Fenomeni ondulatori

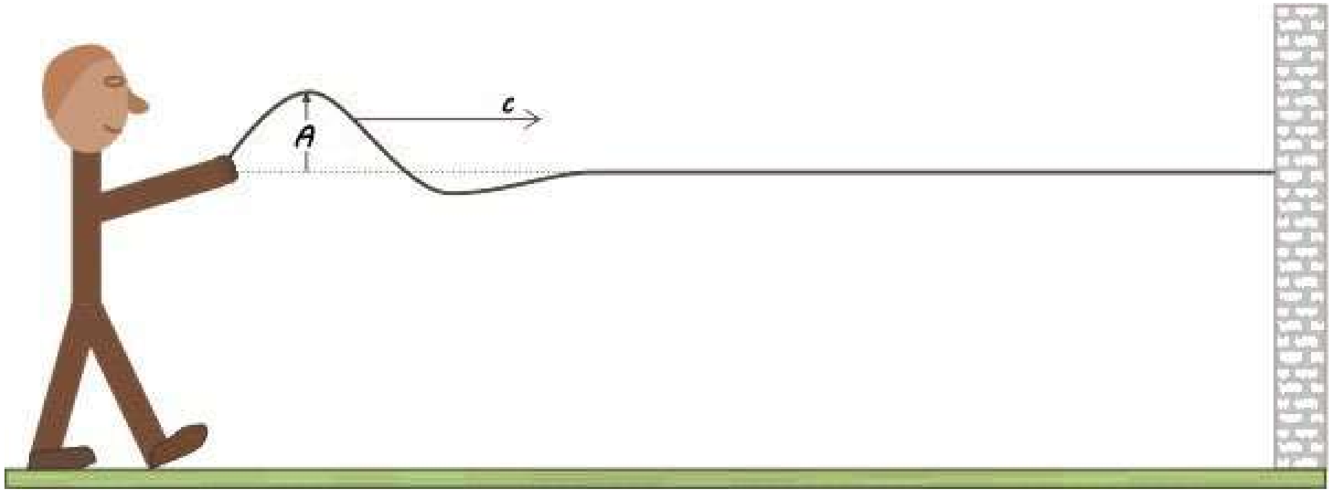
I fenomeni ondulatori hanno caratteristiche ricorsivo-periodiche: onde sonore, radiazioni luminose, onde del mare, onde sismiche, sono tutti fenomeni oscillatori-ondulatori.

Tutti questi fenomeni sono accomunati da una *comune trattazione matematica*.

La propagazione ondosa avviene senza spostamento di materia.

ONDE TRASVERSALI

L'oscillazione avviene perpendicolarmente alla direzione di propagazione, come ad esempio una corda che vibra.

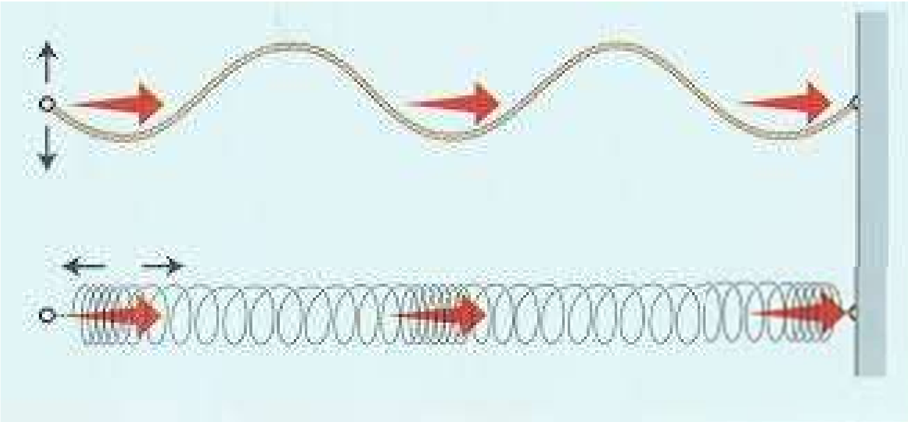


Si ha lo stesso per le onde del mare, sulla superficie di separazione acqua-aria, per le onde luminose, per le onde sulla membrana di un tamburo.

