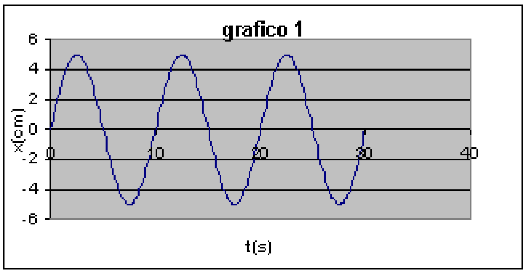
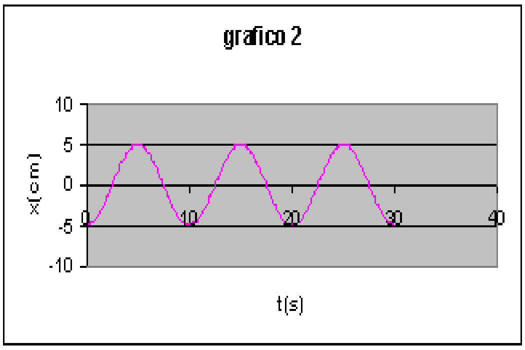
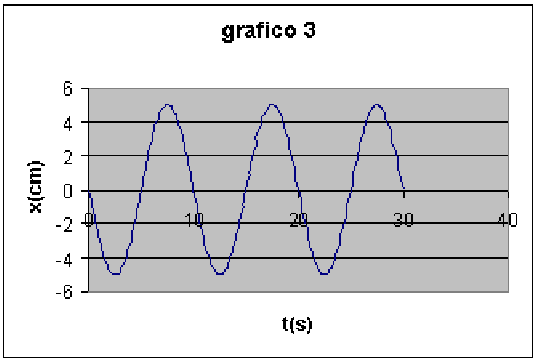
ONDE TORNA ALL'INDICE

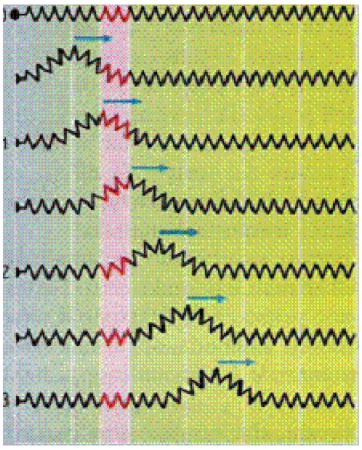
Abbiamo detto che se un oscillatore è un sistema isolato, una volta messo in oscillazione, rimane in oscillazione conservando nel tempo la stessa ampiezza. Le caratteristiche di un oscillatore sono il periodo, tempo che impiega a compiere un oscillazione completa, (il suo inverso la frequenza è il numero di oscillazioni compiute in un secondo) e l'ampiezza che è la massima distanza dalla posizione di riposo. Il periodo è eguale 2πradq(m/k_{el}) e l'ampiezza è legata all'energia posseduta dall'oscillatore E=1/2$k_{el}A^2$. Il diagramma orario dello spostamento è una sinusoide.



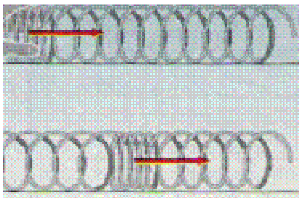




I grafici orario sopra riportati rappresentano tre moti armonici che hanno lo stesso periodo di 10s, la stessa ampiezza di 5cm, ma sono sfasati fra di loro. Il moto rappresentato dal grafico 2 è in ritardo di fase rispetto all'altro 1 di 90° o di π/2. Infatti raggiunge le stesse posizioni del primo dopo 1/4di T(vedi figura a fianco). Si ricordi che un periodo completo corrisponde a 2π. Il moto rappresentato dal grafico 3 è in ritardo di fase di 180° o π rispetto al primo(si dice che sono in opposizione di fase). Infatti quando il primo ha un massimo, posizione A, l'altro ha un minimo, posizione B). Immaginiamo ora una serie di oscillatori continui collegati l'uno all'altro come può essere la molla rappresentata in figura.

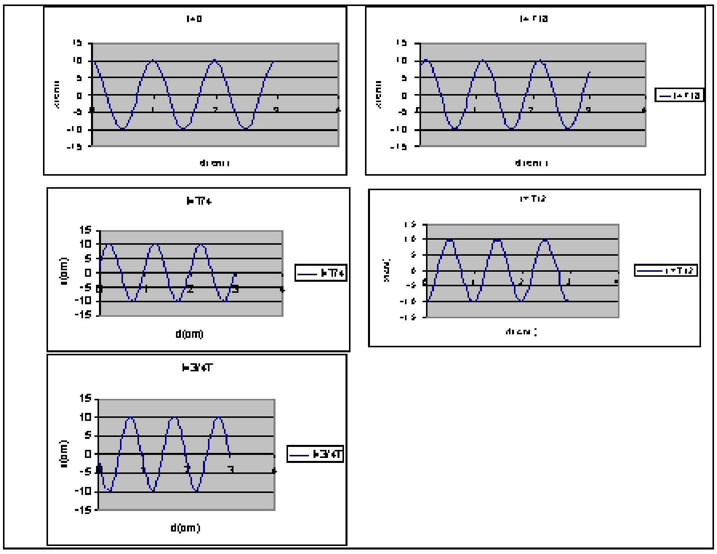


Se perturbiamo la molla iniziale, spostandola dalla sua posizione di riposo, questa essendo a contatto con la molla successiva, la fa spostare dalla sua posizione di riposo e così farà quest'ultima con la molla successiva. Dopo un certo tempo si sposteranno dalla loro posizione di riposo i punti della molla che si trovano verso destra, mentre i precedenti saranno ritornati nella loro posizione di riposo. Si noti che i singoli punti della molla restano nella loro posizione e che ad avanzare verso destra è la perturbazione. E' cioè l'energia, che, inizialmente comunicata al punto iniziale, si sposterà ai punti della molla più a destra. L'energia viaggia lungo la molla con una velocità finita. Si noti che in questo caso la perturbazione, lo spostamento dei vari punti della molla avviene su un piano perpendicolare alla direzione di propagazione della perturbazione, e la perturbazione si chiama trasversale. Se invece, come nella figura seguente, spostiamo l'inizio della molla parallelamente alla molla stessa, lo spostamento dei vari punti della molla dalla loro posizione di riposo avviene parallelamente alla direzione di propagazione e la perturbazione si dice longitudinale.



