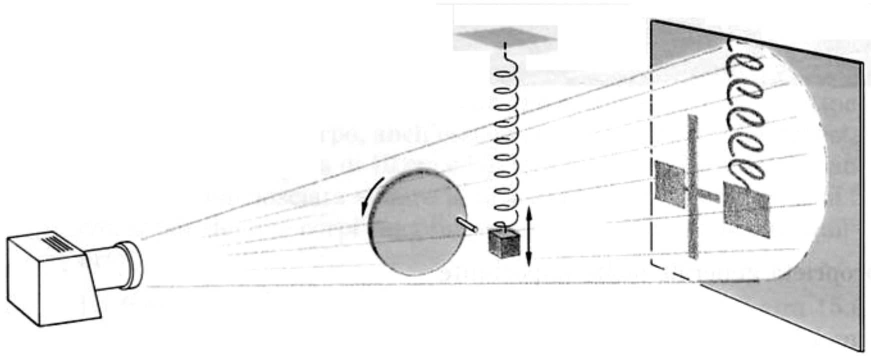
Abbiamo trovato che **l'accelerazione risulta essere proporzionale allo spostamento e di segno opposto**; come abbiamo già osservato in precedenza questa è una caratteristica generale del moto armonico semplice. La **frequenza** dell'oscillazione è legata alla costante elastica della molla **k** e alla massa **m** (cioè è **legata alla fisica** del processo) dalla relazione:

$$(2\pi\nu)^2 = \omega^2 = \frac{k}{m} \rightarrow \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Moto armonico semplice e moto circolare

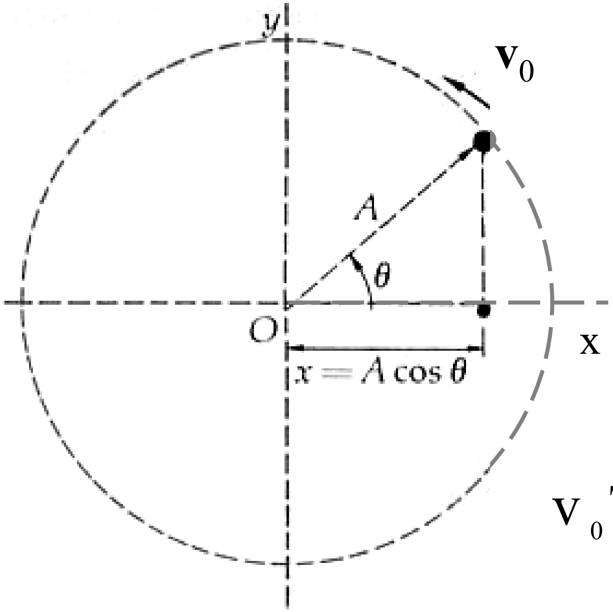
Esiste una relazione semplice, ma importante, tra il moto armonico semplice e il moto circolare con velocità di modulo costante.

La figura mostra uno spinotto sul bordo di una piattaforma girevole e un corpo sospeso ad una molla. L'ombra dello spinotto e quella del corpo sono proiettate su uno schermo. Se si regola il periodo di rotazione in modo che sia uguale a quello del corpo oscillante e l'ampiezza del sistema con la molla è uguale al raggio della piattaforma, le ombre si muovono insieme.



La proiezione, su una retta, della posizione di una particella che si muova di moto circolare uniforme si muove di moto armonico semplice.

Si può usare questo risultato per dedurre le equazioni per la posizione, la velocità e l'accelerazione in funzione del tempo, per il moto armonico semplice.



La figura mostra una particella che si muove lungo una circonferenza di raggio A con velocità costante v_0. Anche la sua velocità angolare ω è costante ed è legata alla velocità lineare dalla relazione $v_0 = A\omega$ Poiché la particella percorre uno spazio $2\pi A$ durante un giro, il **periodo** e la **frequenza** del moto circolare si ricavano da:

$$v_0 T = 2\pi A \rightarrow \qquad T = \frac{2\pi A}{v_0} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

Se la particella parte all'istante t = 0 sull'asse x, il suo spostamento angolare in un istante successivo è dato da $\theta = \omega t = 2\pi\nu t$.
Dalla figura si può vedere che la componente x della posizione della particella è data da:

$$\mathbf{x = A \cos\theta = A \cos 2\pi\nu t}$$

che è uguale all'espressione per il moto armonico semplice.

Energia nel moto armonico

Quando un corpo attaccato ad una molla oscilla, esso ha energia cinetica ed energia potenziale, che variano entrambe nel tempo; ma la loro somma, che è l'energia totale, è costante. Infatti

L'energia potenziale E_p di una molla di costante elastica K, allungata di un tratto x dalla posizione di equilibrio, è data dall'equazione

$E_p = ½\, kx^2 \rightarrow$ $$E_p = 1/2 kA^2 sen^2(\omega t)$$

L'energia cinetica è:

$E_c = ½\, mv^2 \rightarrow$ $$E_c = 1/2 m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t) = 1/2 kA^2 \cos^2(\omega t)$$

L'energia totale è la somma di queste due quantità:

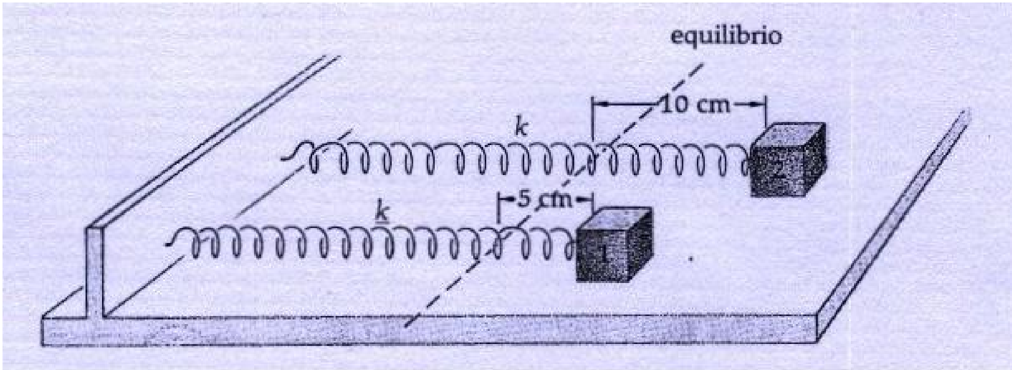
$\mathbf{E_{tot}} = ½\, kx^2 + ½\, mv^2 =$ $$E_p = 1/2 kA^2 (sen^2(\omega t) + \cos^2(\omega t))$$

$½\, k\, A^2$ infatti $sen^2 + \cos^2 = 1$

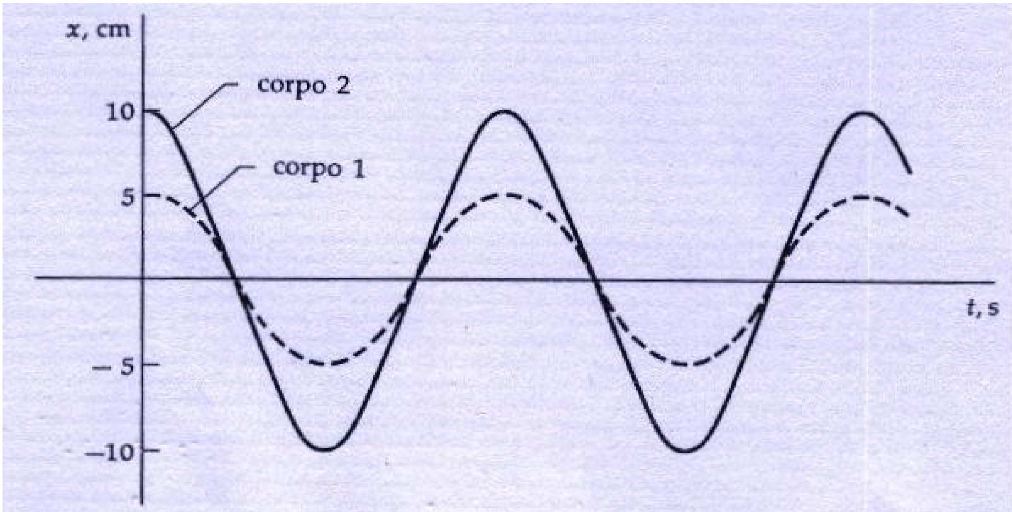
L'energia totale di un corpo che oscilla con moto armonico semplice è direttamente proporzionale al quadrato dell'ampiezza.

Moto Periodico Composto

Due corpi attaccati a molle identiche vengono lasciati andare simultaneamente. Essi raggiungono le loro posizioni di equilibrio nello stesso istante, perché il periodo dipende dalla massa e dalla costante elastica, che sono le stesse, e non dall'ampiezza.