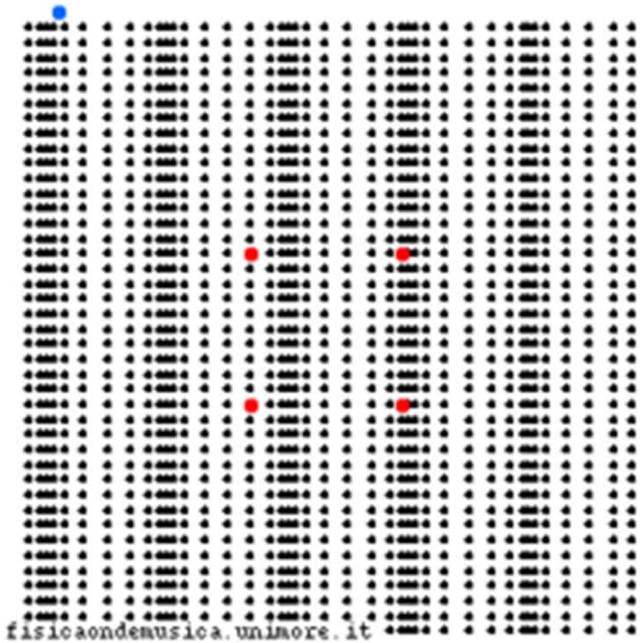
Onde trasversali e longitudinali

ONDE LONGITUDINALI

L'oscillazione è parallela alla direzione di propagazione, ad esempio le onde sonore.

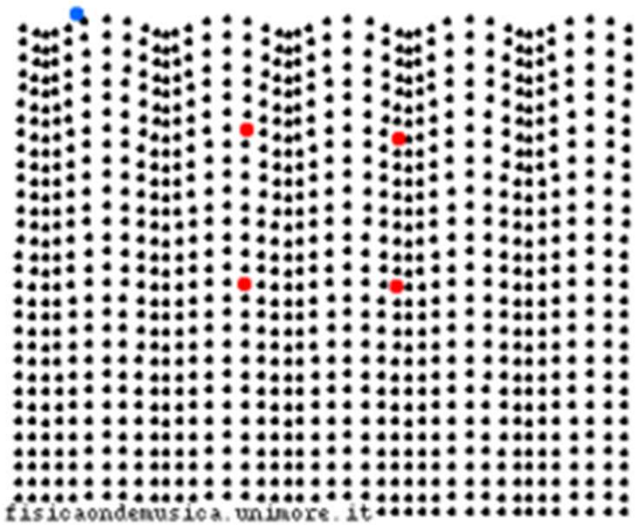


Il suono è una variazione periodica della densità dell'aria. La modulazione della densità (della pressione) avviene nella stessa direzione della propagazione



ONDE TRASVERSALI

L'oscillazione è perpendicolare alla direzione di propagazione, ad esempio le onde del mare.



Segnale ondoso e grandezze dei fenomeni ondulatori

GRANDEZZE DEI FENOMENI ONDULATORI

T = periodo temporale dell'onda
λ = lunghezza d'onda = periodo spaziale
ν = frequenza = 1/T
ω = pulsazione = 2 π ν

Il **SEGNALE ONDOSO S** si può descrivere come dipendente dal tempo:

$$S(t) = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \phi\right)$$

S dipende dal **tempo *t***.
A = ampiezza massima dell'oscillazione
ϕ = angolo di fase iniziale

Il **SEGNALE ONDOSO S** si può descrivere come dipendente dallo spazio (*x* direzione di propagazione):

$$S(x) = A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} + \phi\right)$$

Forma d'onda

In generale S dipende sia da *t* che da *x*:

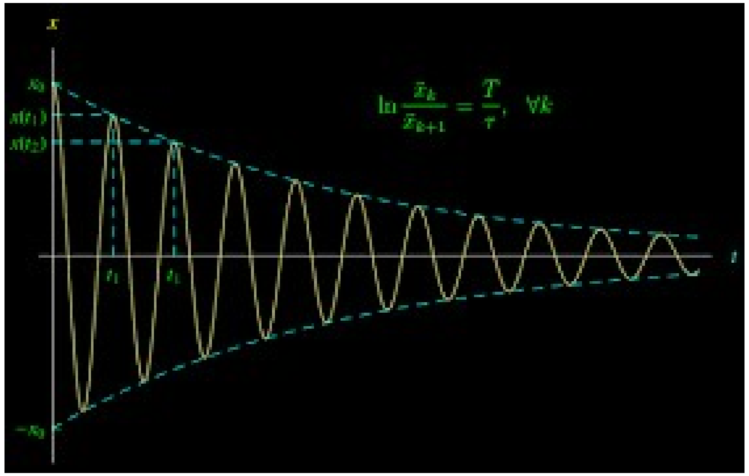
$$S(x,t) = A \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right) + \phi\right]$$

Come in tutti i fenomeni oscillatori (ad esempio l'energia potenziale in una molla, $E = \frac{1}{2}k\Delta x^2$) l'energia di oscillazione è proporzionale al quadrato dell'ampiezza massima:

$$E = \frac{1}{2}KA^2$$

K = costante di proporzionalità

I moti oscillatori reali e non ideali sono smorzati per effetti dissipativi



MOTO OSCILLATORIO SMORZATO

Fronte d'onda

È il luogo geometrico dei punti che hanno la stessa fase. Quindi:

$$2\,\pi\left[\left(\frac{t}{T}+\frac{x}{\lambda}\right)+\phi\right]=cost$$

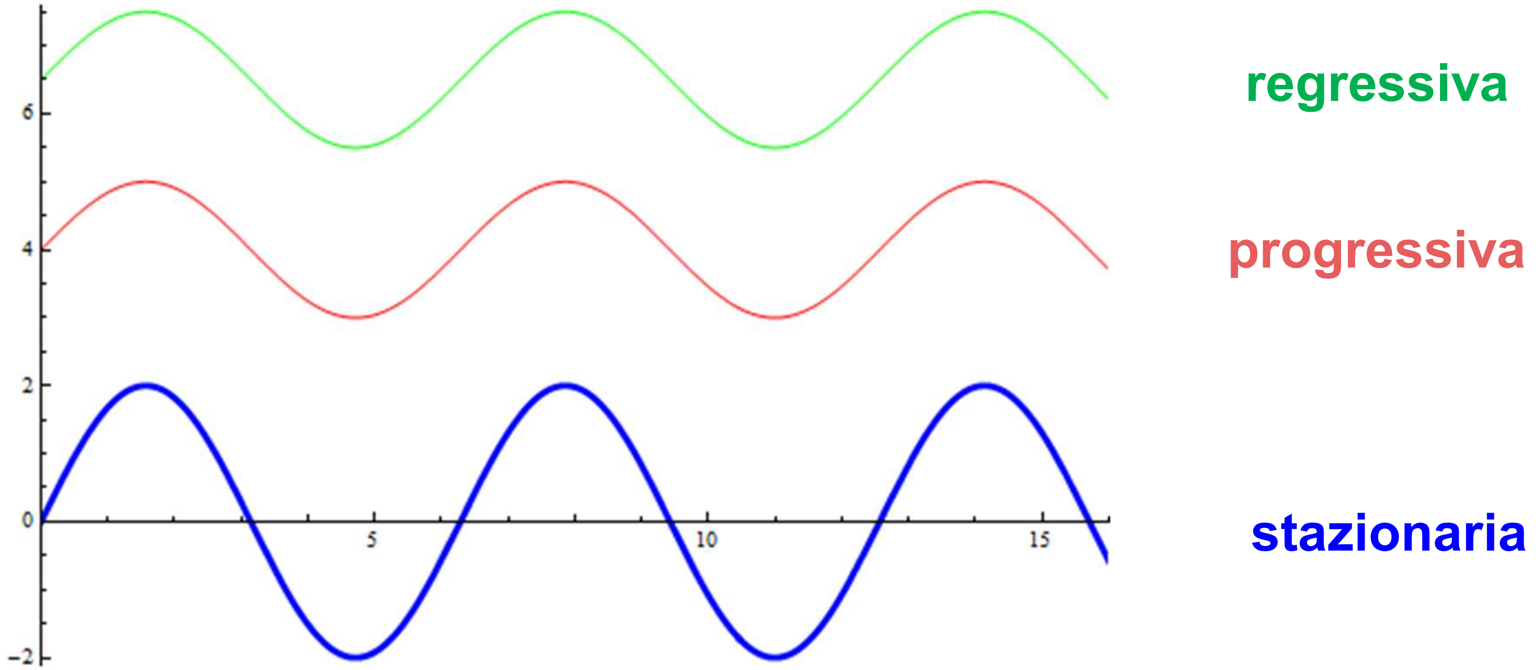
E' una relazione che individua il fronte d'onda, che dipende sia da *x* che da *t*. Questa equazione individua un piano (onde piane) nello spazio perpendicolare all'asse *x* (quindi parallelo a y-z) che si sposta traslando con velocità, *V*. Troviamo *V*.