Onde armoniche.

Se al punto iniziale della molla o di una corda comunichiamo un moto armonico in direzione trasversale alla corda o in direzione longitudinale, tutti i punti della molla si muoveranno dello stesso moto armonico del punto iniziale, ma in ritardo di fase rispetto ad esso. L'energia, che continuamente diamo al punto iniziale, viene da esso trasmesso al punto seguente e così di seguito, raggiungendo tutti i punti della corda. Ogni punto riceverà energia dal punto che lo precede e la trasmetterà al punto che lo segue. Tutti i punti della corda si muoveranno di moto oscillatorio con la stessa frequenza e la stessa ampiezza, ma con ritardi di fase, che cresceranno con il crescere della distanza dal punto iniziale, sorgente dell'onda, in quanto questi punti cominceranno ad oscillare dopo un tempo $\Delta t = d/v$ dove d è la distanza e v la velocità con cui si propaga l'onda. I punti, che saranno raggiunti dall'onda dopo un intervallo di tempo $\Delta t=nT$ con n numero intero, oscilleranno in fase fra di loro in quanto cominceranno ad oscillare quando il primo avrà già compiuto n oscillazioni intere e comincerà la sua oscillazione successiva. I punti in fase con la sorgente disteranno da essa nvT. La minima distanza fra due punti che oscillano in fase si ha per n=1 ed è vT. Tale distanza è la lunghezza d’onda $\lambda=vT$. Per capire meglio la lunghezza d’onda si considerino le istantanee fatti in tempi successivi di una corda che subisce un moto ondulatorio.



I punti d=0, d=1 d=2, d=3 oscillano in fase fra di loro. Infatti al tempo t=0 hanno tutti un massimo, al tempo t= T/8 si trovano alla stessa distanza dalla loro rispettiva posizione di riposo e così pure agli istanti successivi. Così in fase fra di loro oscilleranno pure i punti che occupano la posizione 0,5 1,5 e 2,5. Ancora oscilleranno in fase fra di loro i punti 0,25 1,25 e 2,25. Come si vede la minima distanza fra due punti in fase fra di loro è in ogni caso 1cm e tale distanza sarà la lunghezza d’onda. Si noti che la lunghezza d’onda (1cm nel nostro caso) è anche la distanza fra due creste successive o due valli successive,dove le creste sono i massimi e le valli sono i minimi.

La lunghezza d’onda è la minima distanza fra due punti che oscillano in fase fra di loro o anche la distanza fra due creste successive di una istantanea dell’onda.

I punti 0,5 e 1 oscillano in opposizione di fase, quando uno ha un massimo, l’altro ha un minimo. Lo stesso avviene per i punti 0,5 e 2 ; 1 e 2,5; 0 e 2,5 Tutti questi punti distano far di loro ½ λ; $\lambda+\lambda/2$; $2\lambda+\lambda/2$

Possiamo perciò dire che i punti che distano fra di loro un numero intero di λ oscillano in fase, mentre quelli che distano fra di loro un numero intero di $\lambda+\lambda/2$ oscillano in opposizione di fase.

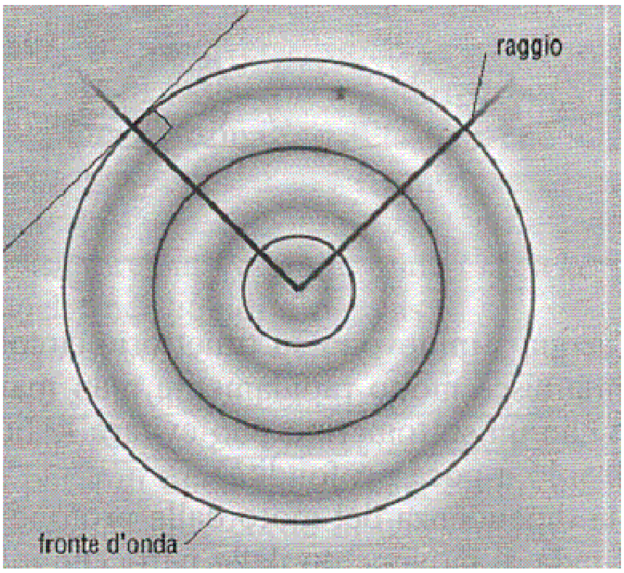
Punti in fase $d=n\lambda$; Punti in opposizione di fase $d=n\lambda+\lambda/2=(2n+1)\lambda/2$

L'energia per percorrere uno spazio pari ad una lunghezza d'onda impiega un intervallo di tempo pari ad un periodo, perciò

$$\lambda/T=v;\ \lambda=vT=v/f$$

Onde superficiali.

Se ad essere perturbato è un punto di una superficie piana, l'energia che comunichiamo al punto perturbato(sorgente) si trasmette in ogni direzione e verso. Non abbiamo una singola direzione di propagazione, ma infinite, e sono tutti i raggi che partono dalla sorgente e vanno verso l'infinito. Tutti i punti che si trovano ad eguale distanza dalla sorgente, vengono raggiunti dall'energia allo stesso istante e cominciano ad oscillare contemporaneamente. Essi costituiscono una linea che prende il nome di fronte d'onda e che in questo caso è una circonferenza con centro coincidente con la sorgente. In questo caso le onde sono dette circolari.



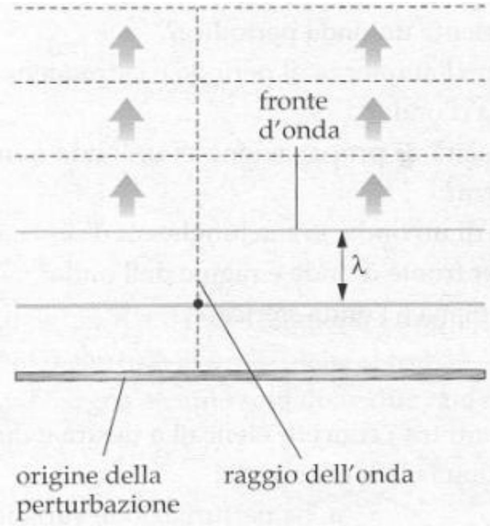
Se l'onda avviene in una sola direzione, l'ampiezza di oscillazione è costante, in quanto ogni punto trasmette la sua energia a quello seguente. Se l'onda è circolare le ampiezze di oscillazione decrescono al crescere della distanza dalla sorgente. Infatti l'energia comunicata alla sorgente non è trasmessa ad un solo punto, ma a tutti i punti, che costituiscono il fronte d'onda.