Grafici dello spostamento In funzione del tempo per i due corpi. Le cose cambiano se le fasi iniziali non sono le stesse



Composizione di moti armonici

Se ho due moti armonici con stessa pulsazione posso scrivere la loro somma come un moto armonico di stessa pulsazione, fase diversa e ampiezza che dipende da differenza di fase :

$$x_1(t) = A_1 \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_1)$$

$$x_2(t) = A_2 \operatorname{sen}(\omega t + \varphi_2)$$

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) = A\operatorname{sen}(\omega t + \psi)$$

per dimostrarlo esplicito il seno della somma

$$x(t) = A_1(\operatorname{sen}\omega t \cdot \cos\varphi_1 + \cos\omega t \cdot \operatorname{sen}\varphi_1) +$$
$$A_2(\operatorname{sen}\omega t \cdot \cos\varphi_2 + \cos\omega t \cdot \operatorname{sen}\varphi_2)$$

Raccolgo a fattor comune

$$x(t) = (A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2)\operatorname{sen}\omega t + (A_1\operatorname{sen}\varphi_1 + A_2\operatorname{sen}\varphi_2)\cos\omega t$$

Composizione di moti armonici

Se pongo

$$A\cos\psi = (A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2)$$

$$A\,\mathrm{sen}\,\psi = (A_1\mathrm{sen}\,\varphi_1 + A_2\mathrm{sen}\,\varphi_2)$$

Quadrando e sommando ottengo

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

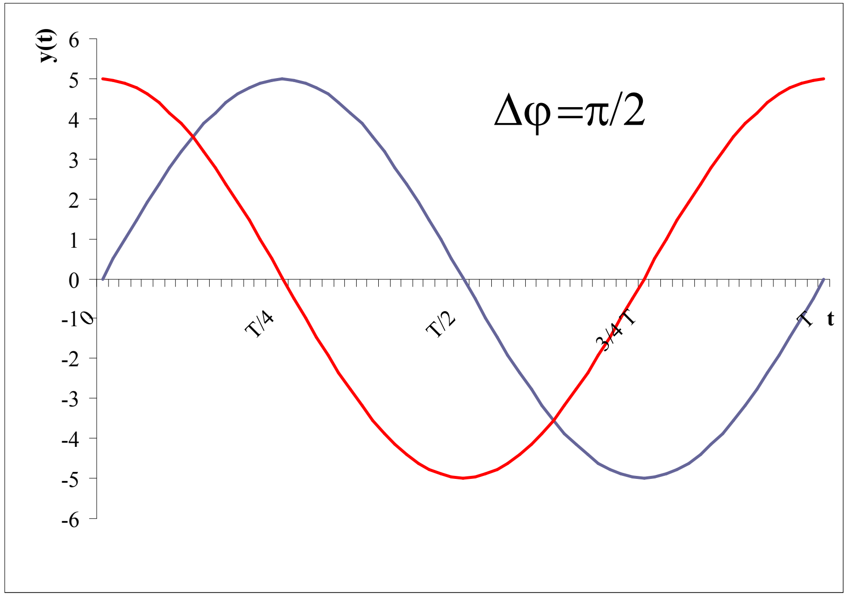
A è massima se i moti hanno stessa fase , minima se fasi differiscono di π

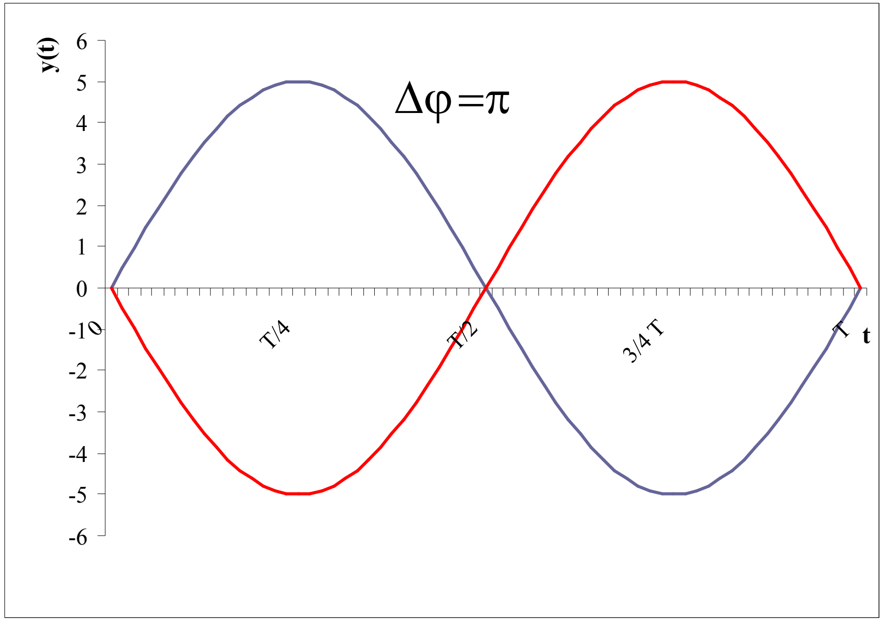
$$\mathrm{tg}\,\psi = \frac{A_1\mathrm{sen}\,\varphi_1 + A_2\mathrm{sen}\,\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

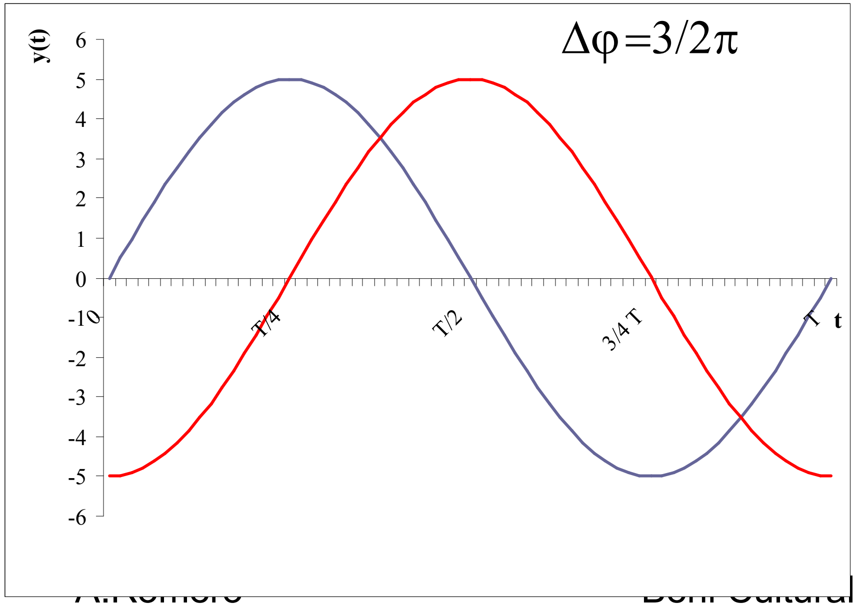
Ottengo un moto armonico con ampiezza dipendente da fase

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) = A\,\mathrm{sen}\,(\omega t + \psi)$$

Differenza di fase di onde sinusoidali





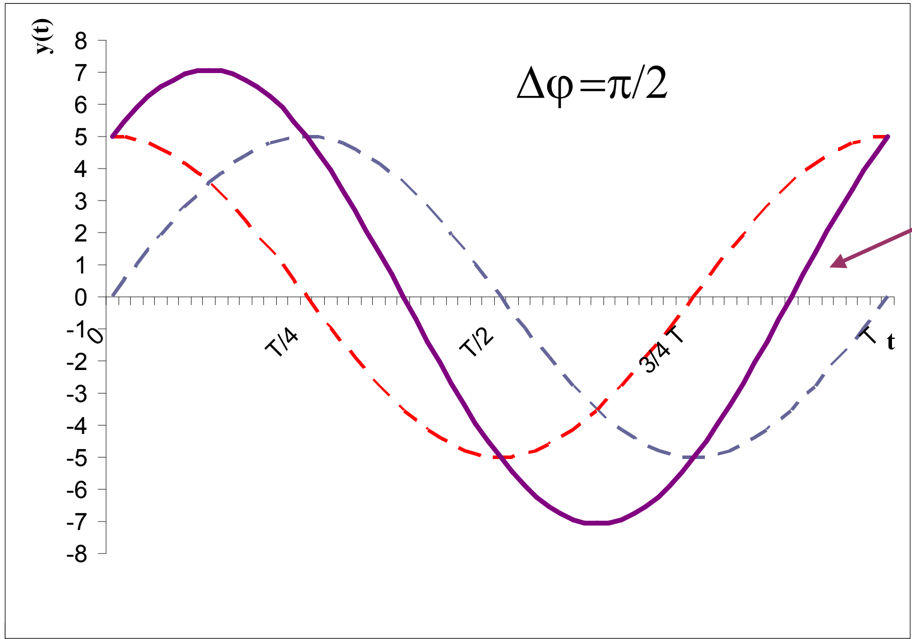


Se si considerano due segnali sinusoidali aventi la **stessa pulsazioni**, si può poi parlare di **differenza di fase** tra loro **Δφ** o **sfasamento.**

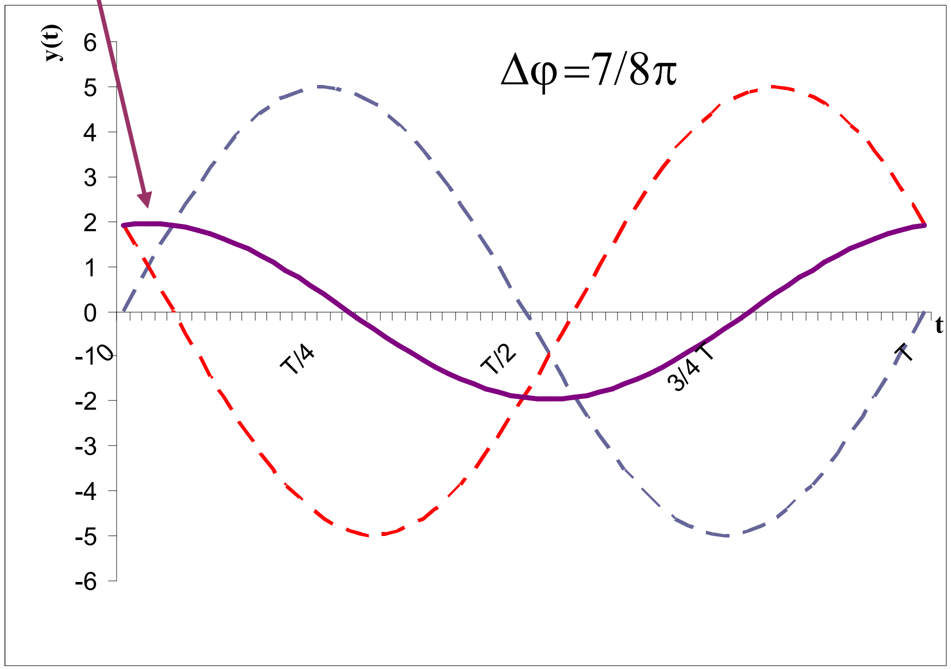
$$\mathbf{y_1(t) = A \cdot sen(\omega t + \varphi_1)}$$
$$\mathbf{y_2(t) = A \cdot sen(\omega t + \varphi_2)}$$

