Sommario (2 h)

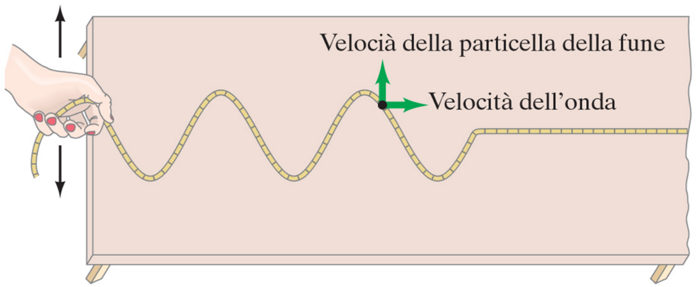
- Le onde meccaniche, definizione ed esempi
- Proprietà delle onde
- Intensità, onde sferiche e smorzamento
- Interferenza

- Suono
- Scala decibel
- Gli ultrasuoni in medicina

Lezione 6 del 22/01/2018

Onde meccaniche

Quando si lancia un sasso in uno stagno si formano delle onde circolari che si muovono dal centro verso l'esterno

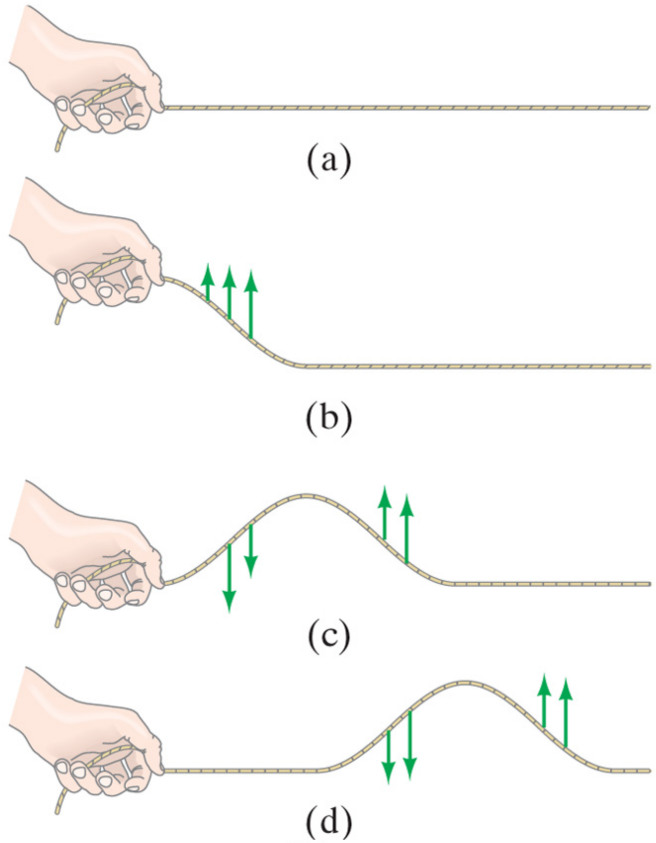


Si può anche avere un'onda lungo una corda tesa su un tavolo facendo muovere la corda su e giù

Definizione

L'onda meccanica è una perturbazione **periodica** del **mezzo** che si propaga in una certa direzione **trasportando** energia da un punto a un altro **senza spostare materia**.

1. Perturbazione periodica: spostamento della mano su e giù
2. Attraverso un mezzo: la corda
3. Trasporto di energia: la corda va su e giù, quello che si muove è la perturbazione della corda, cioè l'energia creata dal movimento della mano

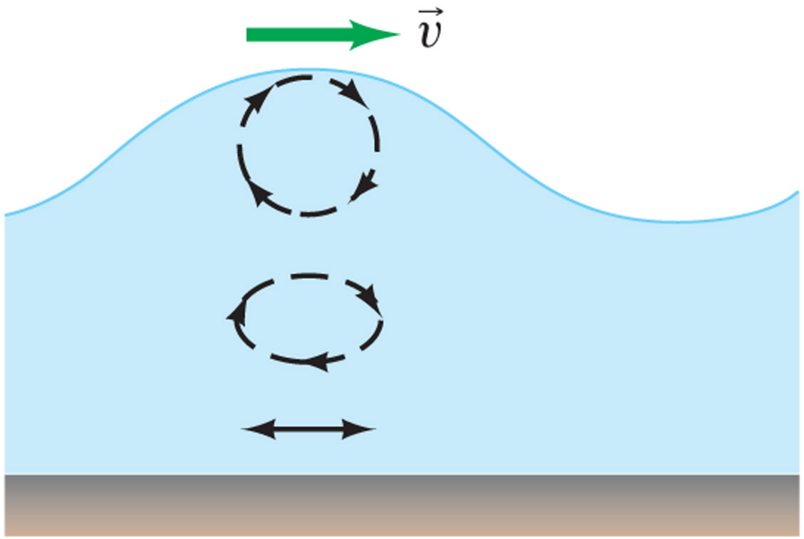


Fisica

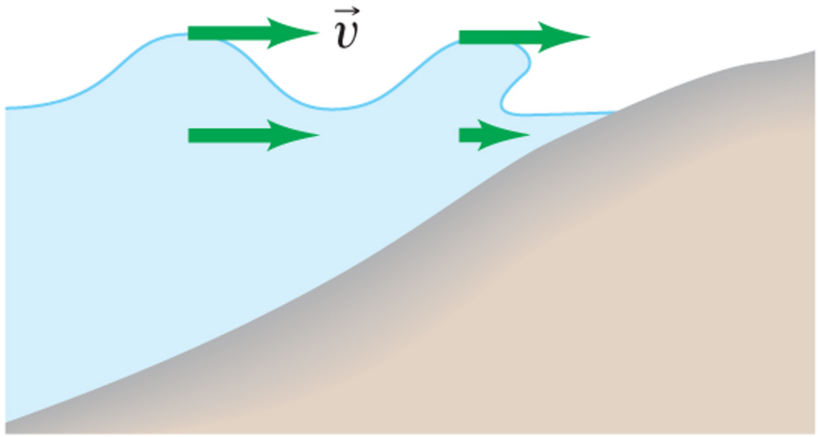
Esempio

Le onde del mare

Esistono due tipi di onde in mare, quelle vicine alla riva e quelle in alto mare. Quale è la differenza?



Fisica



Fisica

Le vere "onde" sono quelle lontano dalla costa, prendete come esempio una forte mareggiata in mare, qual'è la differenza tra le onde durante e dopo la mareggiata?

Onde periodiche

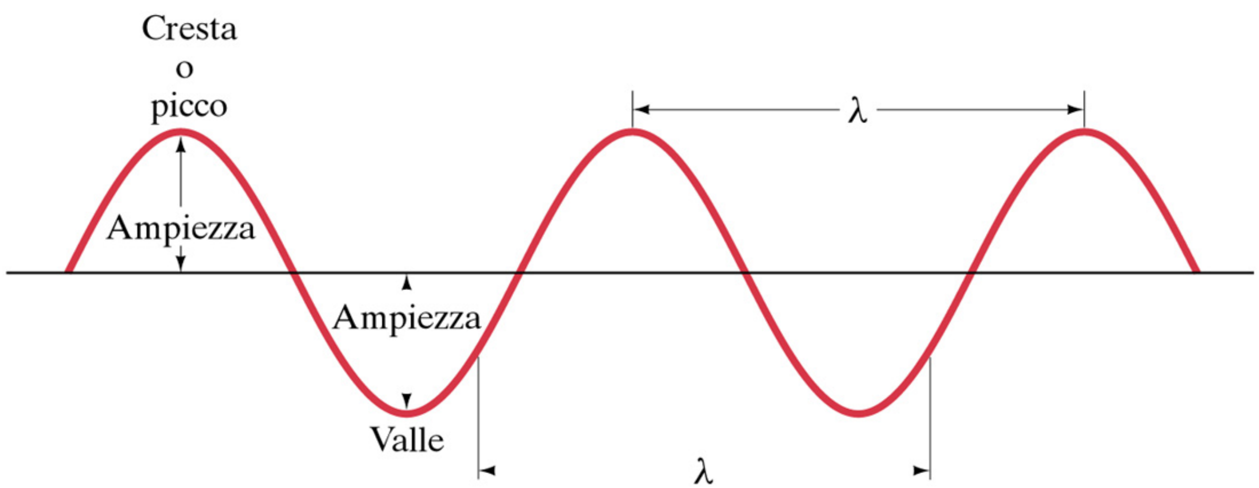
Le onde sono quindi caratterizzate dal movimento di una perturbazione, e sono periodiche se la perturbazione è periodica nel tempo, cioè se può essere descritta da una funzione f(t) che a intervalli regolari di tempo assume lo stesso valore:

$$f(t)=f(t+T)$$

I punti del mezzo che a un dato istante si trovano nello stesso stato individuano delle superfici d'onda.
Pensate alle onde nel mare, **la superficie d'onda o fronte d'onda è quella parte delle onde che raggiunge l'altezza massima a uno stesso istante**.

Nello stagno le superfici d'onda sono circonferenze concentriche con il punto dove è stato lanciato il sasso, per onde nello spazio sono sfere concentriche con la sorgente.