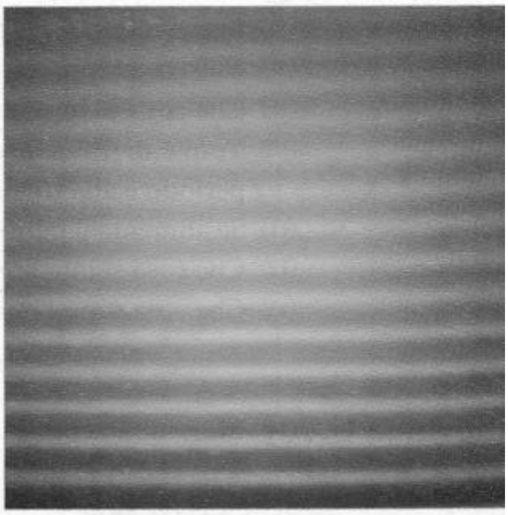
Poiché detti punti aumentano all'aumentare della lunghezza della circonferenza, eguale a $2\pi r$ con r distanza dalla sorgente, l'energia del singolo punto del fronte d'onda sarà eguale all'energia della sorgente divisa per la lunghezza della circonferenza.

$$E_R=E_S/2\pi r;\ E_R=1/2k_{el}A_R^2;\ E_S=1/2k_{el}A_S^2;\ 1/2k_{el}A_R^2=1/2k_{el}A_S^2/2\pi r;$$

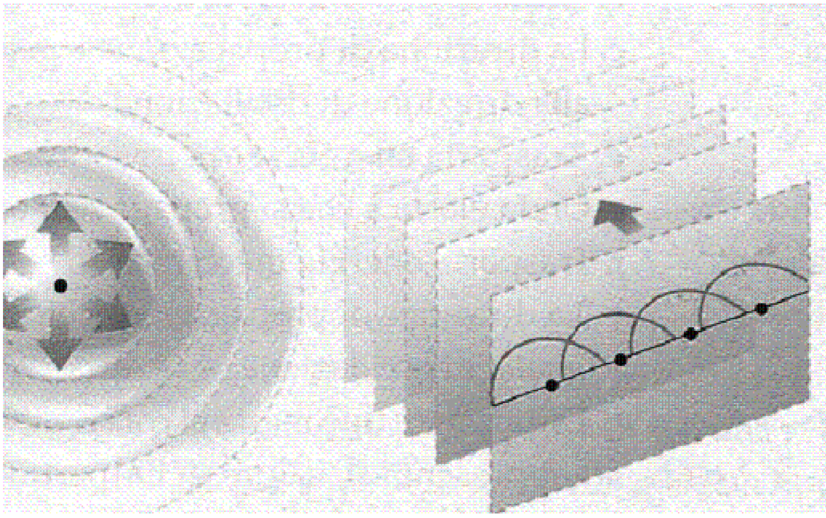
$$A_R^2=A_s^2/2\pi r; A_R=A_S/\mathrm{sqrt}(2\pi r).$$

Quando la perturbazione viene contemporaneamente prodotta in tutti i punti di un segmento, i fronti d'onda saranno rettilinei e l'onda si dice piana(vedi fig). In questo caso le direzioni si propagazione(i raggi) sono parallele fra di loro e l'ampiezza di oscillazione è costante.





Se la perturbazione avviene nello spazio e la sorgente è un punto i fronti d'onda saranno delle sfere. In questo caso l'ampiezza d'oscillazione del singolo punto del fronte d'onda è inversamente proporzionale a r con r distanza dalla sorgente. Infatti l'energia della sorgente si distribuisce tra tutti i punti che costituiscono il fronte d'onda che è una sfera e detti punti aumentano secondo la superficie sferica e cioè secondo il quadrato del raggio. Se infine la perturbazione è comunicato a tutti i punti di una superficie piana , i fronti d'onda saranno dei piani paralleli e l'onda si dice piana(l'ampiezza di oscillazione è costante).

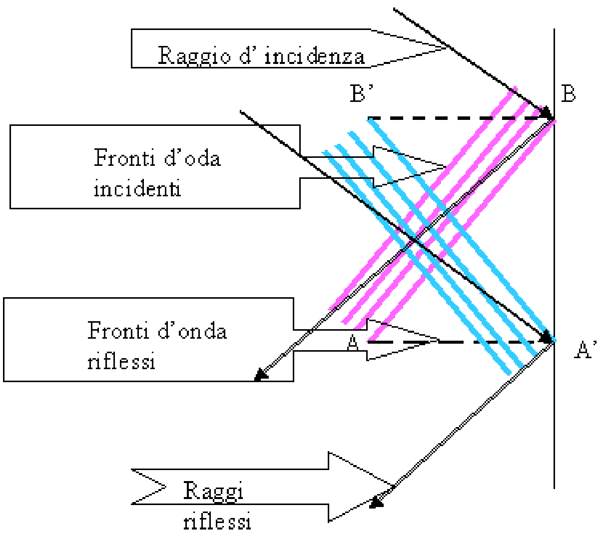


RIFLESIONE DI UN' ONDA

Se durante il suo percorso l'onda incontra un ostacolo, ritorna indietro, in modo che:

a) il raggio incidente (la direzione di propagazione dell'onda che avanza verso l'ostacolo), la normale all'ostacolo e il raggio riflesso(la direzione di propagazione dell'onda che torna indietro) appartengano allo stesso piano;

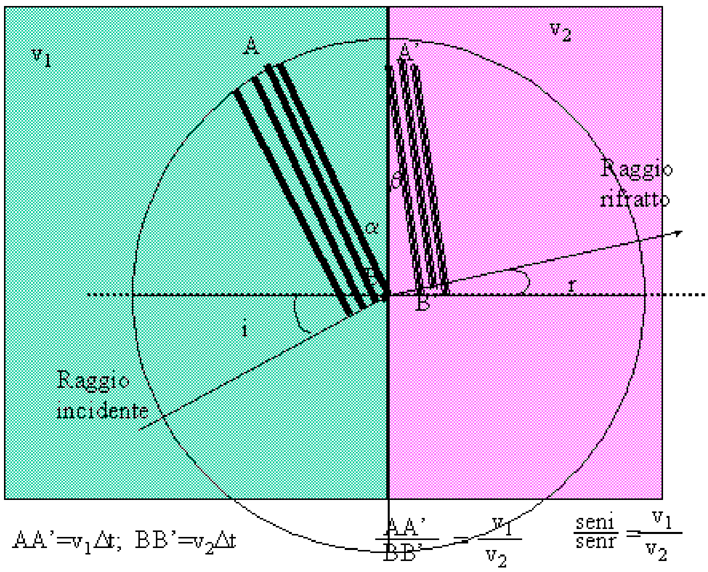
b) l'angolo di incidenza (angolo che il raggio incidente forma con la normale all'ostacolo nel punto di incidenza) sia eguale all'angolo di riflessione(angolo che il raggio riflesso forma con la stessa normale).