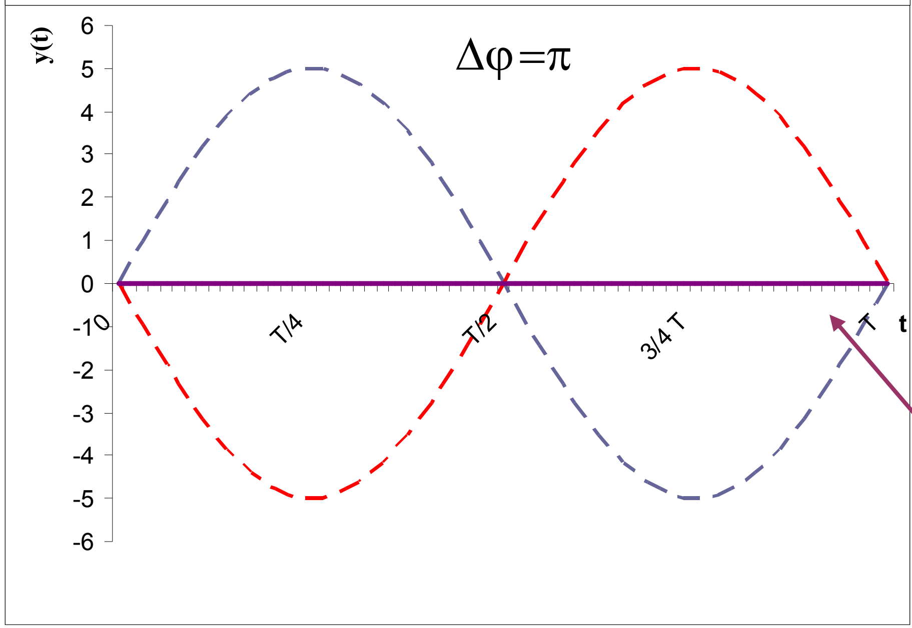
$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

Somma di due onde non in fase



Somma

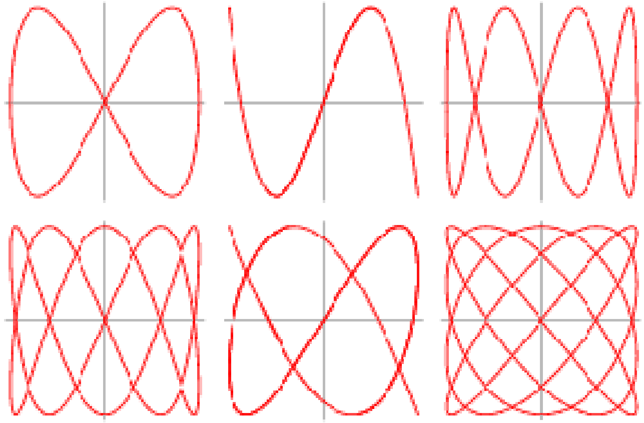




Somma

Figura di Lissajous

Una **Figura di Lissajous** è il grafico di una curva data dal sistema di equazioni parametriche:



$$\begin{cases} \mathbf{x} = \mathbf{A_x} \, \mathbf{cos}(\omega_x \mathbf{t} + \delta_x) \\ \mathbf{y} = \mathbf{A_y} \, \mathbf{cos}(\omega_y \mathbf{t} + \delta_y) \end{cases}$$

dove A_i sono le ampiezze, le ω_i le pulsazioni e le φ_i le fasi di due moti oscillatori ortogonali.

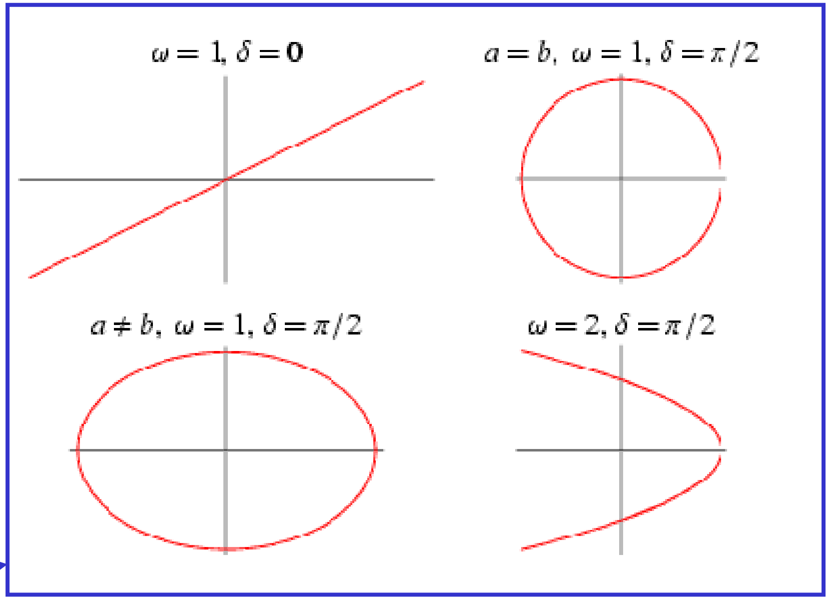
Esistono delle **figure particolari** per determinati valori del rapporto $\frac{\omega_x}{\omega_y}$ e della differenza di fase $\Delta\delta$.

Esprimendo le due equazioni come:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A_x} \, \mathbf{cos}(\omega \mathbf{t} + \delta)$$

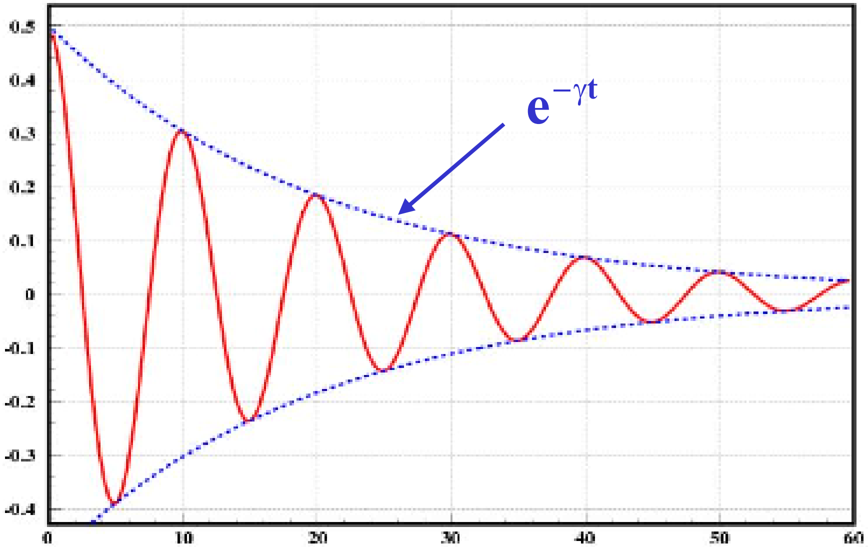
$$\mathbf{y} = \mathbf{A_y} \mathbf{sent}$$

si ottengono le figure di Lissajous qui mostrate per i diversi valori di ω e δ



Oscillatore smorzato

In presenza di forze dissipative, ad esempio l'attrito, l'ampiezza dell'oscillazione diminuisce col passare del tempo



Ad esempio, in presenza della forza di attrito dell'aria, nell'equazione della dinamica della molla compare un termine proporzionale alla velocità:

$$\frac{\mathbf{d^2x}}{\mathbf{dx^2}} + 2\gamma\frac{\mathbf{dx}}{\mathbf{dt}} + \omega^2\mathbf{x} = 0 \qquad \Rightarrow \qquad \mathbf{x(t) = Ae^{-\gamma t}sen(\omega t + \varphi)}$$

Indice smorzamento $\quad F_{attrito}$

Oscillatore forzato

Se il sistema non è libero ma è forzato da una sollecitazione esterna sinusoidale $F=F_0 sen(\omega_2 t)$, l'equazione del moto diviene:

$$\frac{d^2x}{dx^2} + 2\gamma\frac{dx}{dt} + \omega_1{}^2 x = \frac{F_0}{m} sen(\omega_2 t)$$

Il moto totale è la somma di due moti relativi: uno oscillante smorzato con una certa pulsazione $\boldsymbol{\omega_1}$ (quella dell'oscillatore smorzato) ed uno oscillante di ampiezza costante alla pulsazione propria della forza esterna ω_2.

Il sistema ha dunque un **transiente oscillante iniziale che svanisce esponenzialmente** col tempo, lasciando il posto ad **un'oscillazione pura ad ampiezza costante**; questa oscillazione è determinata essenzialmente dalla forza esterna, e presenta uno sfasamento con essa.