$$x=\left[\frac{cost}{2\pi}-\phi-t/T\right]\lambda=cost'-t\cdot\frac{\lambda}{T}$$

$$\boxed{V=\frac{\lambda}{T}=\nu\cdot\lambda}$$

In questo caso la direzione di propagazione opposta all'orientazione dell'asse *x* (onda regressiva). Si tratta di un'onda piana perché il fronte d'onda è un piano. Si trova una relazione generale valida per tutte le onde: la velocità di propagazione è sempre il prodotto della frequenza per la lunghezza d'onda.

Onde progressive, regressive e… stazionarie



https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.lorenzoroi.net%2Fonde%2F&psig=AOvVaw0kwcI9a3BRnKMaXESKopYa&ust=1634986891105000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCKigjofv3fMCFQAAAAAdAAAAABAJ

Vedremo poi più in dettaglio le onde stazionarie: come ottenerle, cosa significano, la loro forma analitica e quando si usano.

Onde sferiche

Più in generale le sorgenti delle onde sono sempre confinate per motivi fisici, quindi a grandi distanza le onde appaiono in generale come sferiche. Per queste il fronte d'onda è una sfera:

$$\boxed{S\,(r,t) = \frac{A_0}{r}\sin\left[\,2\,\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{r}{\lambda}\right) + \phi\right]}$$

L'ampiezza dell'onda decade con l'aumentare della distanza dalla sorgente:

$$\boxed{A\,(r) = \frac{A_0}{r}}$$

Ciò comporta che l'energia portata dall'onda si conservi durante la propagazione. Infatti, la densità di energia ε, ovvero l'energia per unità di superficie, è proporzionale ad A^2:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{1}{2}\,K\,\frac{{A_0}^2}{r^2}}$$

Quindi l'energia portata da un fronte d'onda che si propaga è data da:

$$\boxed{\varepsilon \cdot 4\pi r^2 = \frac{1}{2}\,K\,\frac{{A_0}^2}{r^2} \cdot 4\pi r^2 = cost.}$$

Si può dimostrare, invece, che l'onda piana porta un'energia infinita e come tale è un'onda ideale che a rigore non può esistere, ma è spesso un'ottima e semplice approssimazione.

Il fronte d'onda è: $\boxed{2\,\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{r}{\lambda} \right) + \phi = cost}$

che è l'equazione di una sfera il raggio della quale varia nel tempo:

$$\boxed{r(t) = \lambda \left(\frac{cost - \Phi}{2\pi} - \frac{t}{T} \right) = cost' - \frac{\lambda}{T} t}$$