Si consideri un’onda piana che viaggia verso l’ostacolo come nelle figure precedenti. Il fronte d’onda AB, nell’istante t, ha un estremo B che si trova già sull’ostacolo e diviene sorgente di un’onda che torna indietro con velocità –v, mentre l’altro estremo A è sorgente di un’onda che viaggia verso l’ostacolo con velocità v. L’energia proveniente da A dopo un tempo Δt=AA’/v avrà raggiunto l’ostacolo , punto A’. Nello stesso tempo Δt l’energia proveniente da B avrà percorso all’indietro uno spazio BB’=vΔt=v*AA’/v=AA’. Il fronte d’onda che al tempo t era AB dopo un tempo Δt sarà A’B’ e viaggerà all’indietro. Dall’eguaglianza dei triangoli AA’B e BB’A?’(sono rettangoli e hanno l’ipotenusa e un cateto eguale), si ha l’eguaglianza degli angoli α e β e quindi di i e r.

RIFRAZIONE.

Si consideri un’onda che passa da un mezzo in cui ha una velocità v_1 ad un secondo mezzo, in cui la sua velocità diventa v_2(si pensi ad un’onda sull’acqua che passa da acqua più profonda ad acqua meno profonda) Essa nel passare dal mezzo 1 al mezzo 2 subbisce una deviazione nella sua direzione di propagazione. Tale fenomeno si chiama rifrazione. Per spiegare come questo fenomeno avviene, prendiamo in considerazione un’onda piano come in figura.



Il fronte d’onda AB ha l’estremo A che si trova nel primo mezzo ed è quindi sorgente di un’onda che viaggia alla velocità v_1 verso la superficie di separaziome, mentre l’altro estremo B si trova sulla superficie di separazione ed è perciò sorgente di un’onda che viaggia nel secondo mezzo con velocità v_2.L’energia proveniente da A per percorrere lo spazio AA’ impiegherà un intervallo di tempo Δt=AA’/v_1.

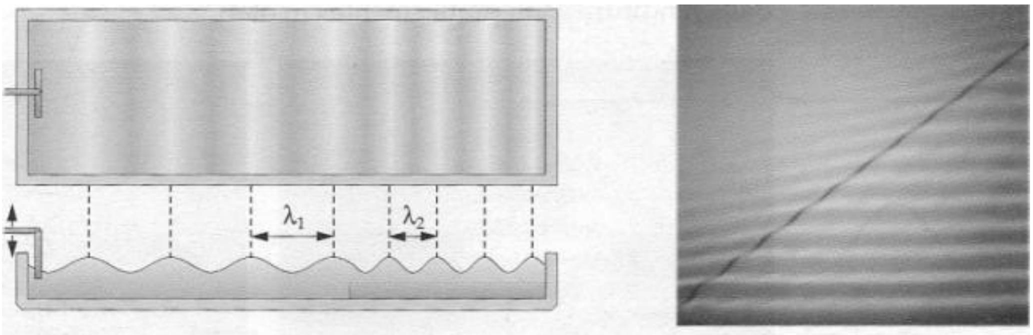
Nello stesso intervallo di tempo l’energia emanata da B avrà percorso uno spazio BB’=v_2AA’/v_1 da cui AA’/BB’=v_1/v_2. Quindi dopo un tempo Δt il fronte d’onda AB sarà diventato A’B’il raggio rifratto si avvicina alla normale nel caso sia $v_2<v_1$. Si noti che i=α e r=β (i=90°-γ e α=90°-γ;r=90°-δ e β=90°–δ) Consideriamo una

circonferenza di centro B e raggio unitario eguale a AB e con l'asse X coincidente con BA' e l'asse Y con la normale alla superficie di separazione. Per definizione AA' Sarà il senα. Allo stesso modo sarà senβ=BB'. Seni/senr=AA'/BB'=v_1/v_2=K. Si può perciò dedurre che quando l'onda passa da un mezzo 1 ad un mezzo2 essa subbisce uno spostamento nella sua direzione di propagazione, in modo che:

a) il raggio incidente, il raggio rifratto e la normale alla superficie di separazione appartengono allo stesso piano.

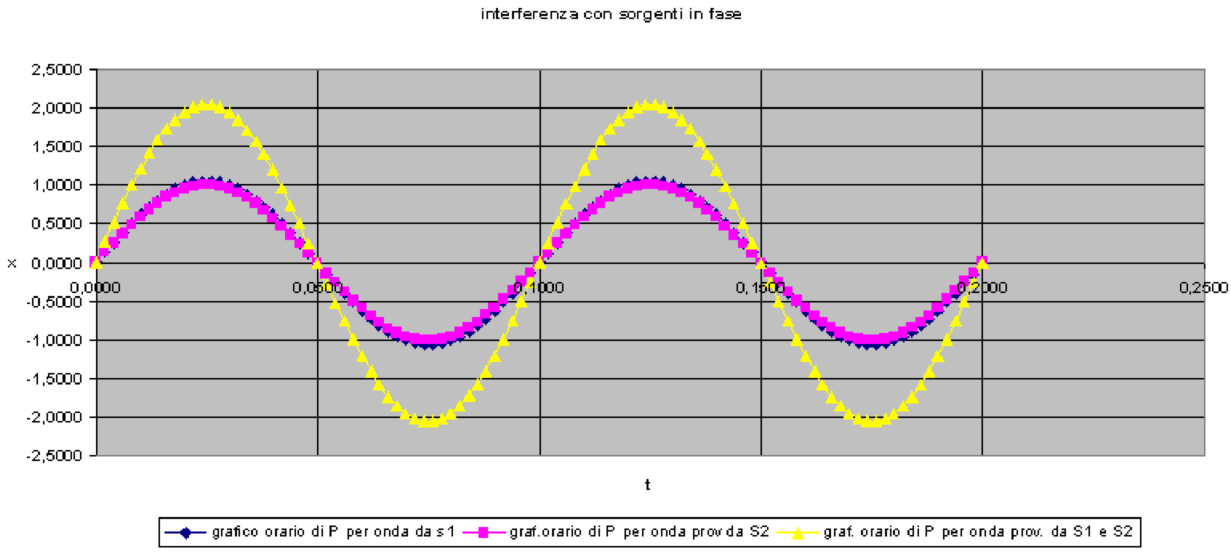
b) Al cambiare dell'angolo di incidenza i(angolo formarto dal raggio incidente e dalla normale alla superficie di separazione), cambia anche l'angolo di rifrazione(angolo formato dal raggio rifratto e dalla normale) in modo che il rapporto seni/senr sia costante e tale costante, eguale la rapporto fra le due velocità,dipende dalla natura dei due mezzi e viene chiamato indice di rifrazione $n_{1,2}=v_1/v_2$.