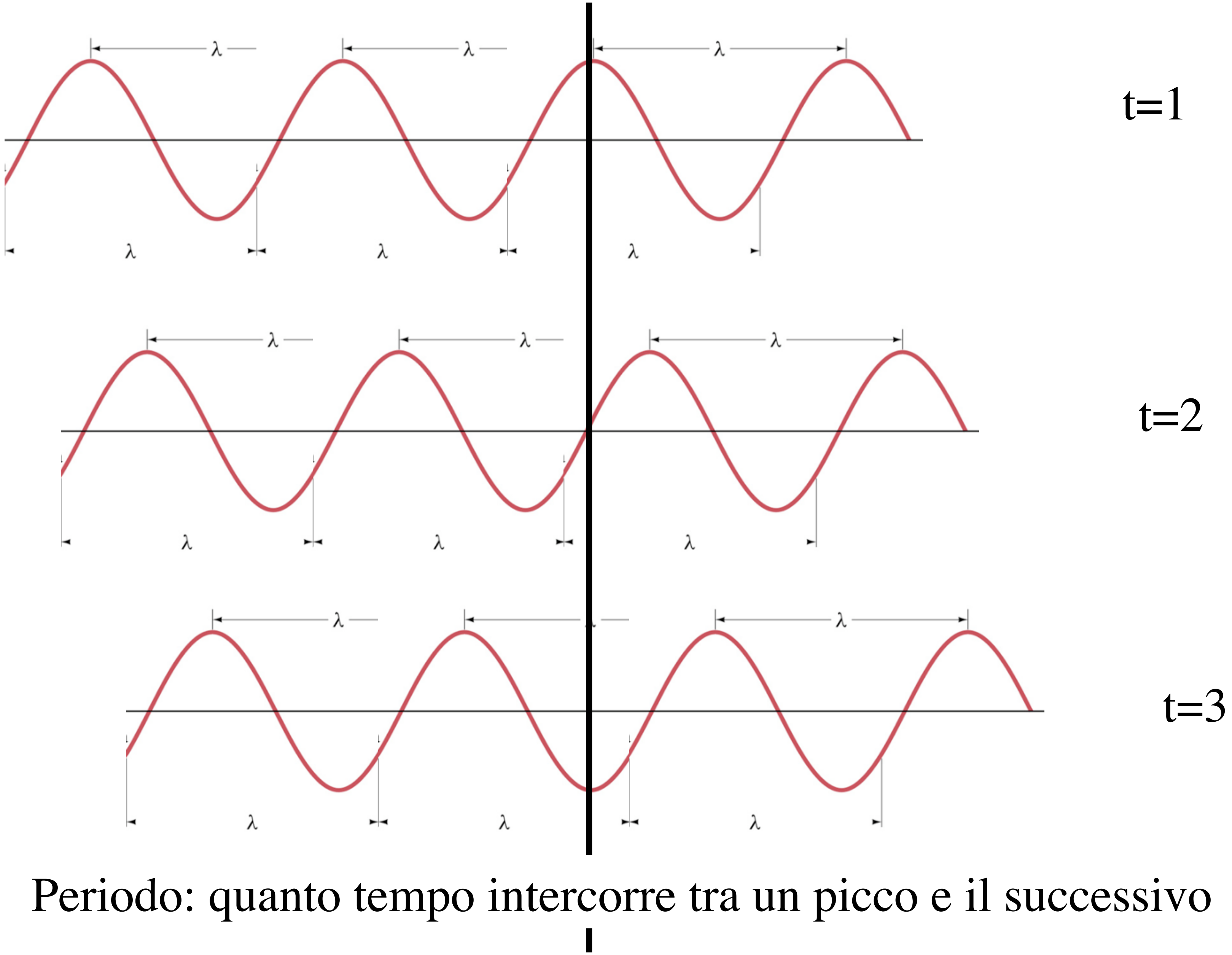
Grandezze



Fotografia a un dato istante temporale di un'onda

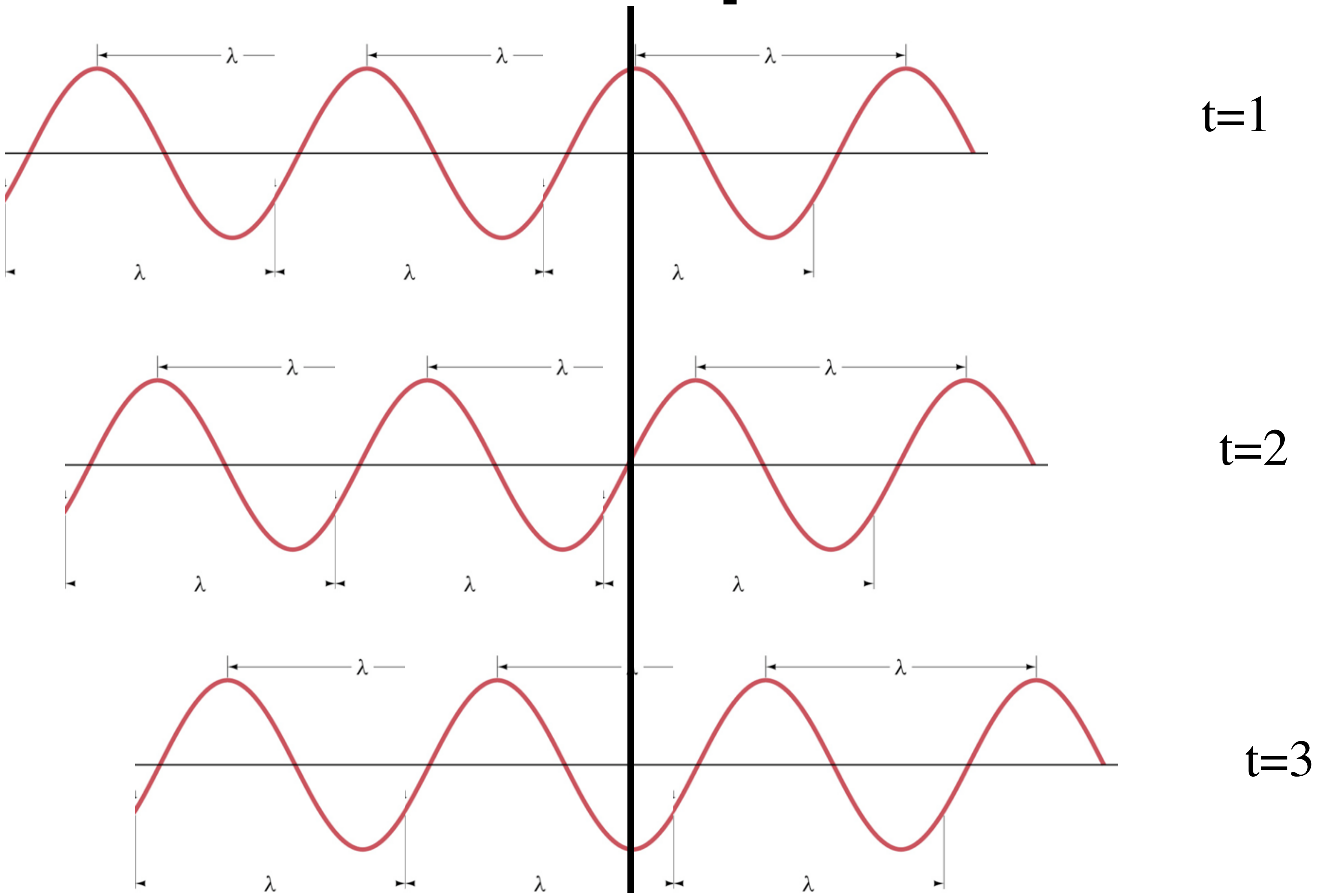
Perturbazione periodica: ampiezza e lunghezza d'onda

Periodo



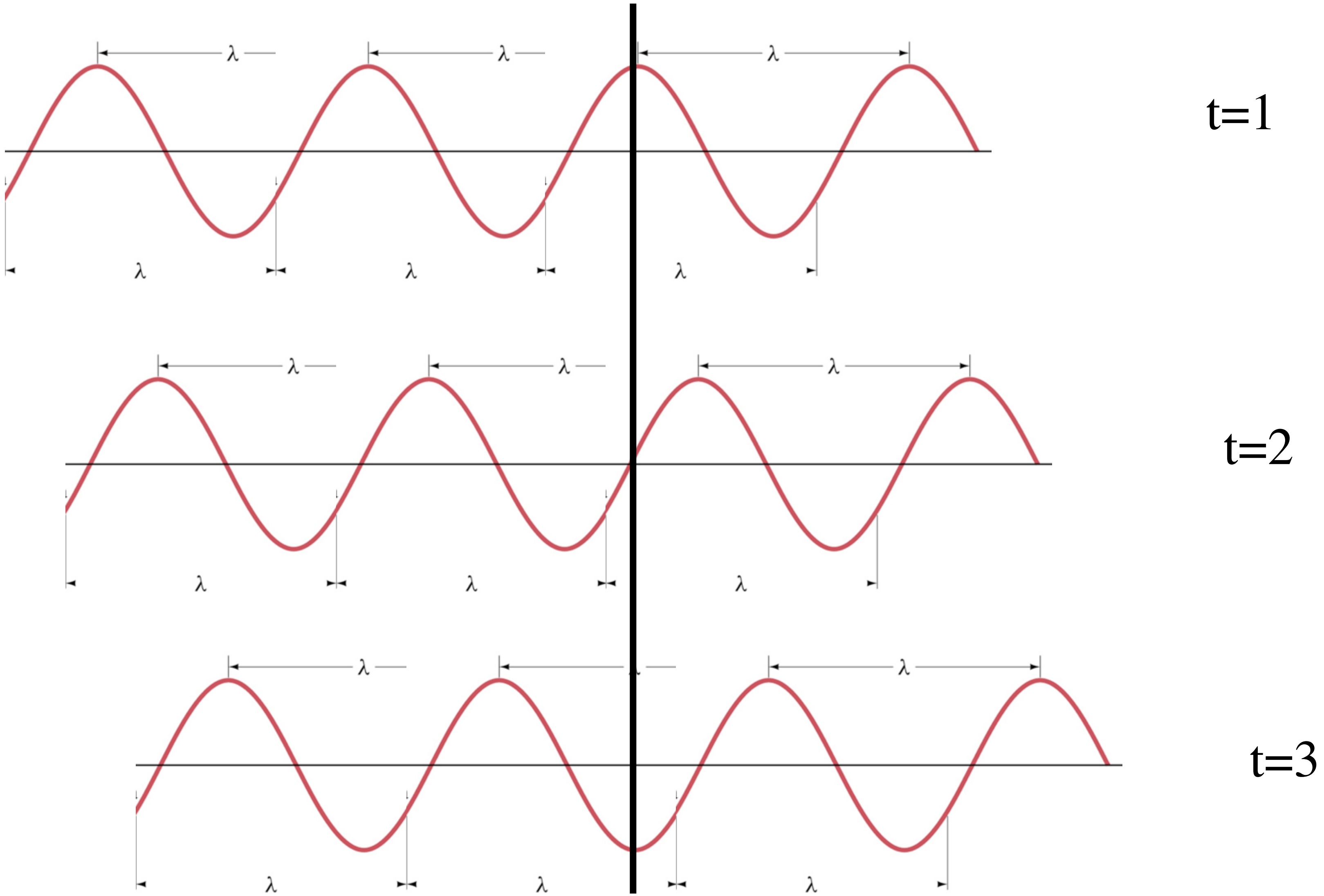
Periodo: quanto tempo intercorre tra un picco e il successivo