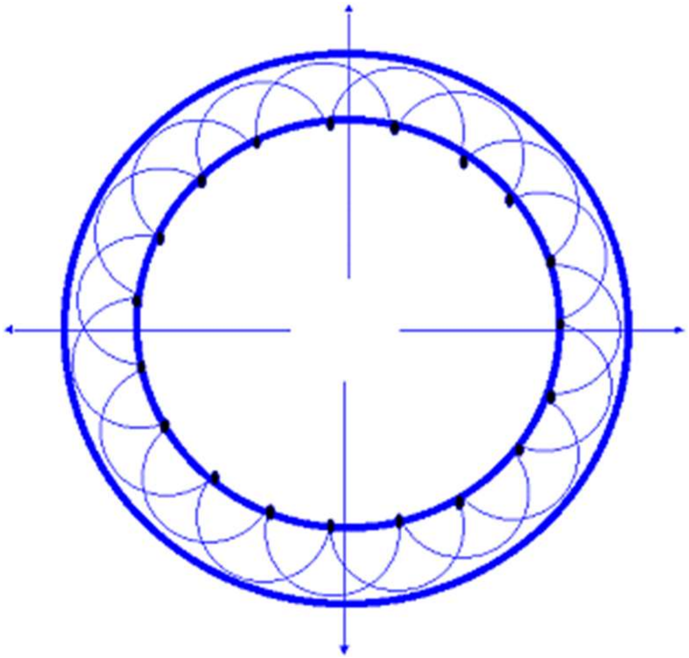
Il fronte della sfera si espande con $V = \lambda/T$

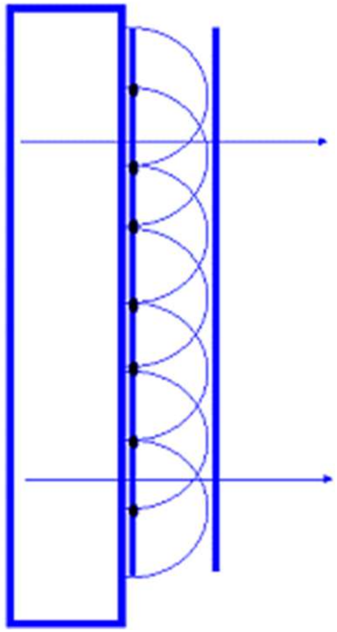
$$2\,\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{r}{\lambda} \right) + \phi = cost$$ **ONDA REGRESSIVA** (sfera si comprime)

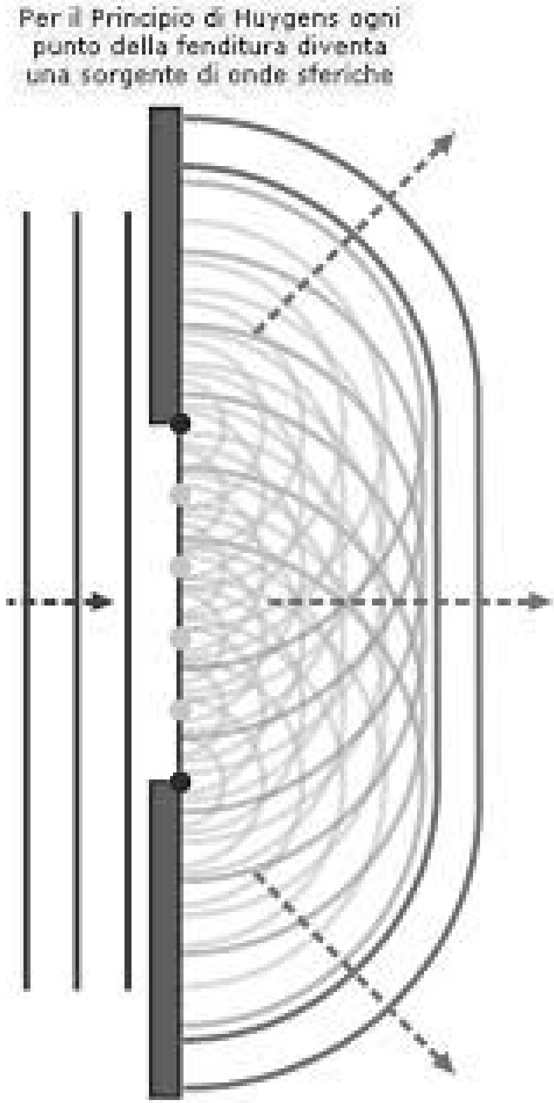
$$2\,\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right) + \phi = cost$$ **ONDA PROGRESSIVA** (sfera si espande)

Propagazione per onde e principio di Huygens

Le onde si propagano in accordo al principio di Huygens. Ogni punto del fronte d’onda diventa a sua volta una sorgente puntiforme secondaria che emette onde sferiche. L’inviluppo dei fronti d’onda secondari costituisce il fronte d’onda primario che si propaga.