Se il passaggio dell'onda avviene tra il mezzo 2 e il mezzo 1 r sarà i e i r:sarà perciò $n_{2,1}=1/n_{1,2}$. Nel secondo mezzo la frequenza rimane la stessa e varia però la lunghezza d'onda. $\lambda_1=v_1/f$ $\lambda_2=v_2/f$

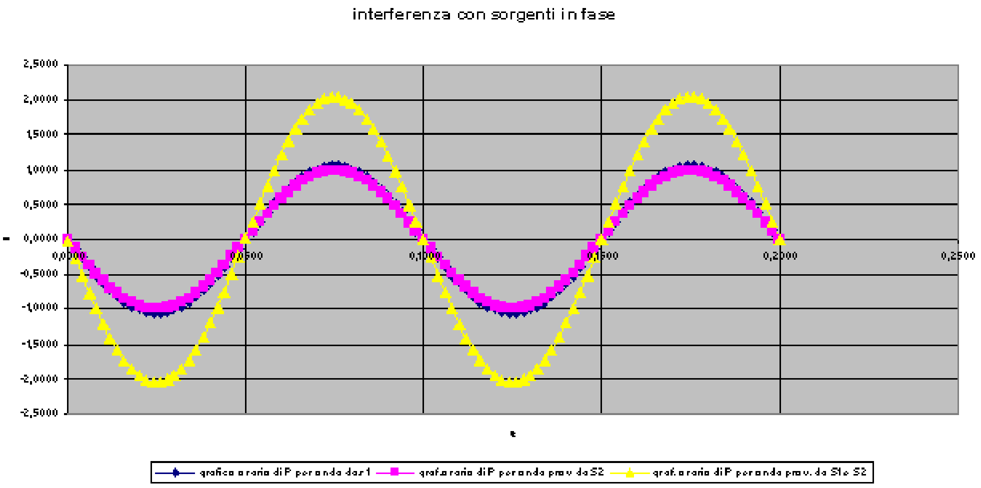


INTERFERENZA.

Siano S_1 e S_2 due sorgenti in fase, che emettono onde della stessa frequenza ed ampiezza nello stesso mezzo. I punti del mezzo saranno raggiunti dalle onde proveniente dalle due sorgenti e si muoveranno di moto armonico, sommando istante per istante i due effetti. Se la distanza r_1 fra S_1 e P è un numero intero di lunghezze d'onde P oscillerà in fase con S_1. Se anche la distanza r_2 da S_2 è un numero intero di lunghezze d'onde P oscillerà in fase per l'onda proveniente da S_2.

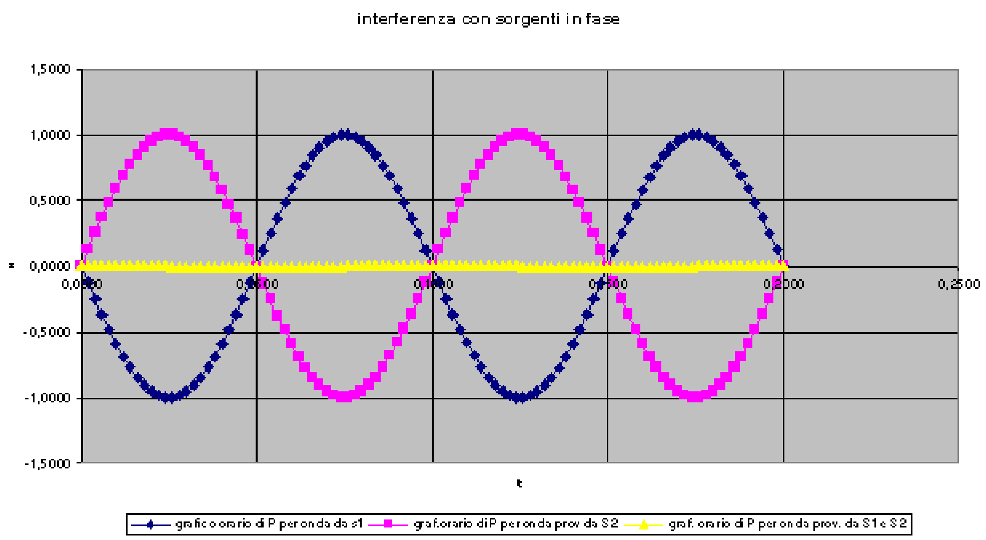


Il punto P in seguito alle sollecitazioni, provenienti dalle due sorgenti oscilla con un'ampiezza che è la somma delle due ampiezze. Lo stesso avviene se r_1 e r_2 sono eguali ad un numero intero di lunghezze d'onde più una metà. In questo caso P oscillerà in opposizione di fase sia con la prima che con la seconda sorgente, ma allo stesso istante P avrebbe per entrambe o un massimo o un minimo e perciò le due sollecitazioni si sommano sempre. P oscillerà con un'ampiezza che è la somma delle due ampiezze(interferenza costruttiva).



In entrambi i casi sarà $|r_2-r_1|=n\lambda$.