Frequenza



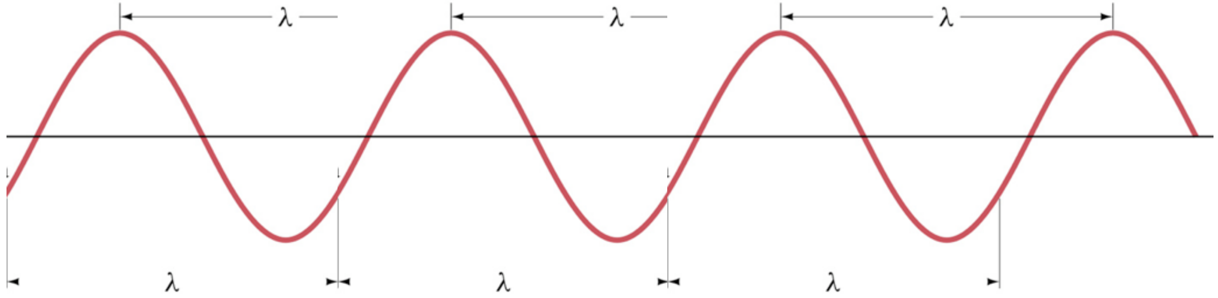
La frequenza ci dice quante creste passano nell'unità di tempo
f=1/T

Velocità



In un periodo l'onda si posta di una lunghezza d'onda, la velocità $v=\lambda/T$ o anche $v= \lambda f$

In Formula



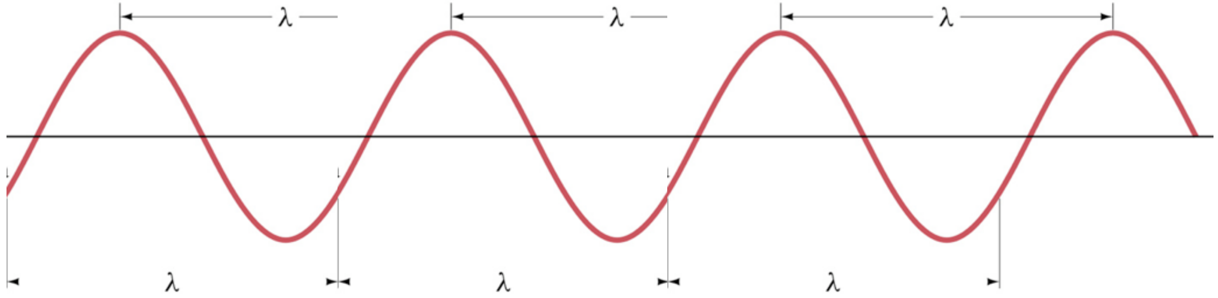
Se la sorgente crea una perturbazione periodica del mezzo:

$$S_0 = A\sin(\omega t)$$

$$S_0(t) = S_0(t+T)$$

Deve risultare che ωT=2π affinché la perturbazione sia periodica, ovvero ω=2π/T almeno o anche ω=n2π/T con n intero, cioè la velocita angolare (ricordarsi il moto circolare uniforme) deve almeno essere pari a un giro (2π) per ogni periodo T.

In Formula



Se questa perturbazione si sposta lungo la direzione di propagazione, a un tempo successivo la perturbazione in un dato punto sarà uguale a quella alla sorgente al tempo precedente:

$$S(t) = S_0(t - t_1)$$

$$S(t) = S_0(t - \frac{x}{v})$$

Dove abbiamo indicato il ritardo temporale come $t_1 = x/v$

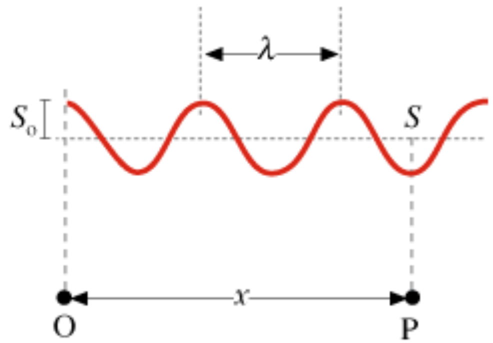


Figura 15.9

Propagazione di un fenomeno ondulatorio: l'onda si riproduce in P con un ritardo temporale pari al rapporto $\overline{OP}/v = x/v$.

In Formula

$$S(t) = S_0(t - \frac{x}{v})$$

$$S_0 = A\sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]; \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$S(t) = A\sin\left\{\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right)\right\} = A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{Tv}\right)\right\} = A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right\}$$

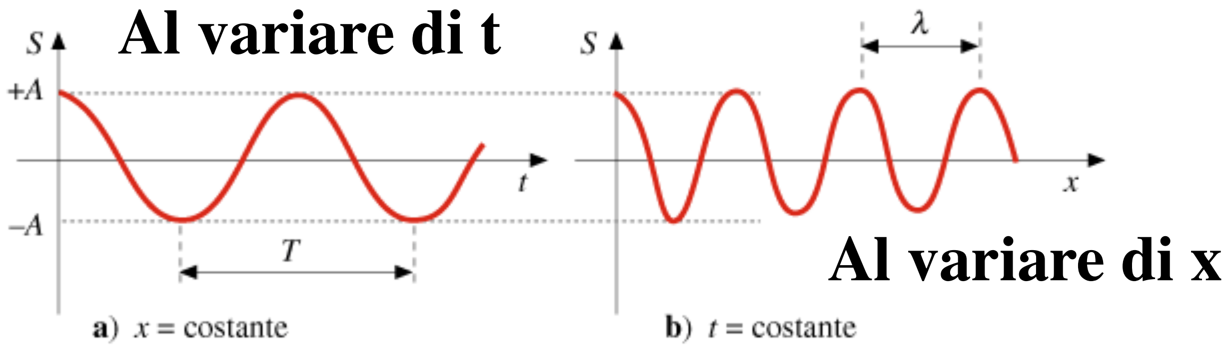


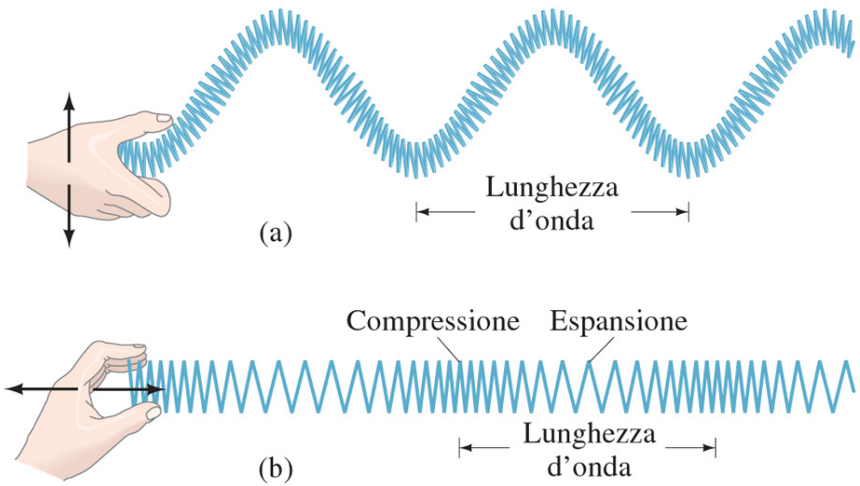
Figura 15.10

Rappresentazione grafica della legge di propagazione di un'onda monocromatica. In (**a**) è mostrata l'oscillazione nel tempo della generica grandezza S in un punto determinato dello spazio. Il tempo tra due massimi (o minimi) *successivi* definisce il periodo T della vibrazione. In (**b**) è mostrata un'istantanea dello stato di vibrazione della grandezza S in funzione della distanza dall'origine. La distanza tra due massimi (o minimi) *successivi* definisce la lunghezza d'onda λ della vibrazione.

Tipi di onde

Onde trasversali:

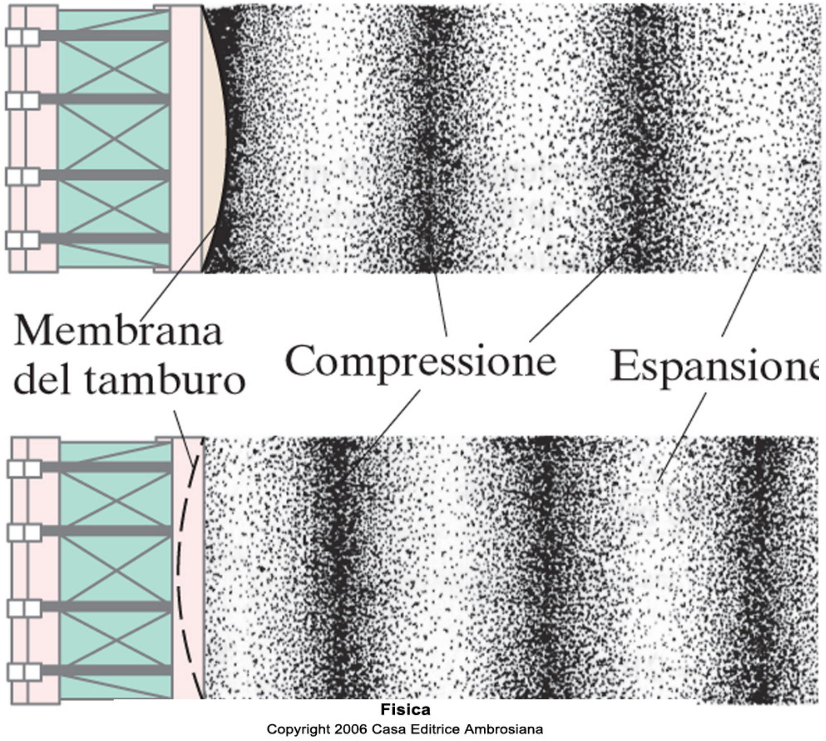
Perturbazione perpendicolare alla direzione di propagazione



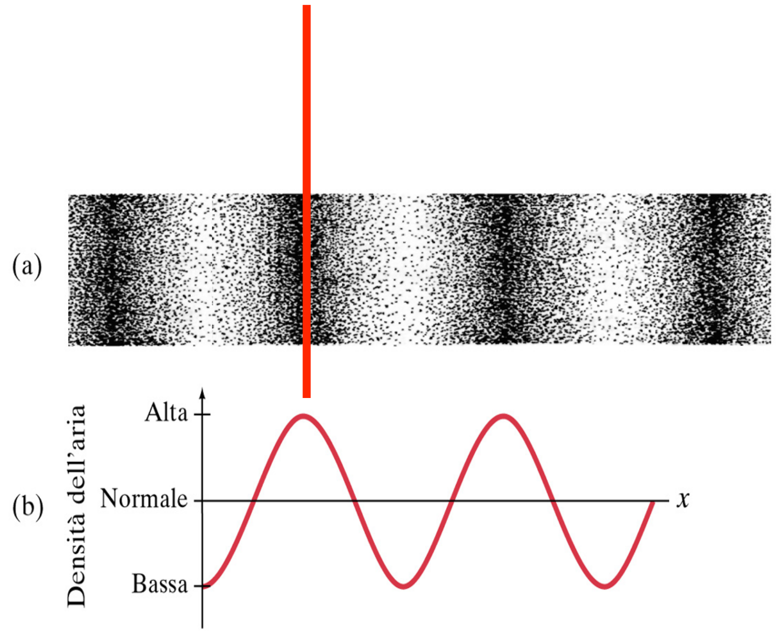
Onde longitudinali:

Perturbazione parallela alla direzione di propagazione

Tamburo



Superficie d'onda o fronte d'onda



La superficie del tamburo vibrando provoca un'onda di pressione, la densità cambia nelle vicinanze e questa perturbazione si propaga.