Oscillatore forzato

Ad una sollecitazione esterna sinusoidale $F=F_0 sen(\omega_2 t)$, dunque il sistema risponde con uno spostamento sinusoidale:

$x(t)=Asen(\omega t+\varphi)$

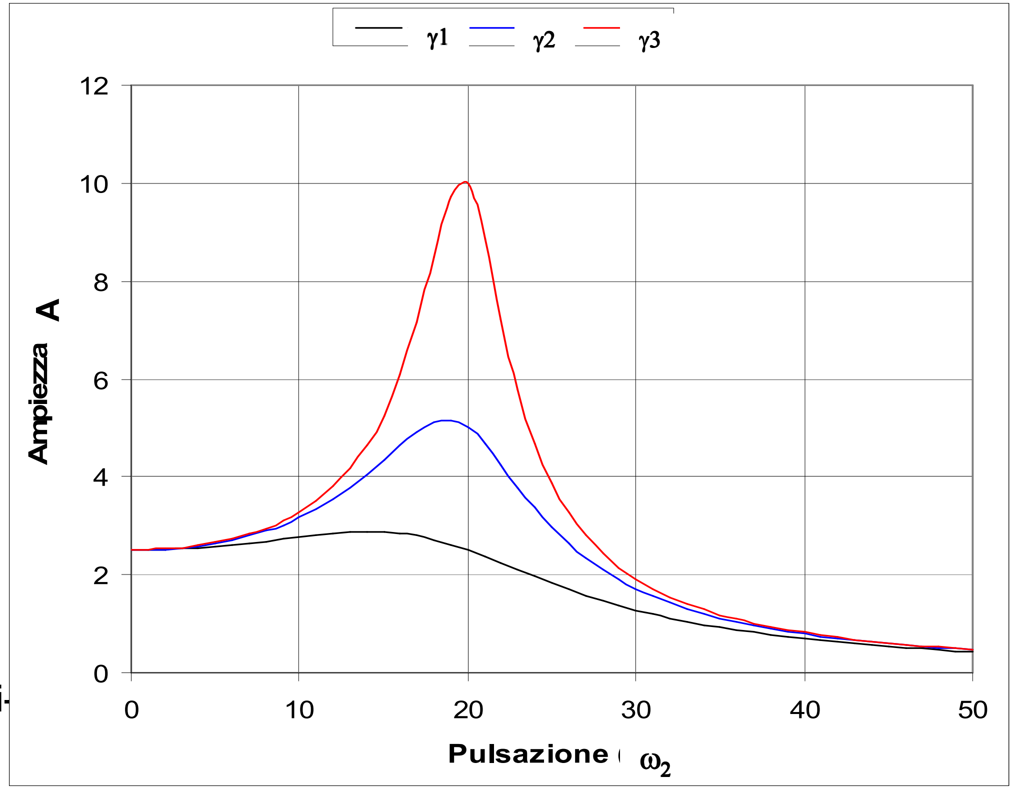
a. la **pulsazione** non è quella propria ω_1, ma pari a quella della forza esterna ω_2

b. lo spostamento è sfasato rispetto alla risposta

c. la risposta dell'oscillatore dipende dal valore di ω_2 ed in particolare dalla differenza tra ω_2 e ω_1.

d. l'ampiezza A e la fase φ della risposta dipendono dal valore ω_2

Nella figura è riportato un esempio dell'andamento di *A* in funzione di ω_2 per ω_1=20 e per tre valori diversi di γ



Onde

Trasmissione di energia e impulso
SENZA trasporto di materia
(attraverso perturbazioni)

- Corde vibranti
- Onde marine
- Suono
- Luce

Onde

ONDA*: *Perturbazione di una grandezza fisica che si propaga nello spazio.

La propagazione di onde meccaniche avviene attraverso un mezzo materiale che ne determina caratteristiche e velocità.

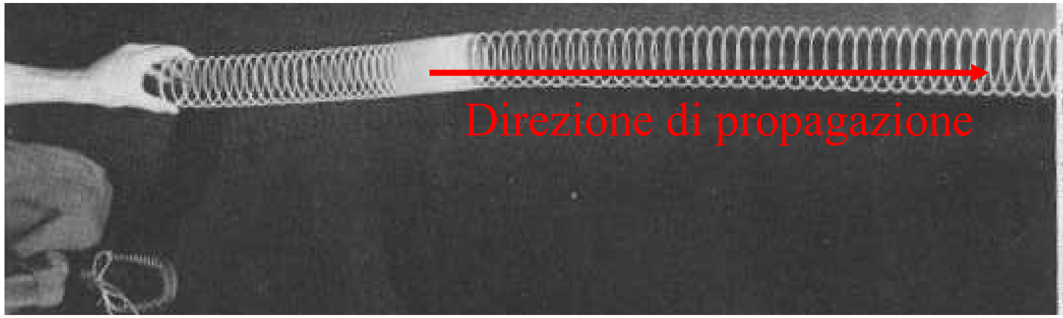
Esempi:

- Onde sulla superficie di un liquido (es. onde marine)
- Onde sonore nell'aria (suono) o in un solido
- Onde in una corda tesa

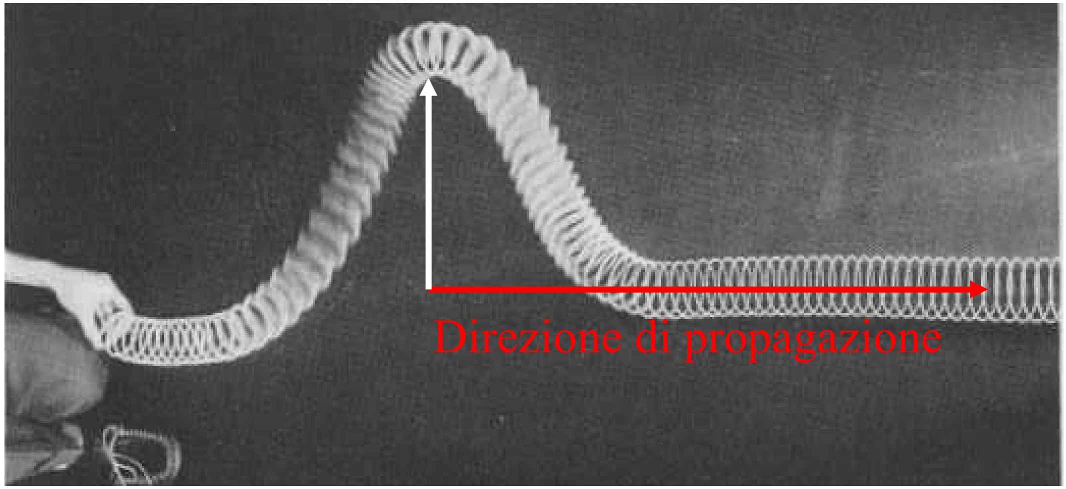
*Le **onde elettromagnetiche (es. luce, onde radio),** possono propagarsi anche nel vuoto. Si tratta sempre di perturbazioni, in questo caso del "campo elettrico" e del "campo magnetico"*

Tipi di onde

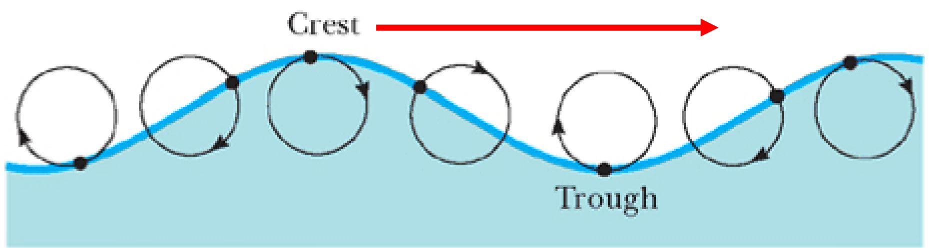
Onda longitudinale:
perturbazione lungo la direzione di propagazione
Esempio: onde sonore



Onda trasversale:
perturbazione perpendicolare alla direzione di propagazione
Esempio: corda tesa

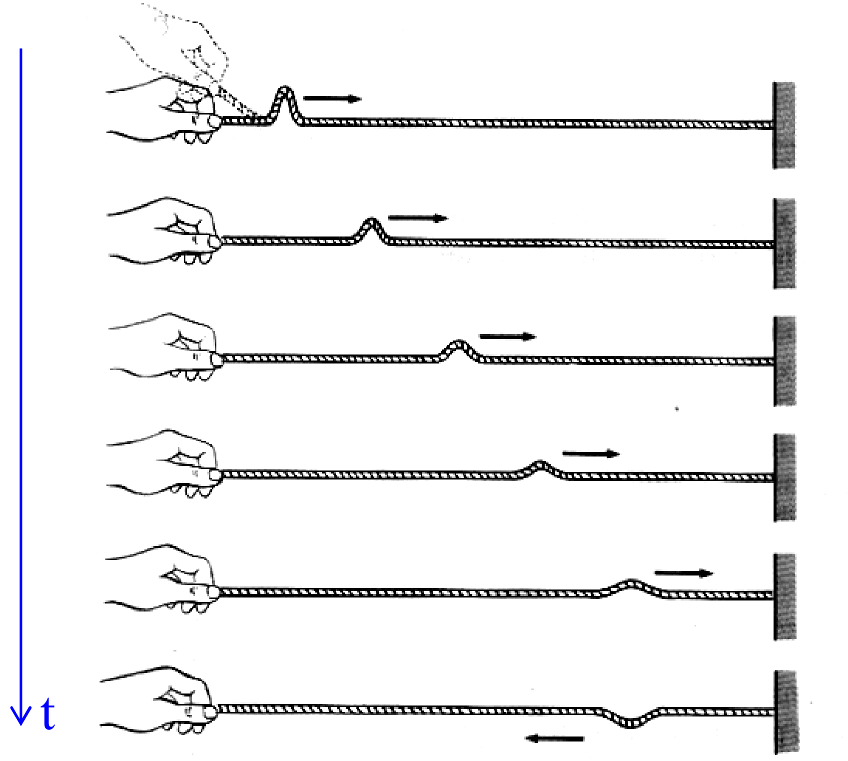


Onda sia longitudinale che trasversale (onda marina):
particelle di acqua hanno traiettoria ellittica con componente trasversale e longitudinale