Se invece sarà $r_1=n\lambda+\lambda/2$ e $r_2=m\lambda$, P oscillerà in fase con S_2 e in opposizione di fase con S_1. In un certo istante t se S_1 e S_2, che sono in fase fra di loro, hanno un massimo P deve avere un minimo per l'onda proveniente da S_1 e un massimo per l'onda proveniente da S_2 e quindi P resta nella posizione di riposo quando è raggiunto da entrambe. Siccome ad ogni istante per l'onda proveniente da una sorgente P dovrebbe avere uno spostamento positivo e per l'onda proveniente dall'altra uno spostamento negativo, P quando è raggiunto da entrambe le onde resta per sempre fermo, non si muove(interferenza distruttiva).



La stessa cosa avviene se $r_1=n\lambda$ e $r_2=m\lambda+\lambda/2$. In entrambi i casi sarà $|r_2-r_1|=k\lambda+\lambda/2=2k\lambda/2+\lambda/2=(2k+1)\lambda/2$.

Possiamo perciò dire che :

a) se per P $|r_2-r_1|=k\lambda$ si avrà interferenza costruttiva, P oscillerà con un'ampiezza somma delle due ampiezze;

b) se per P $|r_2-r_1|=(2k+1)\lambda/2$ si avrà interferenza distruttiva, P pur essendo raggiunto dalle due onde non oscilla.

Naturalmente se le due sorgenti oscillano in opposizione di fase le due condizioni di interferenza costruttiva e distruttiva si invertono. L'interferenza è un fenomeno tipicamente ondulatorio. Si ha cioè solo se uno stesso mezzo è sede di due onde proveniente da due sorgenti(vi sono punti in cui l'energia si concentra, interferenza costruttiva, e punti in cui l'energia si annulla, punti ad interferenza distruttiva). Se invece l'energia si propaga nel mezzo per mezzo di due fasci di particelle, non vi saranno mai punti che pur raggiunti dai due fasci è come se non ricevessero nessuna particella.

L'interferenza però è non sempre visibile.

Se le sorgente cambiano continuamente differenza di fase (alcune volte sono in fase, altre sono in opposizione di fase), lo stesso punto un istante sarà sede di interferenza costruttiva e l'istante successivo di interferenza distruttiva. In questo caso le sorgenti si dicono incoerenti e non vi sarà nessun punto costantemente privo di energia.

Inoltre se la distanza fra le sorgenti è molto maggiore della lunghezza d'onda i punti ad interferenza costruttiva e distruttiva sono talmente vicini che non si riescono a distinguere.

DIFFRAZIONE

Se lungo il suo percorso un onda incontra un ostacolo, le cui dimensioni siano paragonabili alla lunghezza d’onda, essa aggirerà l’ostacolo. Si avrà un moto oscillatorio e quindi energia anche in alcuni punti che si trovano dietro l’ostacolo, all’interno della zona d’ombra, dove non ci aspettiamo energia, data la propagazione rettilinea dell’onda. Parimenti se l’onda incontra una fenditura , la cui apertura è paragonabile alla lunghezza d’onda, troveremo dei massimi e dei minimi all’interno del cono che ha come vertice la sorgente e superficie laterali tangenti alla fenditura, dove ci aspetteremo moto in ogni punto. Ogni punto della fenditura è una sorgente puntiforme in fase con le altre che emana onde che interferiscono con le onde emanate dagli altri punti sorgente. La diffrazione da una fenditura può perciò essere considerata come l’interferenza prodotta da un numero infinito di sorgenti. Se la dimensione della fenditura è grande rispetto alla lunghezza d’onda i minimi e i massimi, chiamati anche frange di interferenza, non si noteranno.

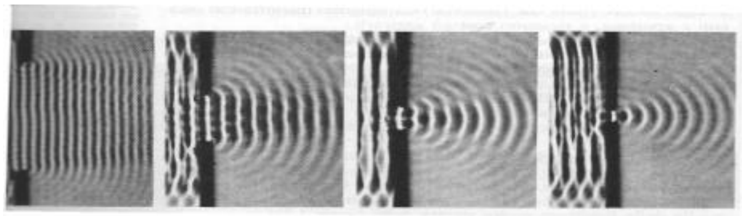
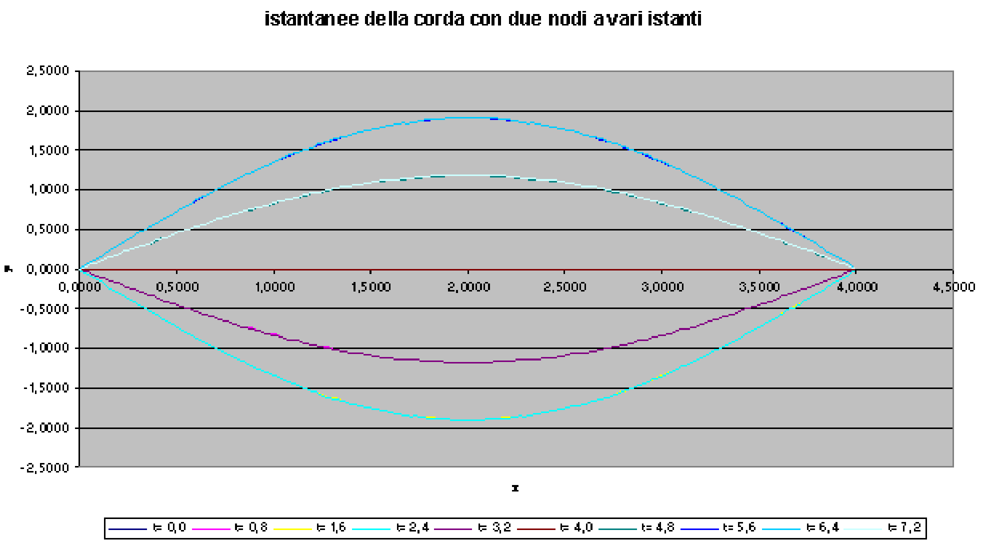


Figura 4.4. Un gruppo di onde rettilinee che si propagano sulla superficie dell’acqua, provenendo da sinistra, incontrano una barriera con un’apertura di ampiezza variabile. Quando l’apertura è larga (figura a sinistra), i fronti d’onda passano senza subire deformazioni e ai loro bordi si formano due zone d’ombra dai contorni relativamente ben definiti. Restringendo progressivamente l’apertura (figure al centro e a destra), i fronti d’onda si incurvano



ONDE STAZIONARIE.