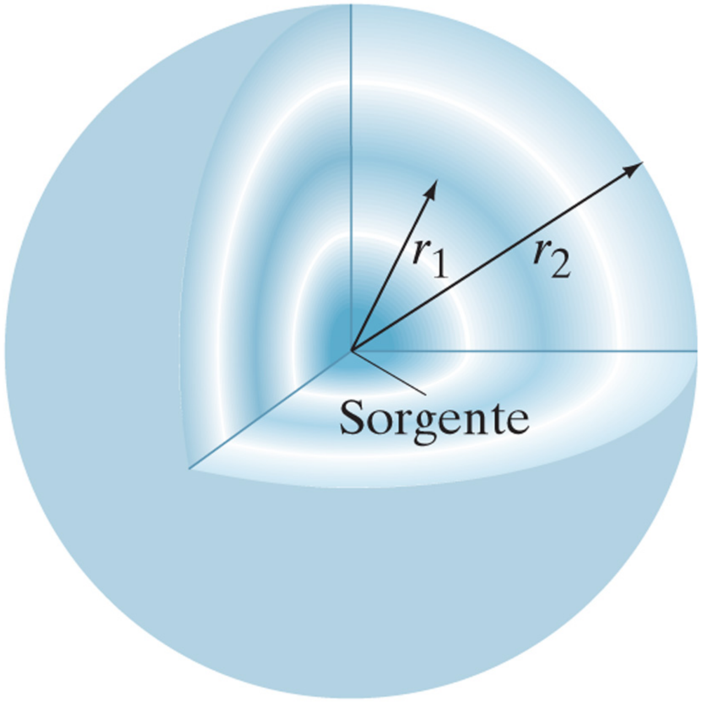
Intensità

La grandezza intensità è definita come l'energia che arriva su una data superficie nell'unità di tempo, o anche la potenza per unità di superficie

I=E/(S*Δt)=W/S

Si misura in Watt/m^2

Per un'onda l'intensità è proporzionale al quadrato dell'ampiezza della perturbazione

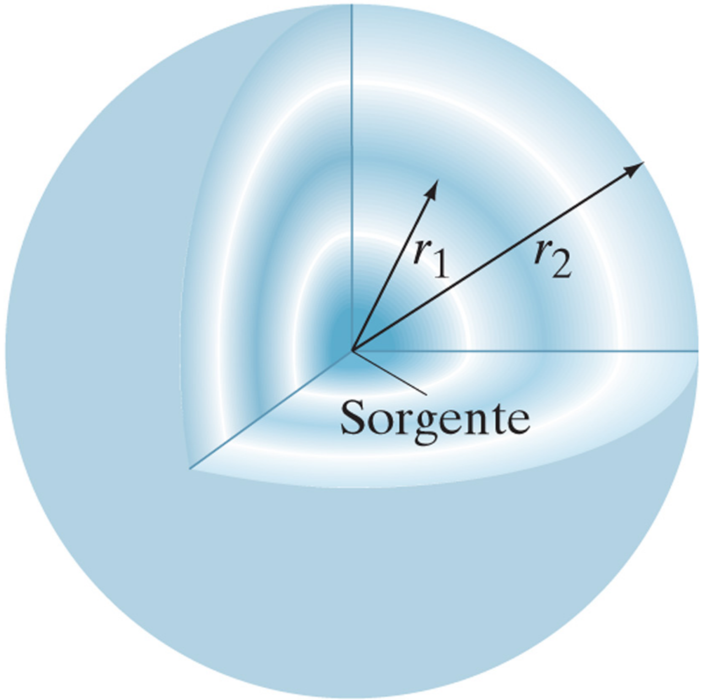


Fisica

$$I \propto A^2$$

Onde sferiche: conservazione energia

Per un'onda sferica, cioè un'onda che si propaga isotropicamente nello spazio, quando ci allontaniamo dalla sorgente la superficie investita dall'onda aumenta $S=4\pi r^2$



Fisica

Pertanto l'energia che investe una superficie unitaria nell'unità di tempo diminuisce.
L'intensità diminuisce con l'aumentare della distanza dalla sorgente.

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

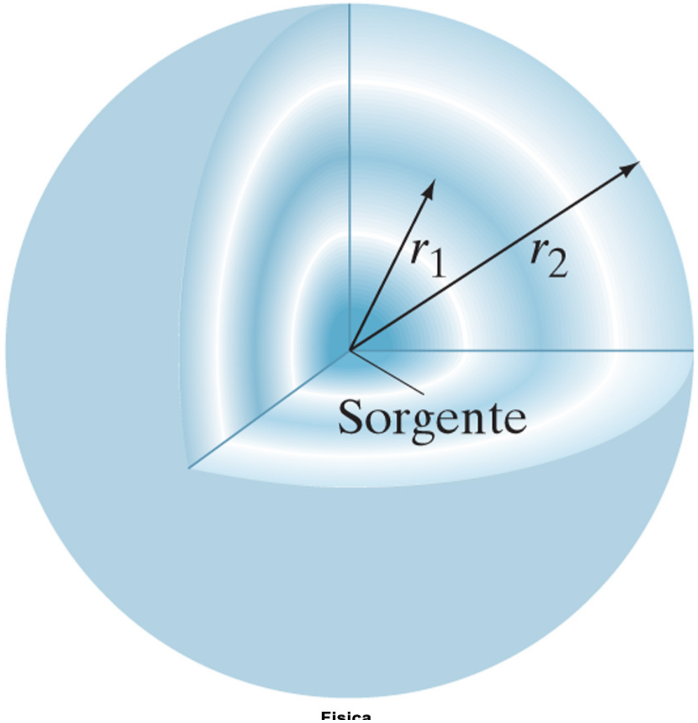
$$I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Onde sferiche

$$I_1 r_1^2 = I_2 r_2^2$$

Un'onda sferica viene emessa con un'intensità di 10 Watt/m^2 a una distanza di 1 m dalla sorgente. Quale è l'intensità a una distanza di 10 metri dalla sorgente?



$I_2 = I_1 * (r_1/r_2)^2 = 10 * (1/10)^2 = 0.1$ W/m^2

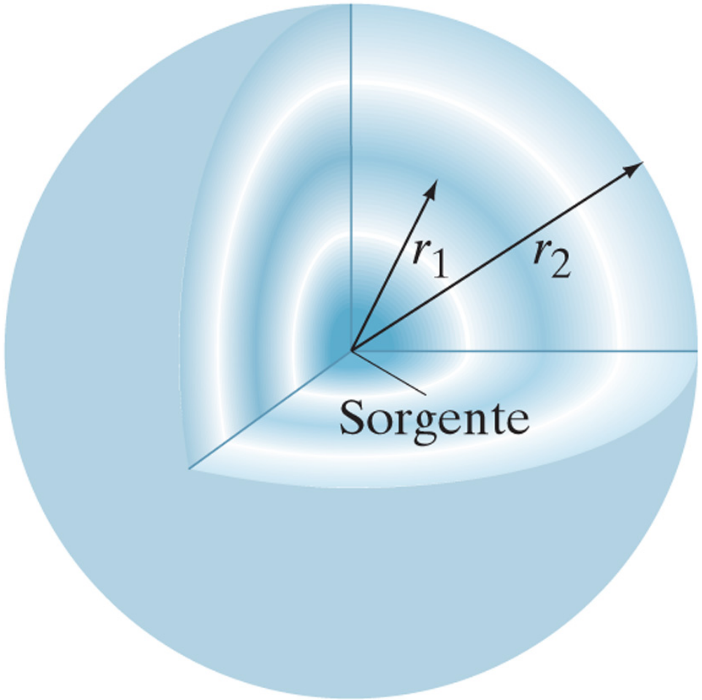
Un'onda sferica viene emessa con una potenza di 10 Watt. Quale è l'intensità alla distanza di 1 m?