Esempio: onda impulsiva in una corda tesa

Perturbazione = cambiamento di forma



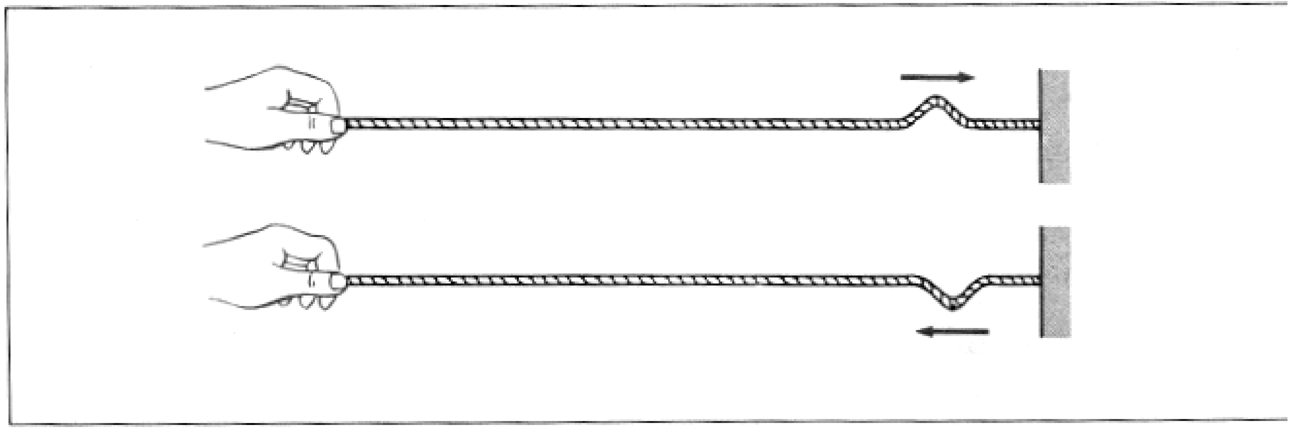
La velocità di propagazione dipende dalle proprietà del mezzo: in questo caso, dalla tensione della corda e dalla sua densità lineare:

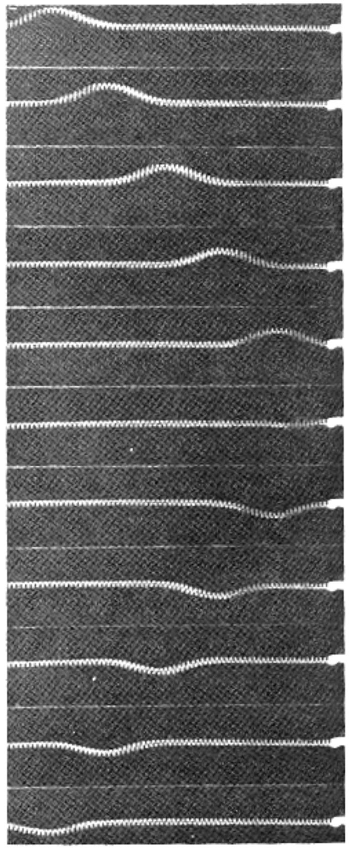
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Onda impulsiva

COSA SUCCEDE ALL'ALTRO CAPO?

ESTREMO FISSO ⇒ **RIFLESSIONE CAPOVOLTA**

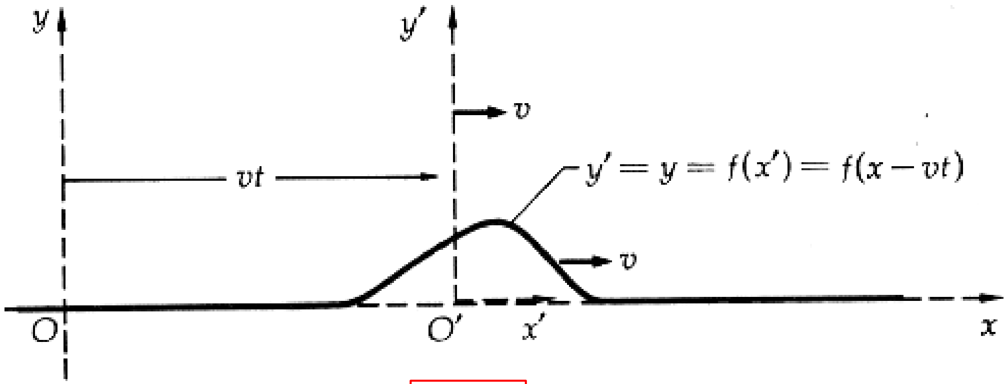




Formulazione matematica

t=0 ⇒ **y=f(x)** (profilo)

tempo t: stessa forma nel S.R. di O' ⇒ **y'=f (x')** con $\begin{cases} y' = y \\ x' = x - vt \end{cases}$



Nel S.R. di O: dato che y=y'

y = f(x-vt) funzione d'onda (propagazione verso destra)

y = f(x+vt) funzione d'onda (propagazione verso sinistra)

v = velocità di propagazione dell'onda

NON dipende dalla velocità della sorgente delle onde

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

F: Tensione della corda

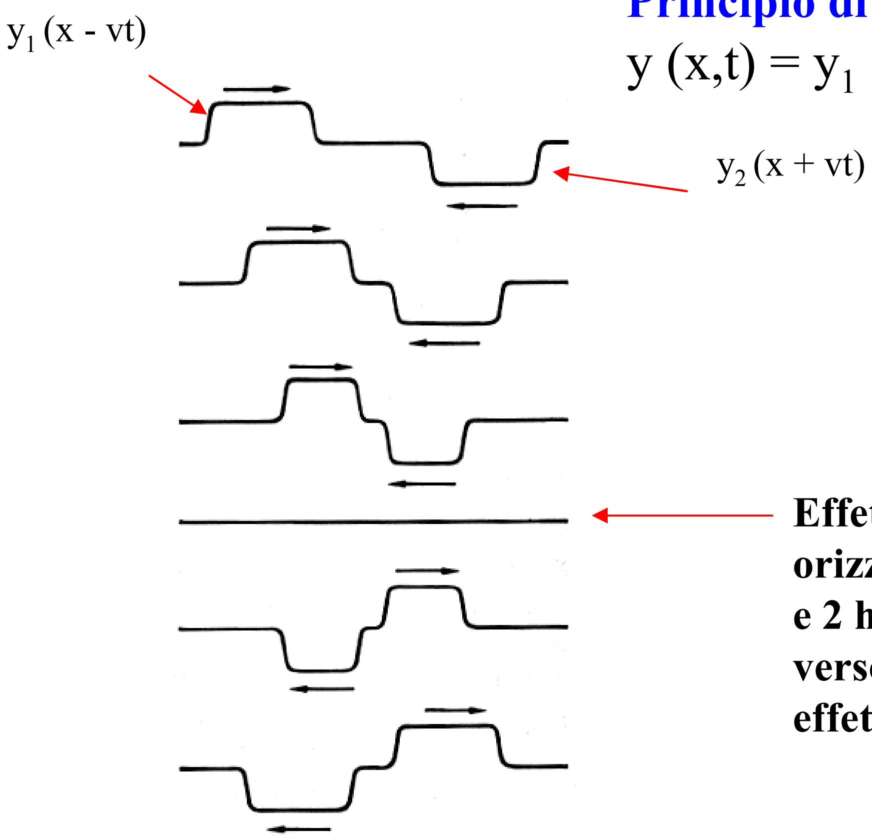
μ: Massa per unità di lunghezza

Interferenza

Dati due impulsi 1 e 2 che si muovono in direzioni opposte ad es. su una corda. La forma della corda è data dalla somma è delle due onde componenti. Ho interferenza.

Principio di sovrapposizione:

$$y\,(x,t) = y_1\,(x - vt) + y_2\,(x + vt)$$



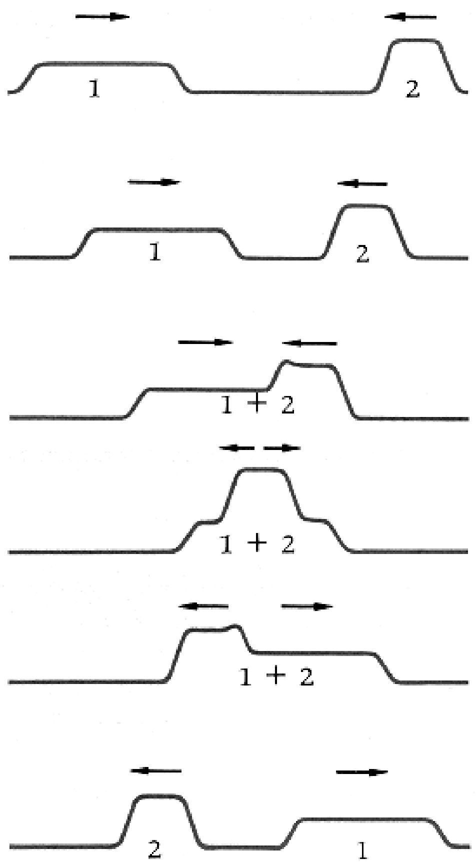
Se una è capovolta rispetto all'altra

Effetto di interferenza è distruttiva → corda orizzontale, ma non a riposo. Elisione si ha se le 1 e 2 hanno stessa ampiezza .Se 1 e 2 sono in stesso verso interferenza e non sfasate è costruttiva effetto si amplifica

Interferenza

Interferenza = Caratteristica particolare delle Onde
(Particelle non si sovrappongono)

DISTRUTTIVA (vedi esempio precedente)



COSTRUTTIVA (vedi figura a lato)