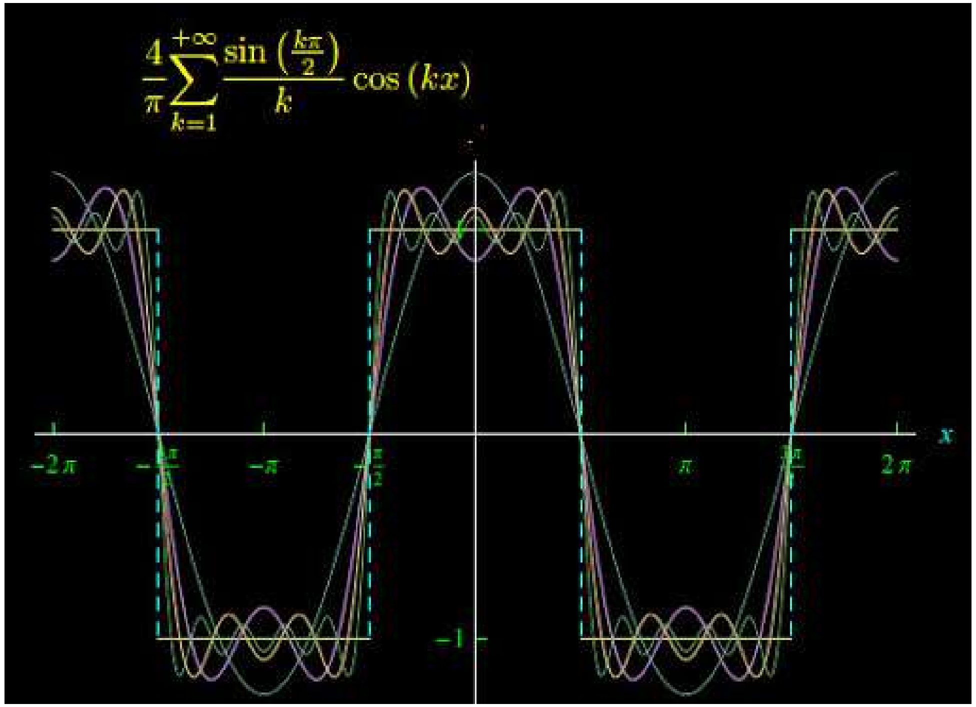
Onde monocromatiche e analisi di Fourier

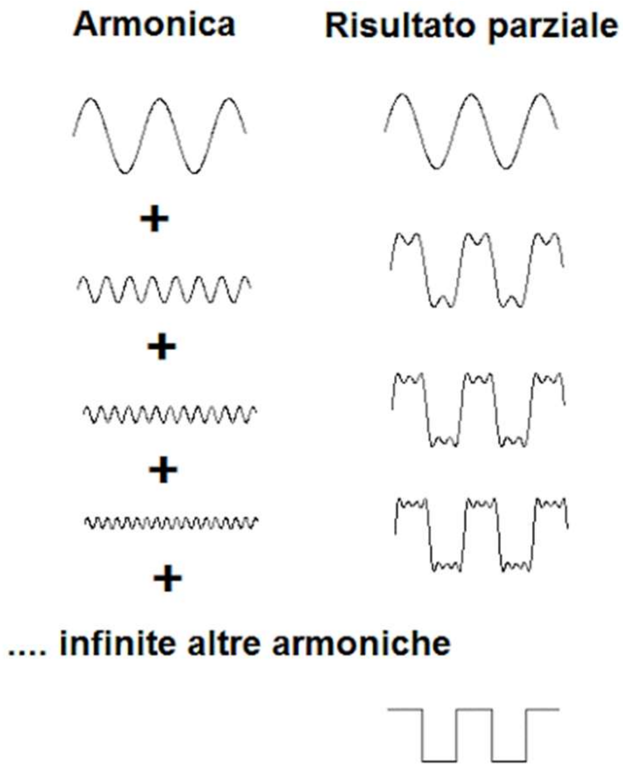
ONDE MONOCROMATICHE

Hanno un'unica frequenza. Sovrapponendo, ossia sommando più onde monocromatiche, si possono ottenere tutte le possibili onde (si tratta di una base completa).