$I = W/S = W/4\pi r^2 = 10W/(4\pi 1m^2) = 0.79$ W/m^2

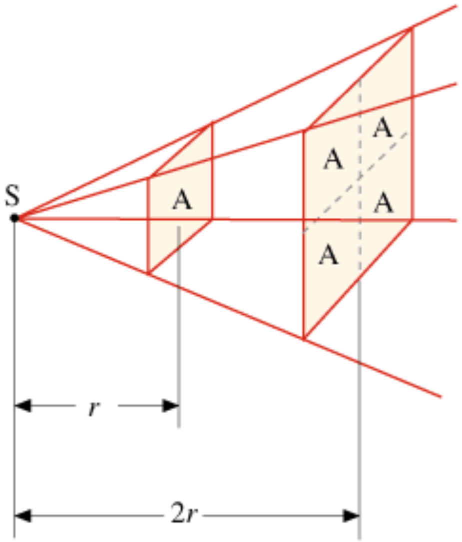
In formula

Siccome l'intensità di un'onda è proporzionale all'ampiezza al quadrato, abbiamo che
A^2*r^2=costante ovvero
A*r=costante
A=costante/r, quindi:

$$S(r,t) = \frac{A_0}{r}\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{r}{\lambda}\right)\right\}$$



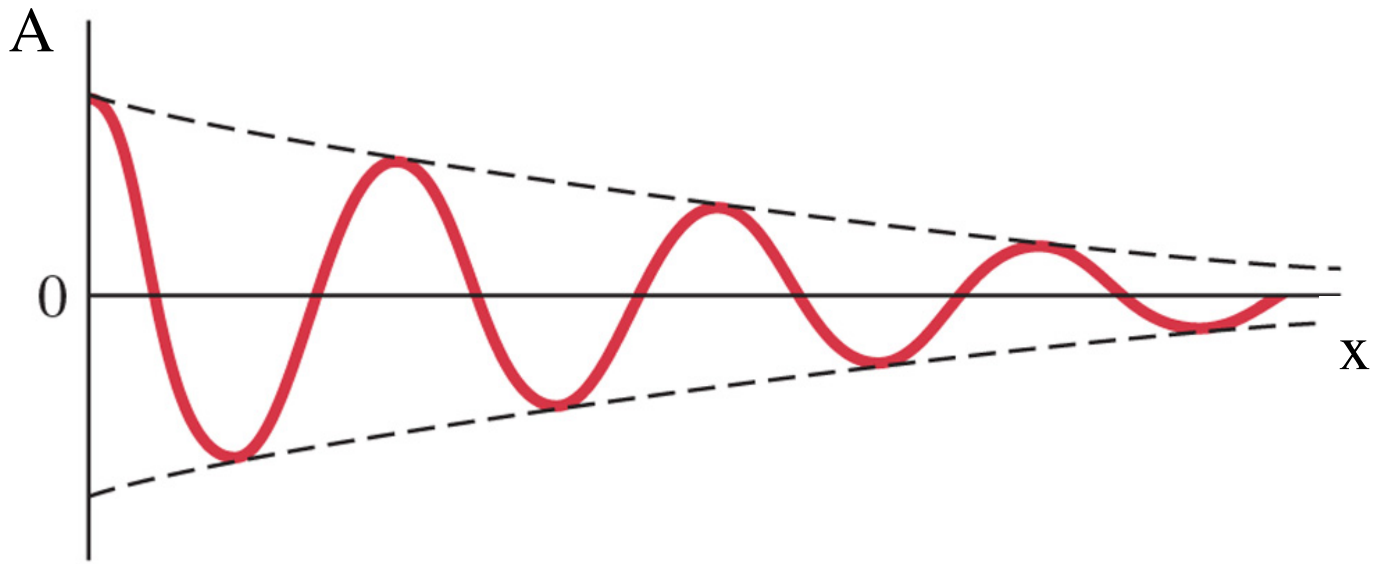
Fisica



L'ampiezza di un'onda sferica **decresce** allontanandosi dalla sorgente.
Lo stesso vale per una qualsiasi onda che si propaga su una superficie che aumenta, come risulta in figura per un'onde piana.

Smorzamento

L’intensità diminuisce allontanandosi dalla sorgente non solo per le onde sferiche ma per tutte le onde. Questo processo si dice smorzamento. Essendo l’intensità proporzionale al quadrato dell’ampiezza, lo smorzamento si traduce in una ampiezza che diminuisce con la distanza. Pensate a un terremoto o a una tsunami, i danni maggiori vengono fatti vicino all’epicentro!!!



Principi propagazione

La teoria della propagazione delle onde periodiche si fonda su 3 principi fondamentali:

1. Principio di Malus

2. Principio di Huygens

3. Principio di sovrapposizione o di indipendenza delle onde

Principio di Malus

Prima di tutto si ricordi che un’onda essenzialmente trasporta energia da un punto a un altro!!!

Se definiamo il raggio di propagazione come la linea perpendicolare a tutte le superfici d’onda che essa interseca, il principio di **Malus** afferma che i raggi di propagazione rappresentano quel cammino rettilineo lungo il quale l’energia trasportata dalle onde si propaga.

Questo principio è alla base dell’ottica geometrica (le lenti) dove la propagazione viene descritta da raggi.

Il principio afferma praticamente che nelle direzioni tangenti alle superfici d’onda NON c’è alcun trasporto di energia!!!

Principio di Huygens

Il principio di Huygens rappresenta la regola da usare per costruire il fronte d'onda a un dato istante se si conosce quello a un istante precedente.

Qualunque punto del mezzo, raggiunto da una superficie d'onda, può considerarsi una nuova sorgente della perturbazione.

Per comprendere meglio questo principio si parte da un caso molto semplice. Prendete il caso dei porti/porticcioli. Come mai l'entrata del porto NON è mai rivolta verso il mare ma è sempre laterale?
Perché vale il principio di Malus+Huygens!
Questo principio non era noto per l'ottica ma ancora prima di avere porti si cercavano baie naturali che erano protette dal mare aperto.

Principio di Huygens

Se abbiamo un fronte d'onda che impatta su un'ostacolo (il molo) provvisto di un piccolo ingresso, l'onda viene riflessa in tutti i punti tranne che dall'ingresso attraverso il quale si propaga verso l'interno come se l'ingresso fosse una nuova sorgente.

Per capire questo principio bisogna pensare all'onda come a un qualcosa che trasporta energia. Molta energia viene fermata dal molo, ma quella che arriva in corrispondenza dell'ingresso genera una nuova onda verso l'interno, ma la quantità di energia è ridotta!

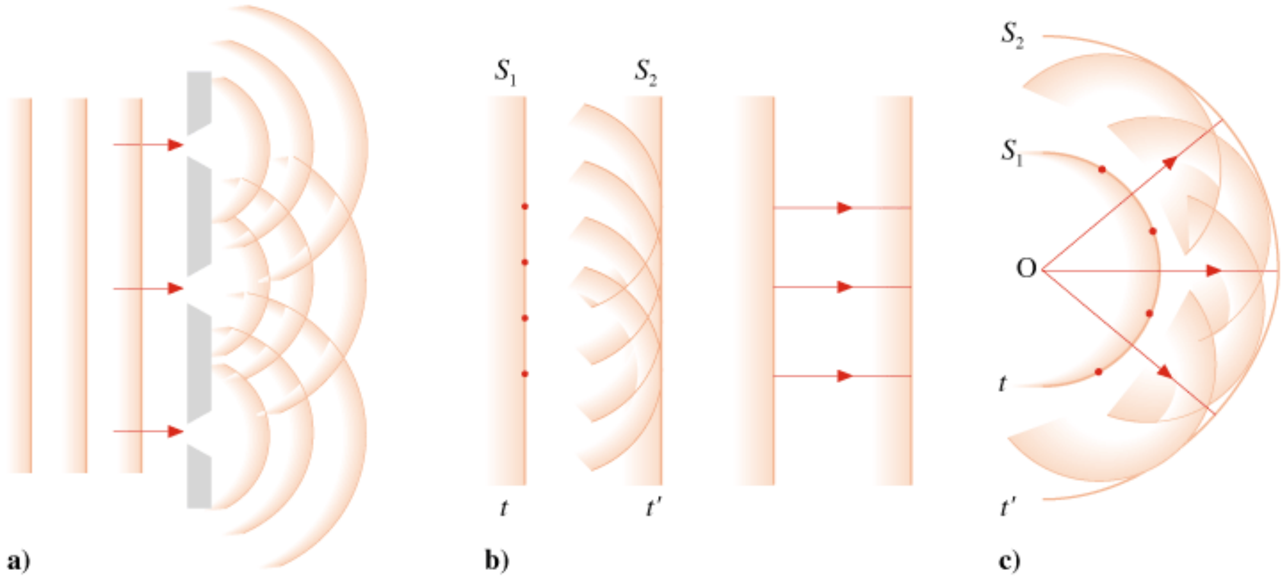
Questo è il motivo per cui i porti hanno quasi sempre ingressi laterali, così che non vengono impattati dal fronte d'onda.

Principio di Huygens

Le onde che si generano in corrispondenza di un'apertura sono sempre semicircolari a prescindere dal tipo di onda che ha impattato.

Figura 15.13

(**a**) In corrispondenza dell'apertura si originano superfici d'onda semicircolari. (**b**) Generazione di superfici d'onda: l'inviluppo dà luogo a un'onda piana successiva. (**c**) Generazione di superfici d'onda: l'inviluppo dà luogo a un'onda successiva circolare (nel piano) o sferica (nello spazio tridimensionale). Le frecce indicano la direzione di propagazione della superficie d'onda.



Principio di indipendenza e/o sovrapposizione

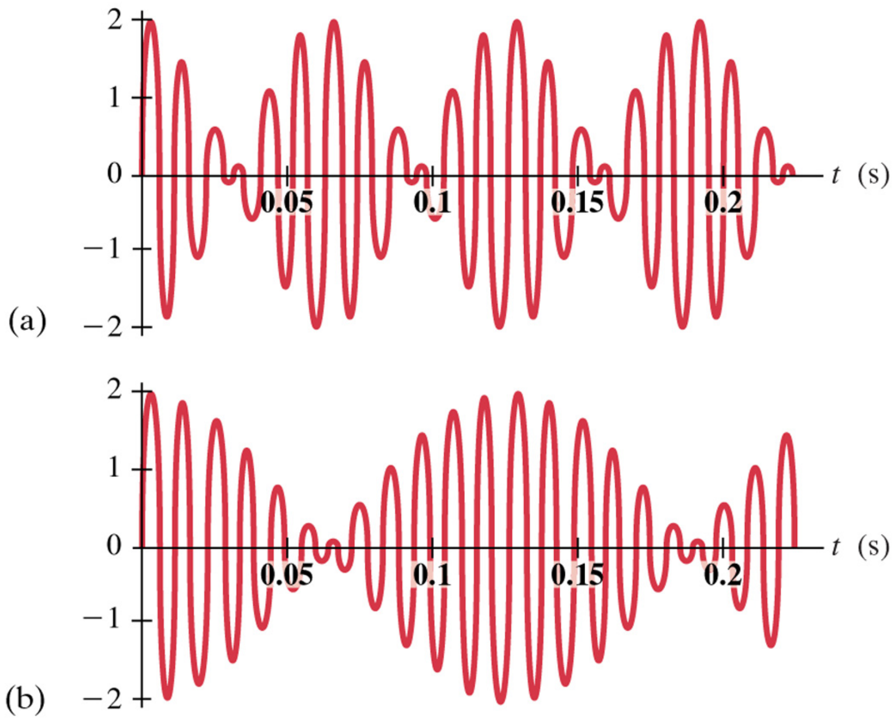
Il principio di sovrapposizione afferma che la propagazione di due o più onde nello stesso mezzo avviene come se le altre non fossero presenti e quindi la perturbazione in un dato punto è la somma vettoriale delle perturbazioni delle singole onde.