Onde Armoniche

Se la funzione f(x - vt) è un seno o un coseno ho onda armonica →
k = numero d'onda

$$y(x,t) = y_0 \operatorname{sen} k(x - vt)$$

$$y(x,t) = y_0 \operatorname{sen}(kx - kvt)$$

Significato di **k:**

x → x + λ ; nulla cambia se **k λ = 2π** → **k = 2π/ λ**

Significato di **v :**

t → t + T ; nulla cambia se **kv T = 2π** → **k v= 2π/ T = ω** (frequenza angolare)

$$\boxed{y(x,t) = y_0 \operatorname{sen}(kx - \omega t)}$$

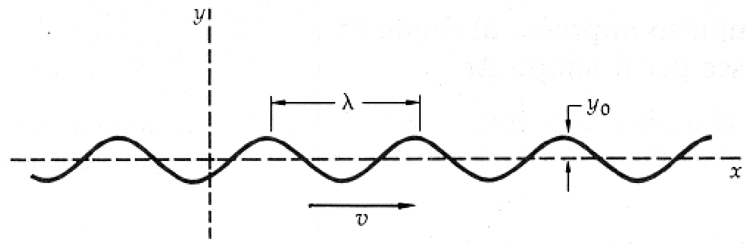
Forma finale

a x fisso: $y = y_0 \sin(\text{cost.} - \omega t)$ (**Moto Armonico)**

a t fisso: $y = y_0 \sin(k x - \text{cost.})$ (**Profilo sinusoidale)**

Onde Armoniche

Moto Armonico ad una estremità della corda→



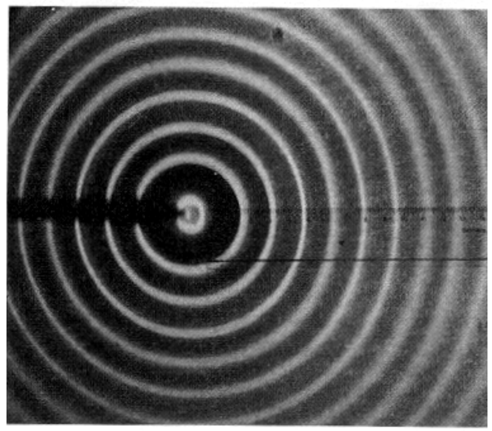
AMPIEZZA: y_0 (A del moto armonico)
PERIODO: T
LUNGHEZZA D'ONDA λ: percorso fatto in T
FREQUENZA: $\nu = 1/T$

$\lambda = vT \rightarrow \lambda = v/\nu$

Fronti d'onda

Fronti d'onda : insieme di tutte le posizioni dello spazio in cui il moto ha la stessa fase

In 1D(imensione): sono punti
In 2D(imensioni) sono circonferenze

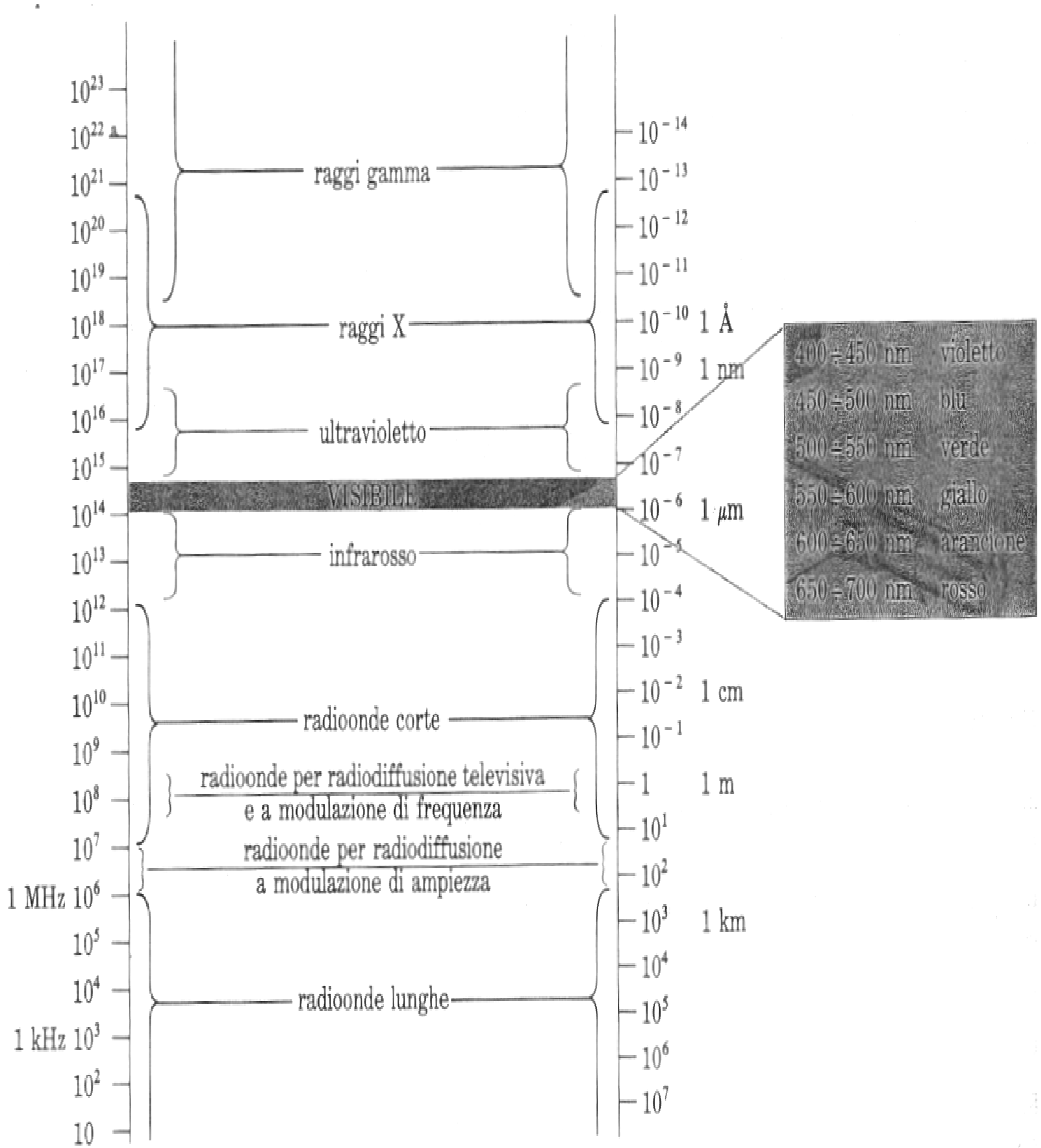


Esempio: effetto di sasso gettato in un lago

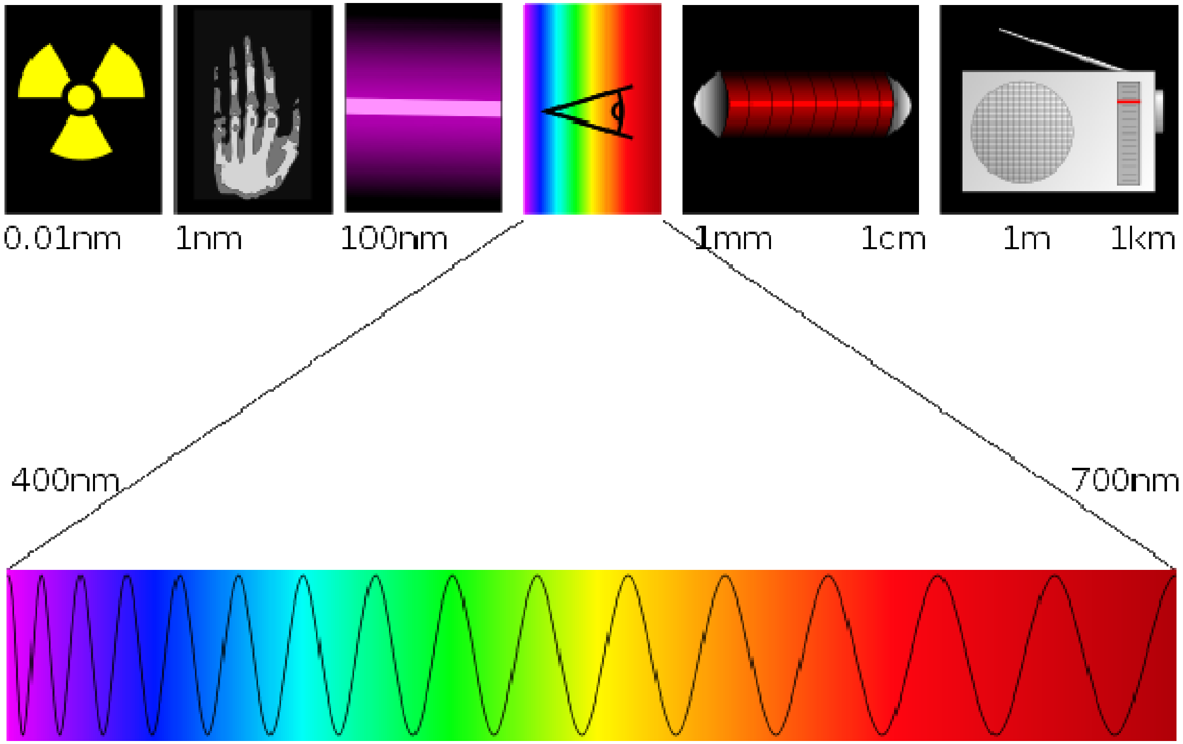
In 3D sono superfici sferiche

Spettro Elettromagnetico

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$



A.Romero



Viola **ha λ tra** **420 e 380 10^{-9} m**

ν **tra *7,89*** e **7,14 10^{14} Hz**

Rosso ha λ tra **630 e 760 10^{-9} m**

ν **tra *4,76* e *3,95* 10^{14} Hz**

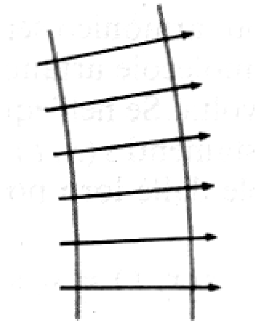
Spettro visibile

- Lo **spettro visibile** (o **spettro ottico**) è la parte dello spettro elettromagnetico che cade tra il rosso e il violetto includendo tutti i colori percepibili dall'occhio umano.
- La lunghezza d'onda λ della luce visibile nell'aria va indicativamente dai 380 ai 750 nm le lunghezze d'onda corrispondenti in altri mezzi, come l'acqua, diminuiscono proporzionalmente all'indice di rifrazione. In termini di frequenze, lo spettro visibile varia tra i 400 e i 790 terahertz. La massima sensibilità dell'occhio la si ha attorno ai 555 nm (540 THz), in corrispondenza del colore verde.
- Le radiazioni con lunghezza d'onda minore (e quindi frequenza maggiore) sono gli ultravioletti, i raggi x e i raggi gamma; quelle con lunghezza maggiore (e frequenza minore) sono gli infrarossi, le microonde e le onde radio. Tutte queste radiazioni hanno la stessa natura, sono infatti tutte composte da fotoni.
- Lo spettro visibile non contiene come si può pensare *tutti* i colori che l'occhio e il cervello possono distinguere: il marrone, il rosa, il magenta, per esempio, sono assenti, in quanto si ottengono dalla sovrapposizione di diverse lunghezze d'onda.