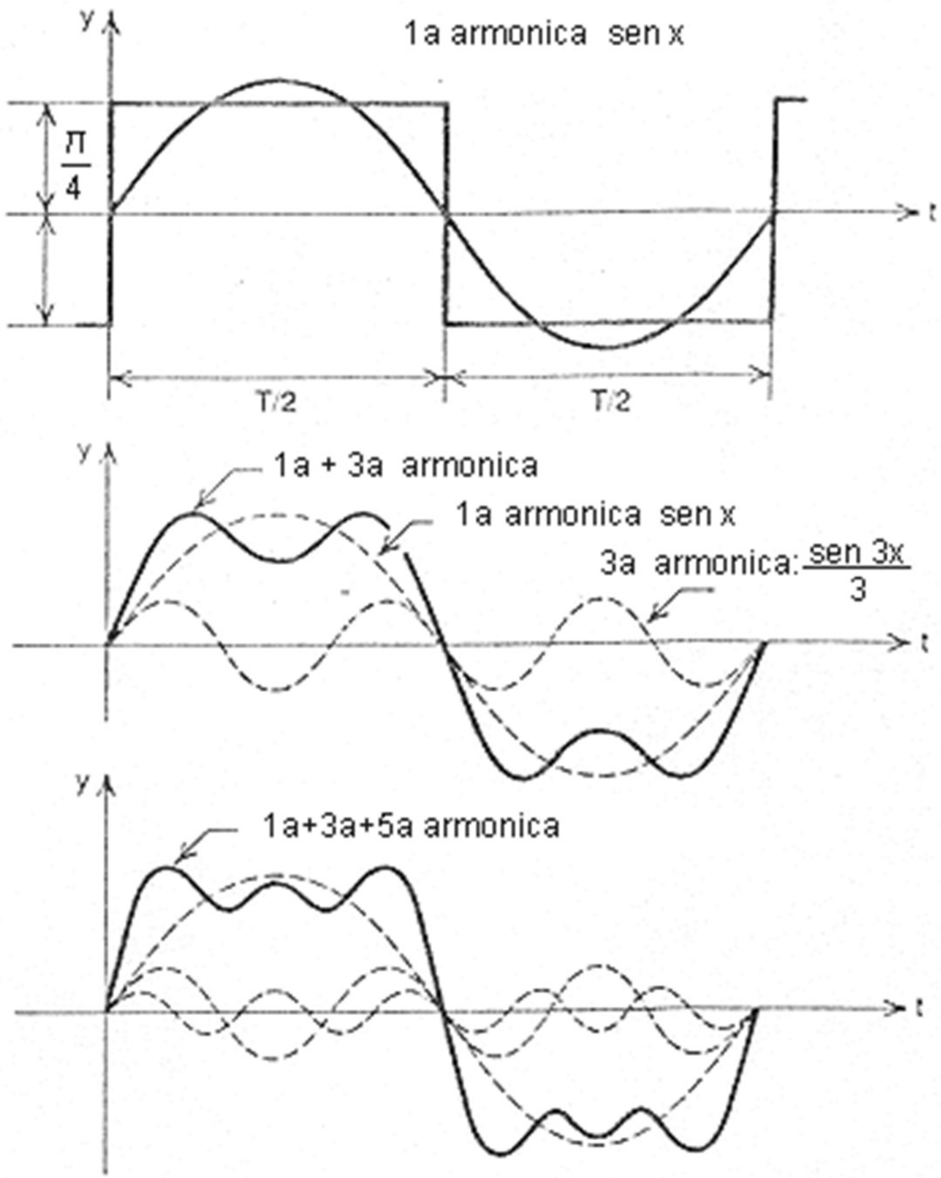
ANALISI DI FOURIER

Qualunque funzione periodica di qualsiasi forma è esprimibile come combinazione di una e una sola sommatoria di sinusoidi di definita ampiezza, frequenza e fase.





Un'onda quadra contiene solo armoniche di assegnata parità, o pari o dispari, a seconda se sia discontinua o meno nello 0.



SPETTRO DI UN'ONDA