Significa che un'onda **NON** modifica le altre che si propagano insieme a essa, ovvero che **ciascuna onda è indipendente**.

Un'altra proprietà delle onde è la **direzionalità** che dipende fortemente dalla frequenza: maggiore è la frequenza di un'onda e più facile è la trasmissione di energia per "raggi".

Onde complesse

Sino ad ora abbiamo visto onde composte da una sola lunghezza d'onda o frequenza (onde monocromatiche). Nella pratica invece le "onde" possono anche essere complesse come in figura.

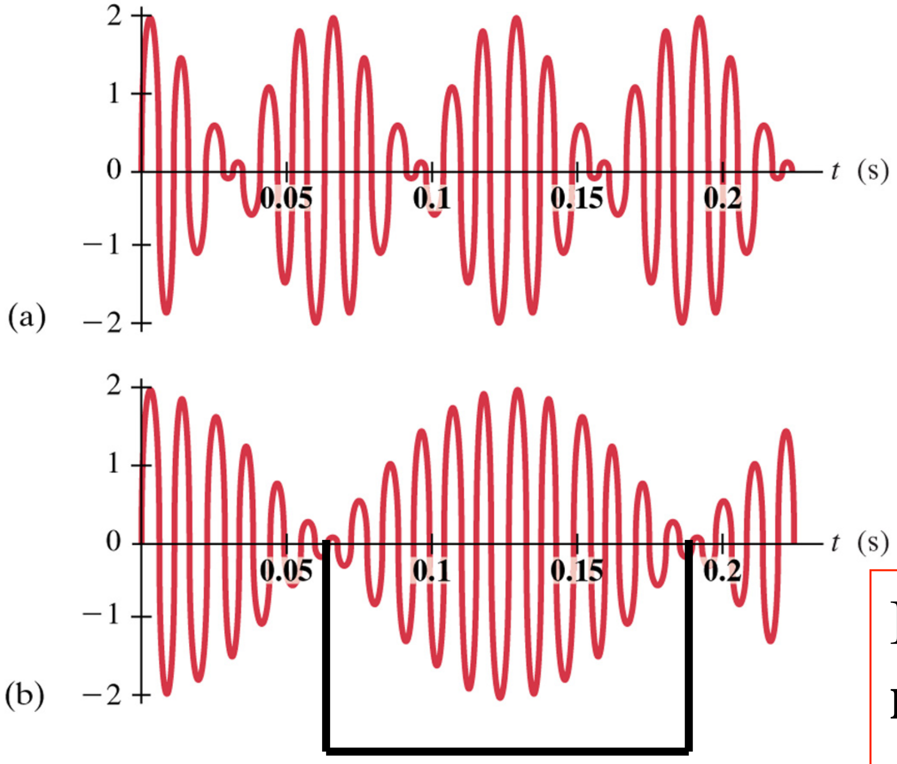


In figura sono mostrate due onde complesse ma che ancora mantengono una periodicità, cioè si ripetono dopo un certo tempo.

Analisi di Fourier

Esiste un ben noto teorema matematico, dovuto a Fourier, che dice che qualsiasi funzione periodica f(t) può essere rappresentata come somma di un numero finito, anche grande, di funzioni seno e coseno aventi ampiezze appropriate e frequenze multiple di quella della funzione f(t) stessa, la minima.

$$f(t) = C_0 +$$
$$S_1 \sin \omega t + C_1 \cos \omega t +$$
$$S_2 \sin 2\omega t + C_2 \cos 2\omega t +$$
$$S_3 \sin 3\omega t + C_3 \cos 3\omega t +$$
$$+ \ldots\ldots\ldots$$
$$S_n \sin n\omega t + C_n \cos n\omega t$$



Il periodo fissa la frequenza **minima** nello sviluppo di Fourier: sono ammessi tutti i multipli

Analisi di Fourier

$$f(t) = C_0 +$$
$$S_1 \sin \omega t + C_1 \cos \omega t +$$
$$S_2 \sin 2\omega t + C_2 \cos 2\omega t +$$
$$S_3 \sin 3\omega t + C_3 \cos 3\omega t +$$
$$+ \dots\dots\dots\dots$$
$$S_n \sin n\omega t + C_n \cos n\omega t$$

I coefficienti C e S si trovano utilizzando il calcolo integrale per delle note regole di integrazione delle funzioni periodiche;

$$C_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\,dt$$

$$C_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos(n\omega t)\,dt$$

$$S_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin(n\omega t)\,dt$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, N$$

Esempi

Spettro delle armoniche di un'onda periodica semplice (n=1,3,5), cioè frequenza fondamentale ω, 3ω e 5ω

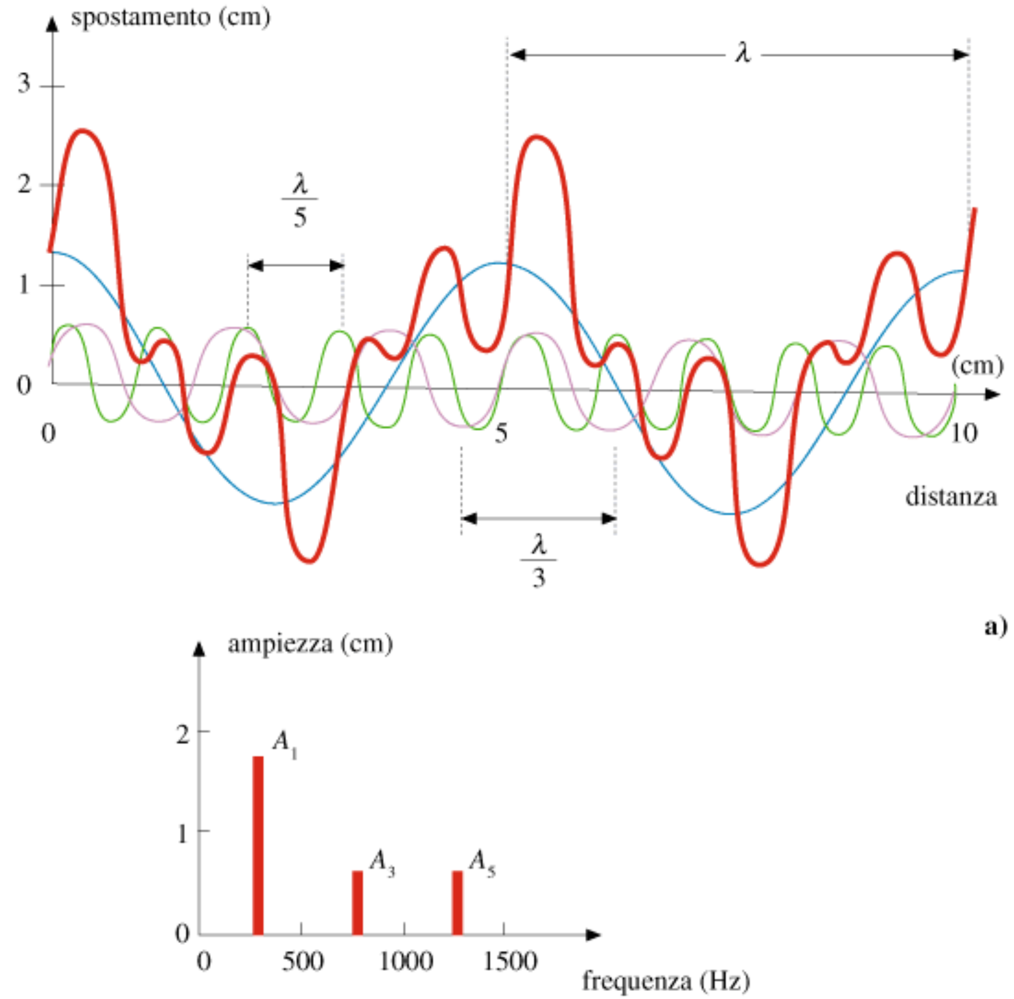
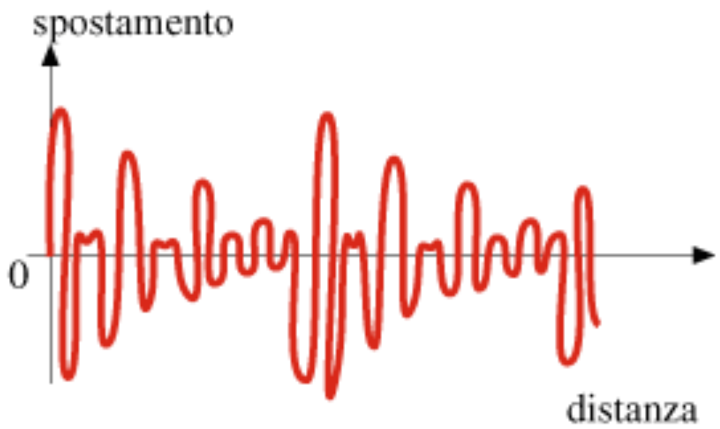
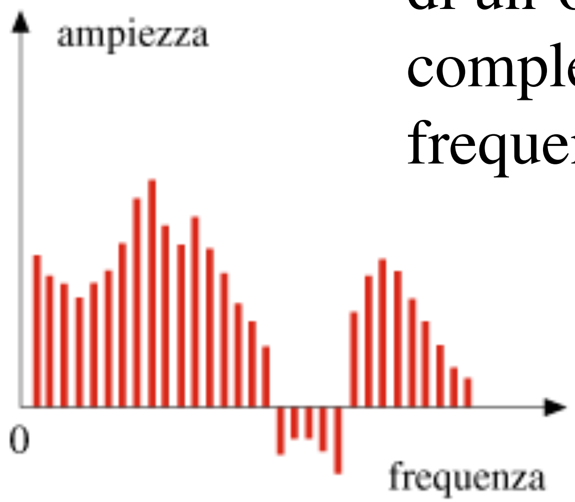


Figura 15.14

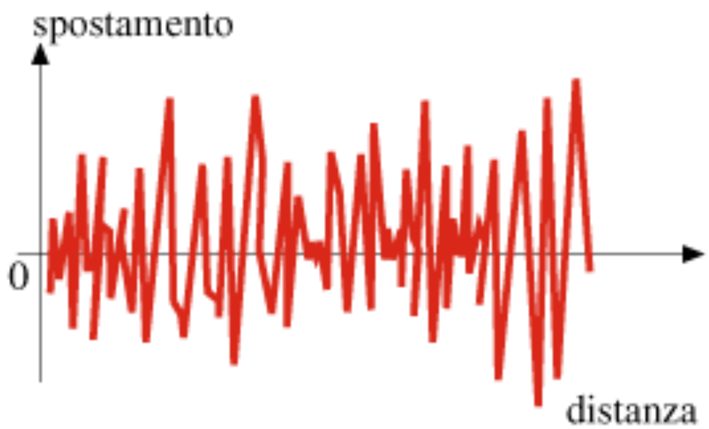
(a) La sovrapposizione di tre vibrazioni armoniche fornisce come risultato una vibrazione il cui spettro è riportato sotto in un grafico ampiezza-frequenza. Il tratto blu rappresenta l'armonica fondamentale avente lunghezza d'onda $\lambda = v\,T$. La terza armonica (rosa) e la quinta armonica (verde) hanno la stessa ampiezza. La vibrazione complessiva è riportata con una linea continua più spessa rossa. **(b)** Spettro di Fourier di un'onda periodica complessa. **(c)** Anche segnali ***non periodici*** possono essere analizzati in uno spettro di Fourier, che risulta allora essere continuo nelle ampiezze per l'addensamento delle frequenze, e non discreto come negli esempi **(a)** e **(b)**.