Se prendiamo una corda fissa ai suoi due estremi, si pensi ad una corda di chitarra, e l’allontaniamo dalla sua posizione di riposo in un suo punto, poi lasciandola,(cioè la pizzichiamo) si creano due onde che viaggiano verso gli estremi, che la riflettono. Queste onde si sovrappongono e danno quindi luogo a fenomeni interferenziali.

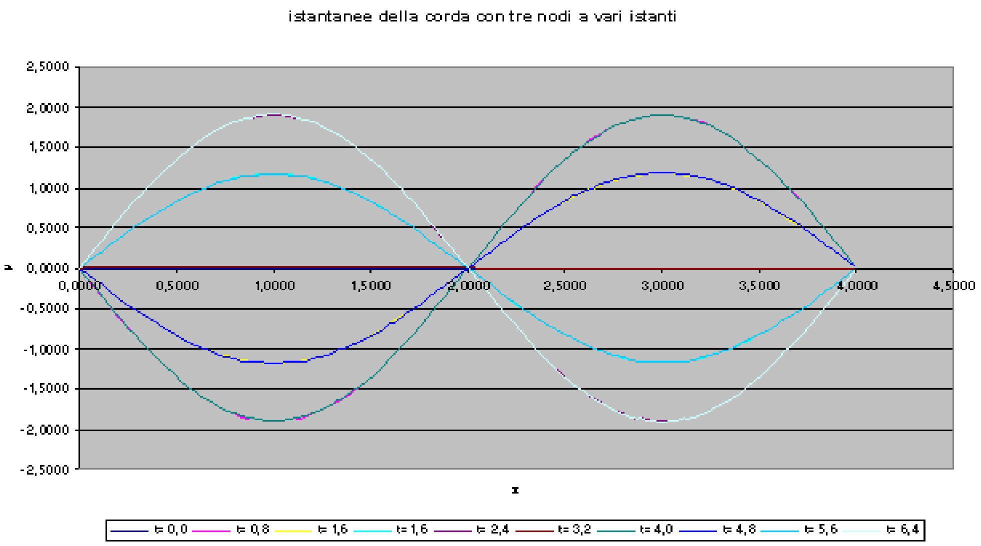
Alcuni punti saranno costantemente fermi, altri oscilleranno con un' ampiezza massima, altri con ampiezze sempre minore, man mano che si approssimano ai punti fermi, chiamati anche nodi. La corda nel suo insieme vibra e, se è circondata da aria, nel suo spostarsi la comprime e la decomprime creando un onda di compressione che si propaga nell'aria. I modi di vibrare di una corda cambiano al cambiare della lunghezza della corda e anche del punto in cui è pizzicata. Cambiando il punto in cui la corda viene perturbata, varia il numero di nodi.

La corda può avere:

a)2 nodi

In questo caso i nodi sono gli estremi il ventre il centro della corda e $L=\lambda/2;\lambda=2L=2L/(2-1)$

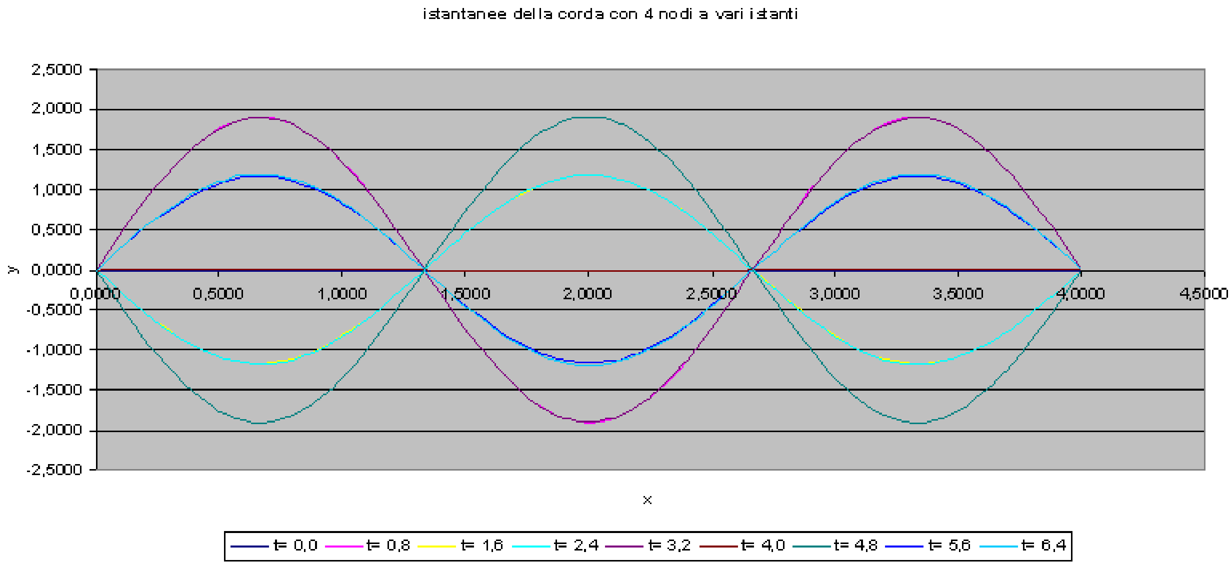
b)3 nodi



In questo caso i nodi sono gli estremi più il punto centrale, i ventri a ¼ e ¾

e $L=\lambda$; $\lambda=2L/(3-1)$

c) 4 nodi



In questo caso i nodi sono agli estremi e a 1/3 e 2/3 della corda, i ventri a 1/6, 3/6 e 5/6 e $L=\lambda+\lambda/2=3/2\lambda$; $\lambda=2/3L=2L/(4-1)$.

Se i nodi sono n , $\lambda=2L/(n-1)$.

Siccome $f=v/\lambda$, le possibili frequenze di una corda che vibra sono $f=(n-1)v/2L$. Se indichiamo con $v/2L$ la frequenza più bassa le altre possibili frequenze si possono ottenere moltiplicando la frequenza fondamentale per K con K numero intero.