Lunghezze d'onde e colori

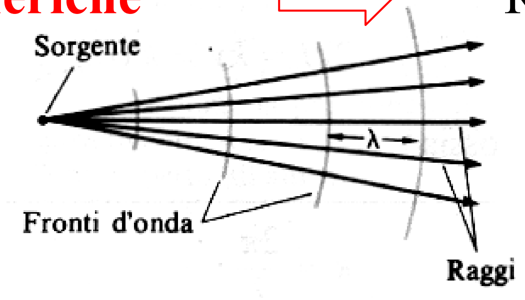
Colore	Lunghezza d'onda
Violetto	380–450 nm
Blu	450–495 nm
Verde	495–570 nm
Giallo	570–590 nm
Arancione	590–620 nm
Rosso	620–750 nm

Onde Armoniche

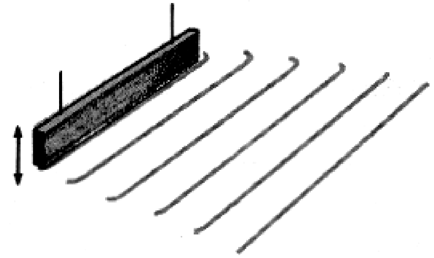


RAGGI: rette ⊥ fronti d'onda

Onde circolari o sferiche RAGGI → semirette radiali



A **grande distanza:**
Fronti d'onda sferici ≈ Fronti d'onda piani
Analogo in 2D: l'onda lineare



Onde Armoniche

Intensità energia media trasportata nell'unità di tempo attraverso l'unità di area normale alla direzione di propagazione

$$I = \frac{(\Delta E/\Delta t)_{\mathrm{media}}}{A} = \frac{P_{\mathrm{media}}}{A} \qquad (\mathrm{W/m^2})$$

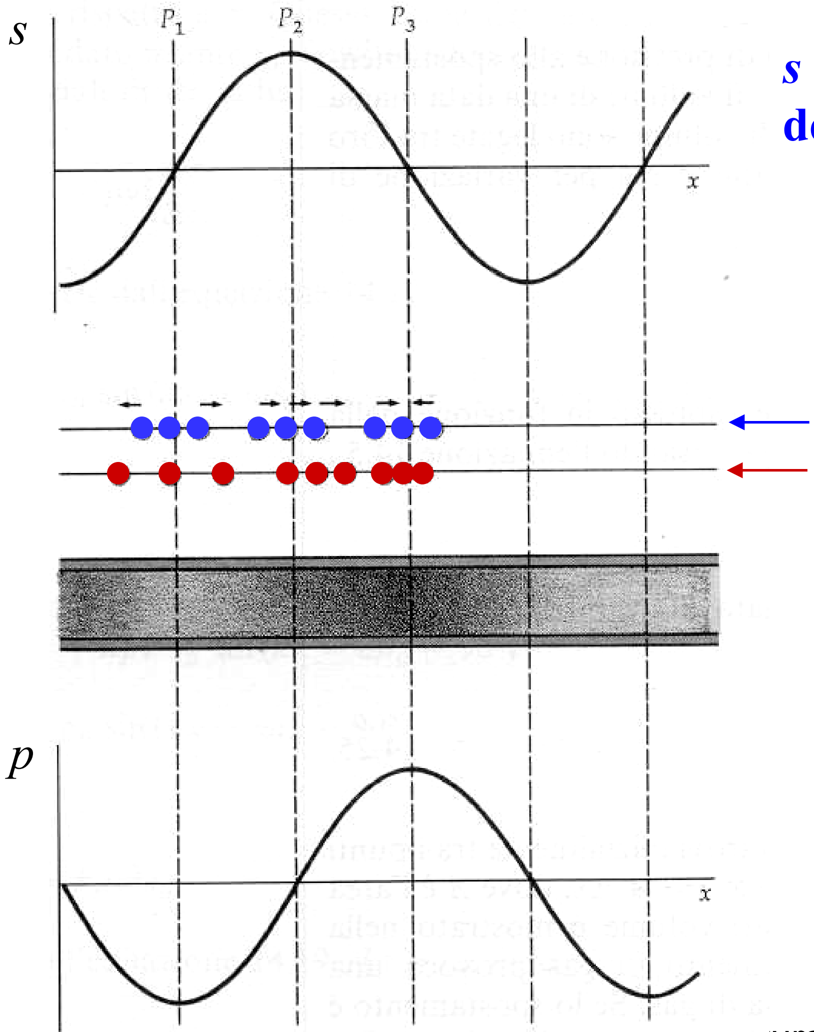
•Per sorgente puntiforme: P costante in tutte le direzioni, $A = 4\pi r^2$

$\Downarrow$

$I \propto 1/r^2$

Onde sonore armoniche

Vibrazione di un diaframma con moto armonico:



s = spostamento (longitudinale cioè sull'asse x) delle molecole d'aria dalla posizione d'equilibrio

$$s(x,\, t) = s_0 \sin(kx - \omega t)$$

Schematizzazione:

Posizione a riposo

Effetto dello spostamento

Densità risultante

Onda di pressione sfasata di 90°

$$p = p_0 \sin(kx - \omega t - 90^o)$$

Onde sonore

Spostamento: $s(x, t) = s_0 \sin(kx - \omega t)$

Variazione della pressione rispetto all'equilibrio: $p = p_0 \sin(kx - \omega t - 90^o)$

C'è relazione: $\boxed{p_0 \propto s_0}$

$$I = \frac{1}{2}\rho\omega^2 v s_0^2$$

Intensità del suono:

$$I \propto s_0^2$$

e quindi

Soglia di udibilità: $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 ($p_0 = 2.9 \times 10^{-12}$ Pa)

Soglia del dolore: $I = 1$ W/m^2 ($p_0 = 2.9$ Pa) 1 atm= 1,01 × 10^5 Pa

Livello d'intensità (in decibel dB)

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Intensità delle onde sonore

Tabella 14.1. Intensità e livello d'intensità di alcuni suoni comuni ($I_0 = 10^{-12}$ W/m^2)

Sorgente	I/I_0	dB	Descrizione
	10^0	0	Soglia di udibilità
Respirazione normale	10^1	10	Appena udibile
Stormire di foglie	10^2	20	
Bisbiglio sommesso (a 5 m)	10^3	30	Molto silenzioso
Biblioteca	10^4	40	
Ufficio silenzioso	10^5	50	Silenzioso
Conversazione normale (a 1 m)	10^6	60	
Traffico intenso	10^7	70	
Ufficio rumoroso con macchine; fabbrica media	10^8	80	
Autocarro pesante (a 15 m); Cascate del Niagara	10^9	90	L'esposizione costante mette in pericolo l'udito
Metropolitana (vecchio modello)	10^{10}	100	
Rumore di cantiere	10^{11}	110	
Concerto rock con amplificatori (a 2 m); decollo di aviogetto (a 60 m)	10^{12}	120	Soglia del dolore
Ribaditrice pneumatica; mitragliatrice	10^{13}	130	
Decollo di un aviogetto (nelle vicinanze)	10^{15}	150	
Grande motore a razzo (nelle vicinanze)	10^{18}	180	

Esempio

- Cane abbaia con potenza 1mW. Supponendo una distribuzione uniforme di potenza quale livello di intensità sonora ho a 5 m?
- I a 5m la ottengo da $\rightarrow$ **$I=p/4\pi r^2$**
- $I=10^{-3}W/(4\pi\ 25m^{2})$ $\rightarrow 3{,}18\ 10^{-6}\ W/m^2$

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

- $\beta \rightarrow 10 \log(3{,}18\ 10^{-6} / 10^{-12})$
- $=65$ dB

Interferenza di Onde Armoniche

Onda generica.   fissiamo un punto x.:

FASE

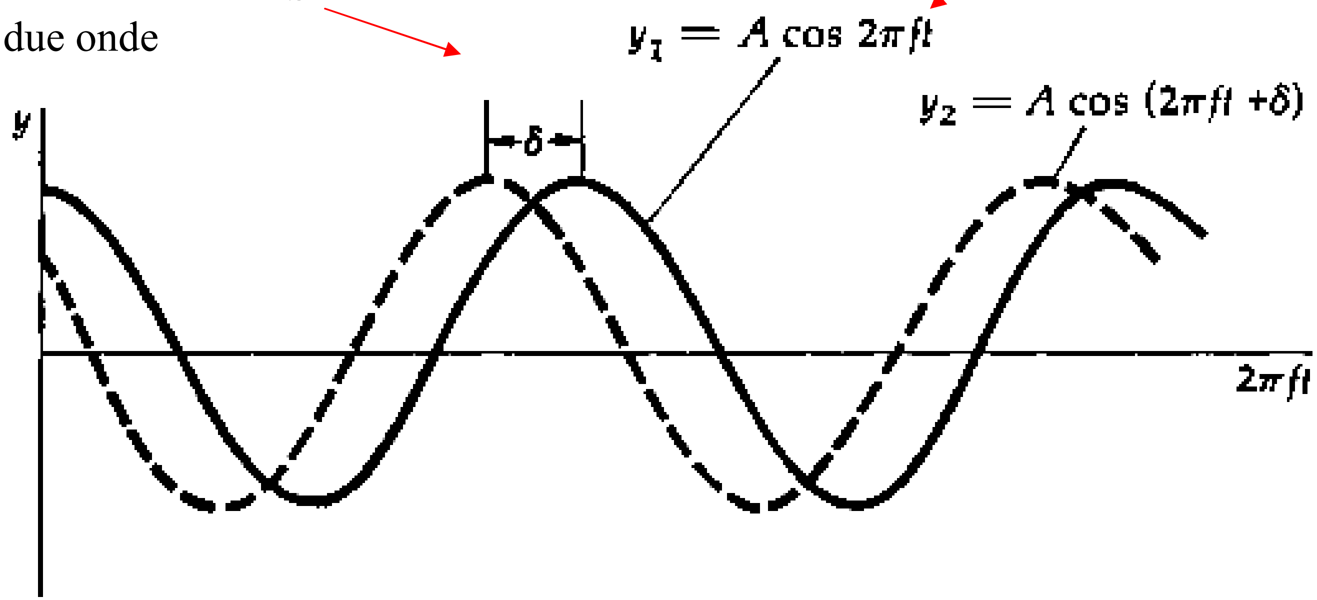
$$y_1 = A\cos 2\pi\upsilon t = A\cos\omega t$$ (moto armonico)

Scelta di fase arbitraria

In stesso punto abbiamo un'altra onda generica ma con stesso periodo insieme a quella per cui abbiamo scelto il tempo t=0: indico in figura con ***f*** la frequenza

ONDA GENERICA

DIFFERENZA DI FASE
tra le due onde



Interferenza di Onde Armoniche

INTERFERENZA ⇔ DIFFERENZA DI FASE

Nel tempo:

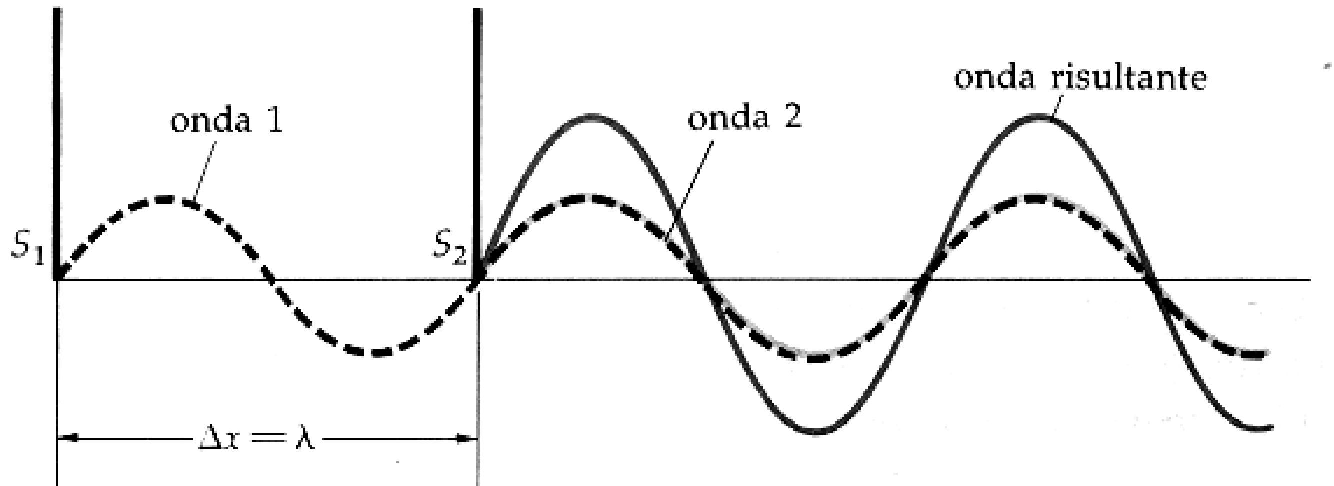
$\delta = 0$ (oppure $2n\pi$) ⇒ INTERF. COSTRUTTIVA

$\delta = \pi$ (oppure $(2n+1)\pi$) ⇒ INTERF. DISTRUTTIVA

Nello spazio:

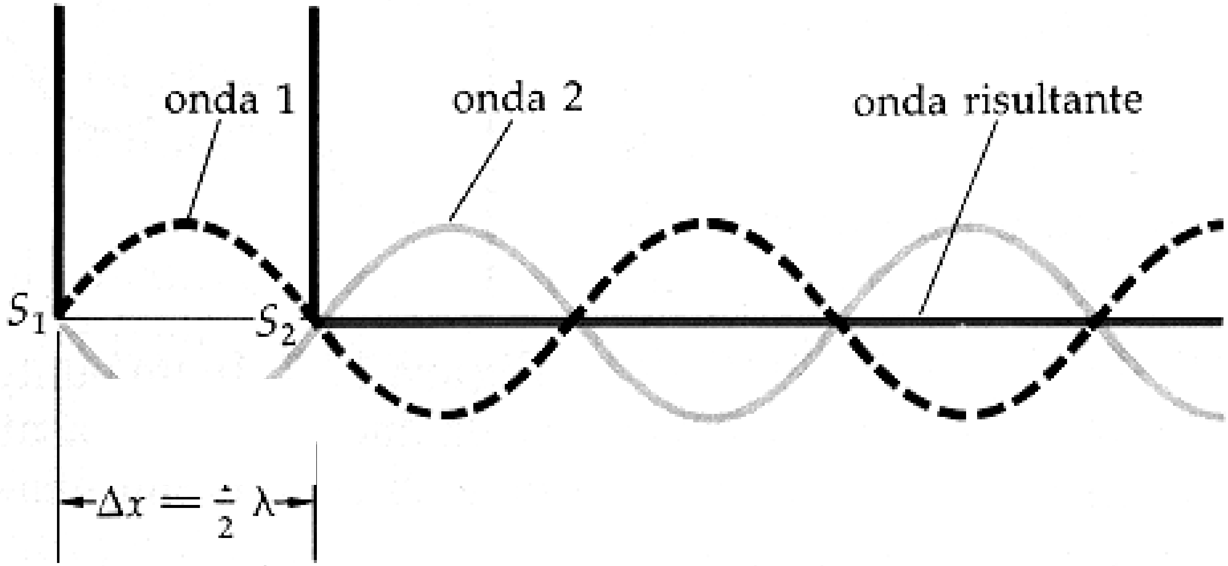
$\Delta x = \lambda$ (oppure $n\,\lambda$) ⇒ INTERF. COSTRUTTIVA

$\Delta x = \lambda/2$ (oppure $(2n+1)\,\lambda/2$) ⇒ INTERF. DISTRUTTIVA



Interferenza di Onde Armoniche

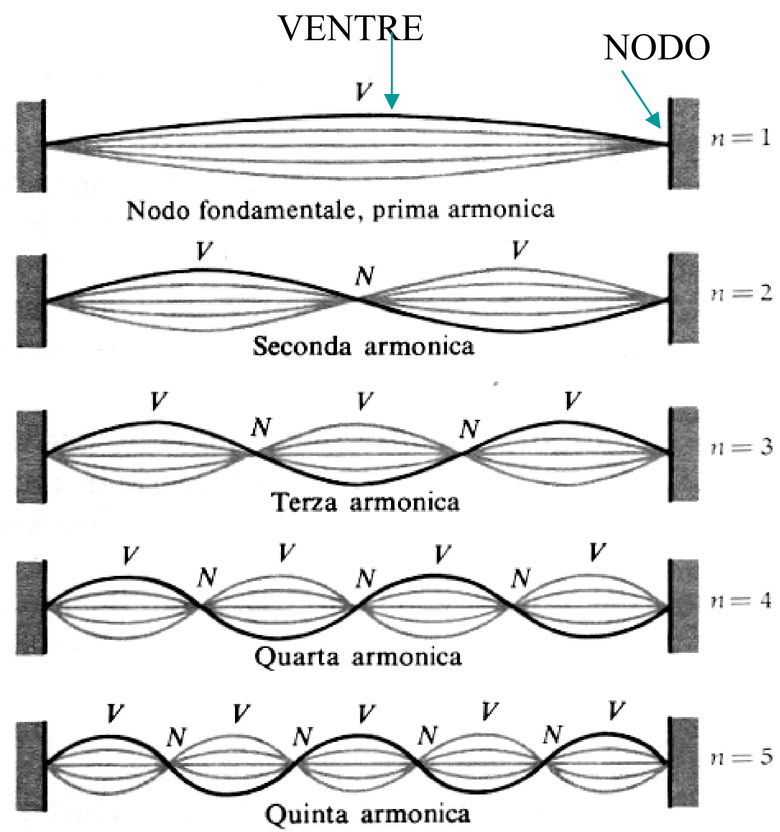
•$\Delta x = \lambda/2$ (oppure $(2n+1)\ \lambda/2$) $\Longrightarrow$ **INTERF. DISTRUTTIVA**



RELAZIONE DIFFERENZA DI FASE $\Longleftrightarrow$ DIFFERENZA DI CAMMINO

$$\delta = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda}$$

Onde stazionarie



Frequenze di risonanza:

$$L = n\frac{\lambda}{2} = n\frac{vT}{2} = n\frac{v}{2\nu}$$

$$\nu = n\frac{v}{2L} = n\nu_1$$

Serie armonica (multipla della frequenza fondamentale)