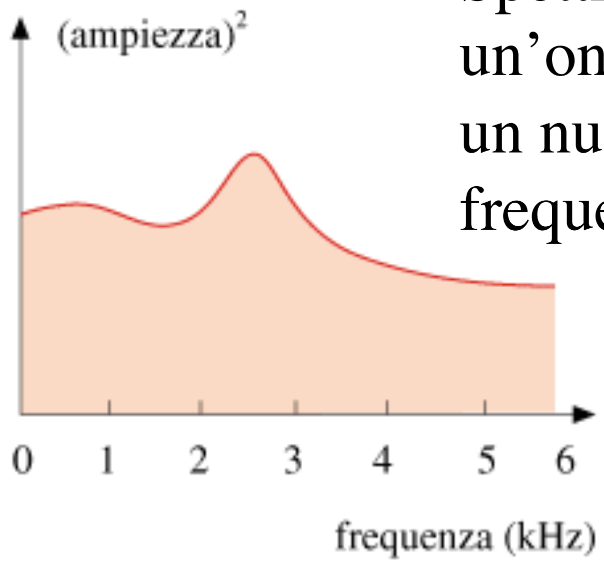
Esempi





Spettro delle armoniche di un'onda periodica complessa, molte frequenze ma discrete!

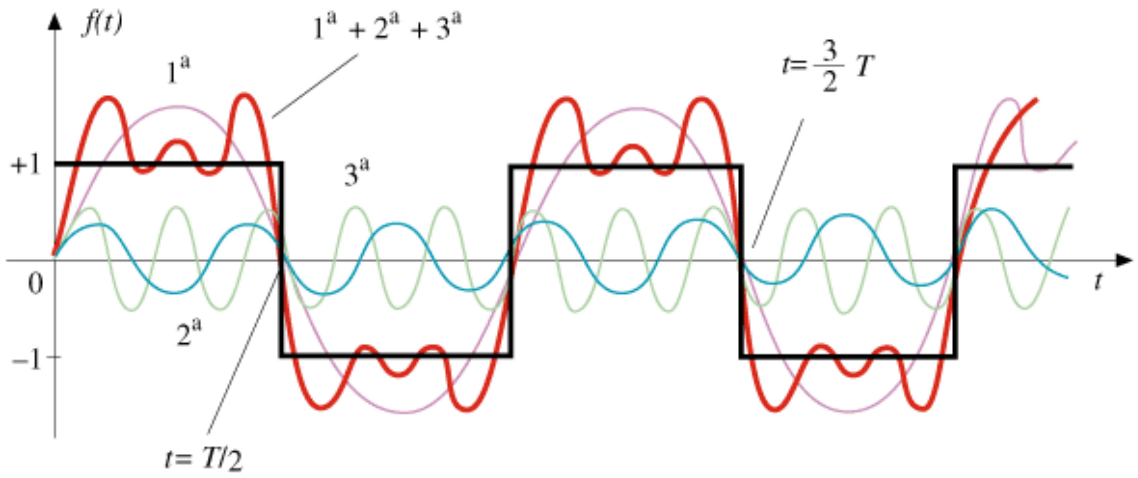




Spettro di potenza di un'onda non periodica, un numero infinito di frequenze!

Esempi

Figura 15.15
Onda quadra per la quale l'analisi di Fourier fornisce la somma di infiniti termini data dall'espressione (15.25). Sono raffigurate a colori le prime tre armoniche, la cui sintesi è mostrata a tratto rosso; già con solo 3 armoniche l'onda complessiva (linea rossa) comincia ad approssimare l'onda quadra.



EdiSES
Scannicchio
Fisica Biomedica
EdiSES

L'onda quadra è un'onda "dura" da scomporre in armoniche in quanto ha variazioni molto nette, al contrario delle funzioni seno e coseno che sono funzioni "soffici". Qui vediamo che se si considerano solo le tre armoniche si ottiene già una buona approssimazione (linea rossa).

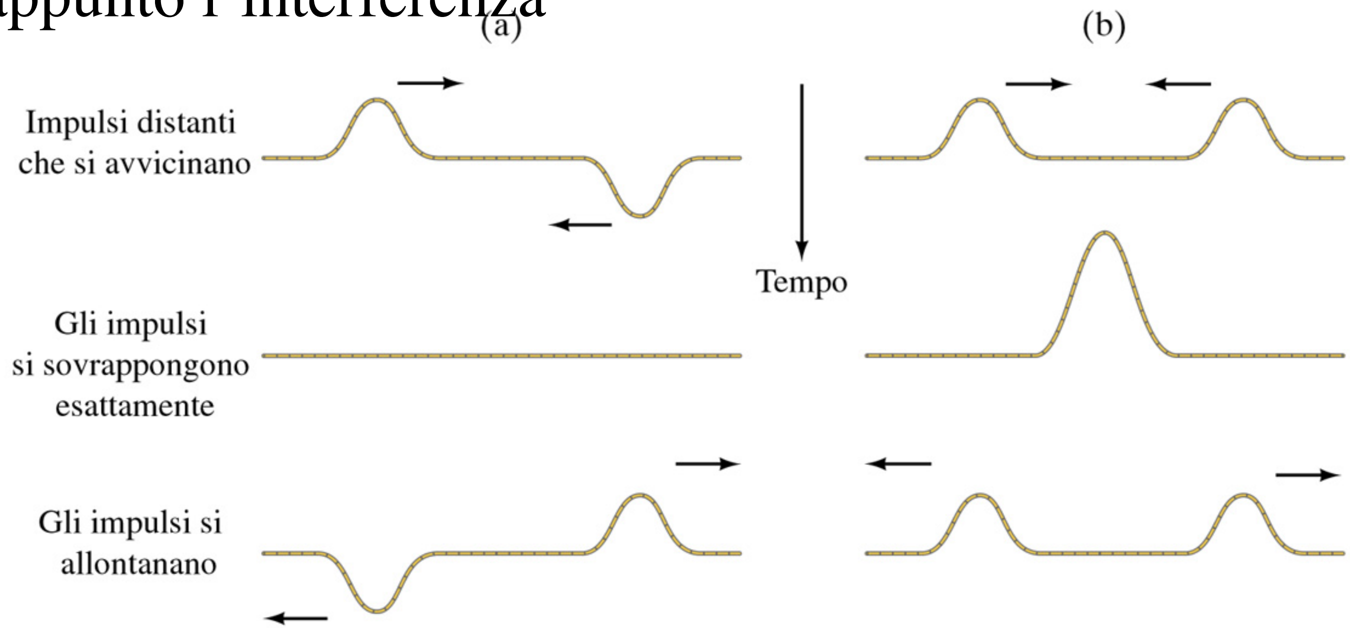
Interferenza

L’interferenza è un fenomeno caratteristico delle onde.

L’interferenza tra due onde si basa sul principio di sovrapposizione e indipendenza enunciato prima;

due onde che si propagano indipendentemente l’una dall’altra se si incontrano in un dato punto:

1. Si sommano vettorialmente
2. continuano il loro cammino come se niente fosse, ciascuna rimane indipendente, solo dove si incontrano si genera qualcosa di nuovo, detta appunto l’interferenza



In formula

Per semplicità consideriamo:

1. due onde aventi la stessa frequenza, la stessa direzione di vibrazione e che provengano da sorgenti coerenti, cioè le sorgenti creano onde con una differenza di fase rigorosamente costante nel tempo
2. La differenza di fase tra le due onde sia nulla e abbiano la stessa ampiezza A

$$S = S_1 + S_2 = A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right)\right\} + A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)\right\}$$

Possiamo scrivere che la somma delle due perturbazioni sia ancora una funzione sinusoidale con la stessa frequenza, dobbiamo trovare R e ϕ:

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

In formula

Dobbiamo trovare R e ϕ, lo si fa utilizzando le formule di **prostaferesi e la formula di bisezione del coseno:**

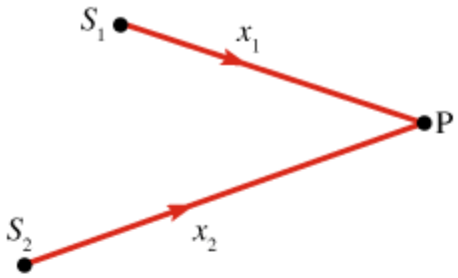


Figura 15.23
Le due vibrazioni si sommano nel punto P originando il fenomeno dell'interferenza.

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

$$R = A\sqrt{2+2\cos\frac{2\pi(x_2-x_1)}{\lambda}}$$

$$\phi = \pi\frac{(x_1+x_2)}{\lambda}$$

Vediamo che nel punto P le onde hanno ampiezza massima R=2A quando all'interno della radice il coseno vale 1.
Questo succede quando l'argomento del coseno vale un numero intero di angoli giro 2π, 4π, 6π, 8π….
o parlando di differenza tra x_2 e x_1: $\mathbf{x_2 - x_1 = n\lambda}$, cioé il cammino cambia di un numero intero di lunghezze d'onda! **Cosa significa???**

In formula

Dobbiamo trovare R e ϕ, lo si fa utilizzando le formule di **prostaferesi e la formula di bisezione del coseno:**

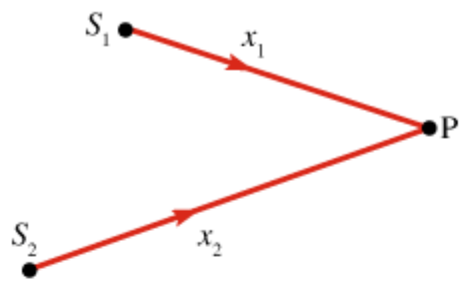


Figura 15.23
Le due vibrazioni si sommano nel punto P originando il fenomeno dell'interferenza.