IL SUONO

Quando una corda, una lamina, un diapason vibrano creano negli strati d'aria circostante delle compressioni e delle rarefazioni che detti strati trasmettano ai seguenti, si generano cioè delle onde elastiche che si propagano nell'aria. Quando queste compressioni e rarefazione dell'aria, che sono parallele alla direzione di propagazione(si tratta perciò di onde longitudinali), incontrano la membrana dell'orecchio trasmettono la vibrazione a quest'ultima: Non tutte le vibrazioni vengono però percepite dal nostro orecchio come suono. Perché ciò accada la frequenza di vibrazione deve essere compresa tra circa 16 Hz e 12000Hz. Le vibrazioni al di sotto e al di sopra di dette frequenze, chiamate soglie di udibilità, non sono recepite come suoni e vengono anche chiamate infrasuoni e ultrasuoni.

Le caratteristiche di un suono sono:

a) **L'altezza.** Un suono può essere basso o acuto. Tale caratteristica è legata alla frequenza di vibrazioni. I suoni bassi sono quelli con frequenza minore, i suoni acuti quelli con frequenza maggiore.

b) **L'intensità.** Un suono può essere forte o debole. L'intensità è legata all'energia trasportata dall'onda ad ogni secondo e per ogni metro quadro. $I=P/S$ dove $P=E/t$ è la potenza e S è la superficie attraversata. La sua unità di misura è W/m^2. Siccome l’energia è legata all’ampiezza di vibrazione al quadrato anche l’intensità dipende dal quadrato dell’ampiezza di vibrazione. La sensazione sonora, che varia al variare delle caratteristiche del suono e della persona, cresce molto lentamente al crescere dell’intensità sonora e raddoppia se l’intensità diventa dieci volte maggiore. Perciò il livello di intensità sonora si misura in decibel ed è definito da $L_s=10\log_{10}(I/I_0)$ dove I_0 è la minima intensità udibile dall’orecchio ed è circa $10^{-12}W/m^2$.

c) **Il timbro.** Un suono della stessa ampiezza e della stessa frequenza può essere più o meno puro. Ogni suono infatti è composto dal sovrapporsi di più frequenze, la fondamentale e quelle multiple della fondamentale. La maggiore o minore presenza di frequenze secondarie fanno cambiare la forma d’onda e quindi il timbro del suono. Il nostro orecchio infatti è capace di rilevare le singole frequenze di cui è composto un suono complesso. Due strumenti musicali che emettono la stessa nota hanno timbro diverso. Hanno la stessa frequenza fondamentale, ma sono composti da un sovrapporsi di un numero diverso di frequenze secondarie.

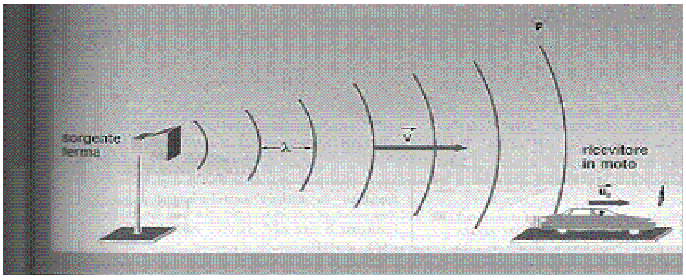
ECO

Se l’onda sonora incontra un ostacolo viene riflessa e si ha il fenomeno dell’eco. Tale fenomeno non è sempre udibile: Infatti l’orecchio riesce a percepire due suoni in modo distinto se gli arrivano all’orecchio distanziati da 1/10 di secondo e siccome la velocità del suono nell’aria è di circa 330m/s, se si emette un suono verso una parete riflettente che dista meno di 33m, il suono riflesso arriverà al nostro orecchio dopo un intervallo di tempo minore di un 0,1s da quello emesso, per cui non distingueremo due suoni distinti. Se la parete è troppo lontana durante l’andata e il ritorno l’onda avrà perso molta della sua intensità, per cui non sarà percepibile. Questo è il motivo per il quale il fenomeno dell’eco è osservabile solo in particolari circostanze.

EFFETTO DOPPLER

Se la sorgente sonora si muove verso il ricevitore o viceversa la frequenza del suono che si ascolta è più acuta di quella che si ascolterebbe se entrambi fossero fermi. Se invece sorgente e ricevitore si allontanano la frequenza ascoltata è più bassa. Il suono della sirena di un’ambulanza è più stridulo quando l’ambulanza si avvicina e più basso quando la stessa si allontana.

Sorgente ferma e ricevitore in moto.



Sia v la velocità dell'onda e v_r la velocità del ricevitore che si allontana. Rispetto all'aria, mezzo di propagazione dell'onda, λ è la distanza fra due massimi. Se ad un certo istante l'osservatore percepisce un massimo, il successivo lo percepirà dopo un intervallo di tempo Δt necessario a che l'onda percorra lo spazio s che è la somma di λ più lo spazio che nello stesso intervallo di tempo ha percorso il ricevitore.

$$\mathbf{s=\lambda+v_r\Delta t=v\Delta t;\ \Delta t=\lambda/(v-v_r)}$$

L'intervallo di tempo Δt è il periodo T' percepito dal ricevitore, mentre λ=vT con T periodo dell'oscillazione emessa dalla sorgente.

$$\mathbf{T'=v/(\ v-v_r)T}$$

$$\mathbf{f'=f(v-v_r)/v}$$

L'osservatore che si allontana dalla sorgente sentirà una frequenza minore di quella emessa. Se l'osservatore si avvicina alla sorgente sarà

$$\mathbf{f'=f(v+v_r)/v}$$

e percepirà una frequenza maggiore di quella emessa.

Sorgente in moto e osservatore fermo.

Sia v la velocità dell'onda rispetto all'aria e v_s la velocità della sorgente sempre rispetto all'aria. Ammettiamo che la sorgente al tempo t emetta un massimo. Dopo un periodo T si sarà spostata verso l'osservatore di uno spazio $s=v_sT$, mentre il primo massimo avrà percorso uno spazio s' pari alla lunghezza d'onda λ=vT. La distanza fra questi due massimi, che sarà la lunghezza d'onda λ' vista dall'osservatore, è:

$$\mathbf{\lambda'=\lambda-s=vT-v_sT=(v-v_s)T=vT'}$$

$$\mathbf{T'=T(v-v_s)/v}$$

$$\mathbf{f'=fv/(v-v_s)}$$

Anche in questo caso se la sorgente si avvicina il suono è più acuto, mentre se si allontana è più basso.

$$f' = fv/(v+v_s)$$