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

$$R = A\sqrt{2 + 2\cos\frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\lambda}}$$

$$\phi = \pi\frac{(x_1 + x_2)}{\lambda}$$

Invece quando il coseno vale -1, l'ampiezza è zero. Questo succede quando la differenza di fase, o argomento del coseno, è un numero dispari di angoli π, 3π, 5π, 7π

O parlando in termini di differenza di cammino, x_2-x_1=nλ/2 (n dispari)!

Cosa significa???

Esempi

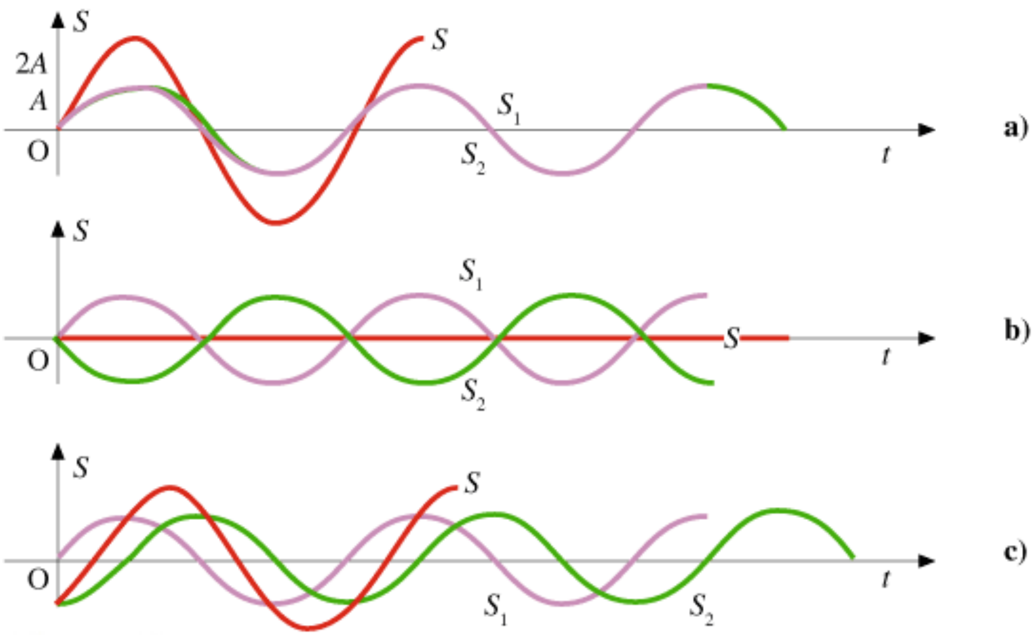


Figura 15.24

(a) Le vibrazioni sono in ***concordanza di fase***, l'interferenza è costruttiva e si origina una vibrazione della stessa frequenza e di ampiezza doppia. **(b)** Le vibrazioni sono in ***opposizione di fase***, l'interferenza è distruttiva e si ottiene l'assenza di vibrazioni (ampiezza nulla). **(c)** Le vibrazioni sono in ***quadratura di fase*** e si origina una vibrazione con la stessa frequenza, sfasata di $\pi/4$ e di ampiezza pari a $\sqrt{2}$ A.

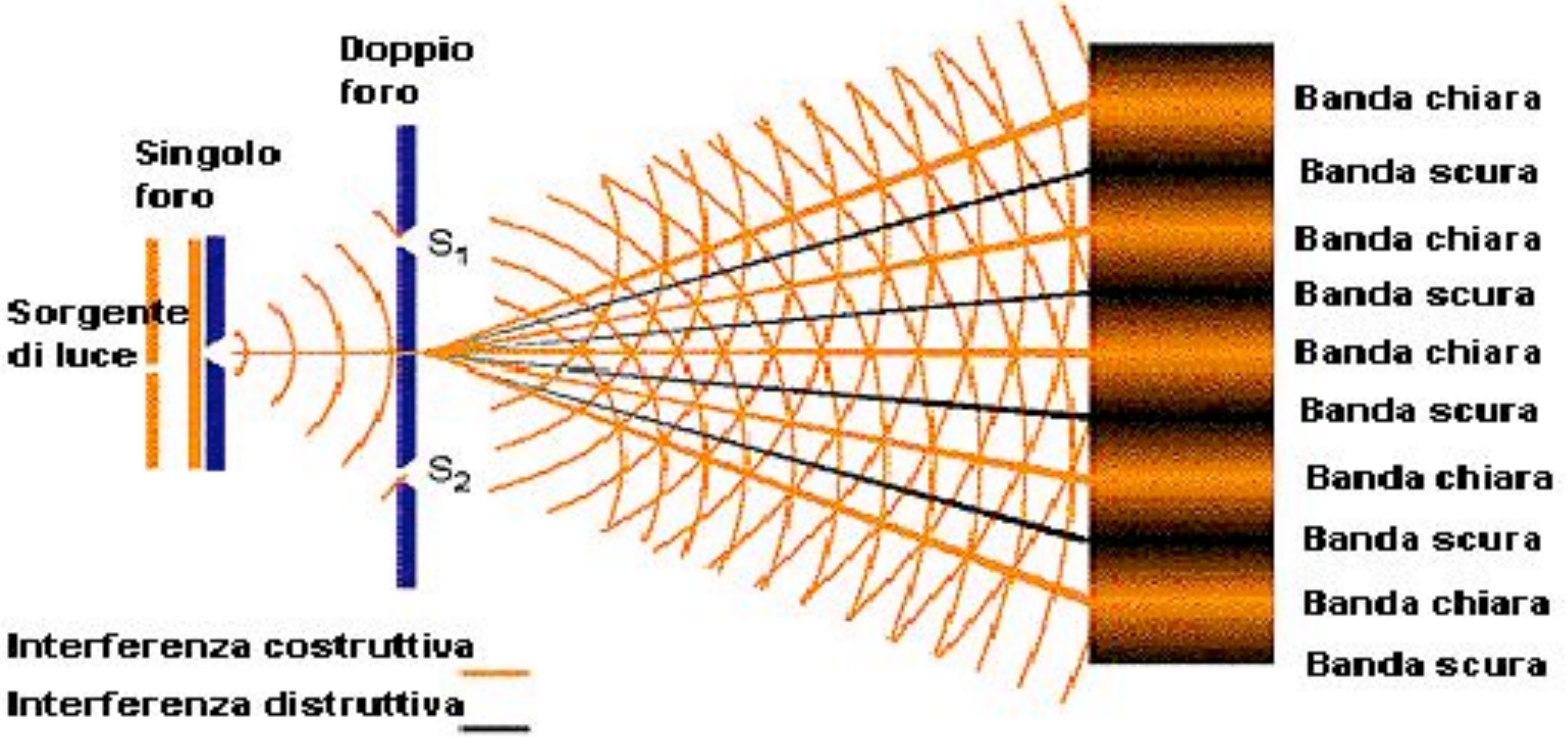
a) le perturbazioni sono in concordanza di fase e abbiamo un interferenza costruttiva

b) in opposizione di fase e interferenza distruttiva

c) sono in quadratura di fase, $R=A\sqrt{2}$ ($x_2-x_1=n\lambda/4$, n dispari)

Esempi

Naturalmente l'ampiezza massima dipende dai punti x_1 e x_2 e può variare da punto a punto. In figura viene riportata la figura d'interferenza di un'onda che passa attraverso 2 fenditure e come si vede nella stessa figura d'interferenza ci sono regioni con interferenza costruttiva e distruttiva:



Lezione 21 del 23/11/2017

Onde stazionarie

Le onde stazionarie sono un fenomeno di **interferenza** che ha origine quando si incontrano due onde che viaggiano in senso opposto.
Uno degli esempi più importanti è quello delle vibrazioni nelle corde della chitarra. La formula è molto semplice, ancora formula di prostaferesi:

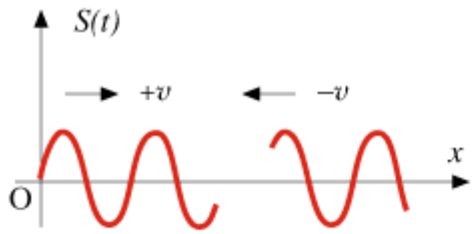


Figura 15.25
Onde viaggianti nella stessa direzione, ma in senso opposto. La loro interferenza causa un'onda stazionaria.

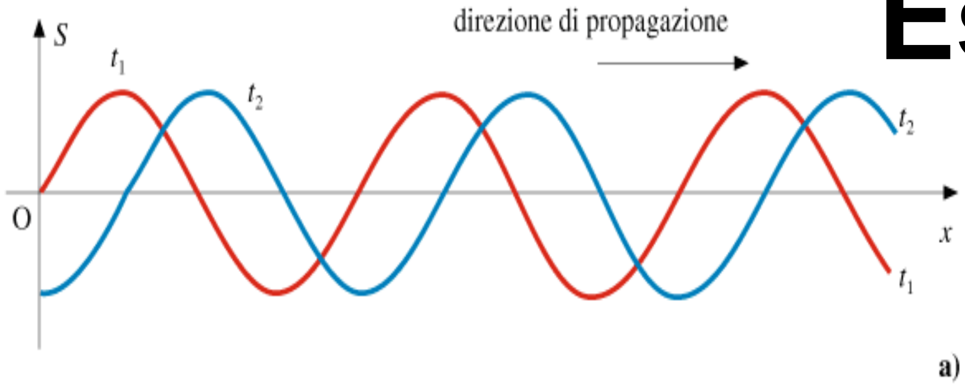
$$\sin p + \sin q = 2\sin\left(\frac{p+q}{2}\right)\cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$S = S_1 + S_2 = A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)\right\} + A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T}+\frac{x}{\lambda}\right)\right\}$$

$$S = 2A\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)\cos\left(2\pi\frac{x}{\lambda}\right)$$

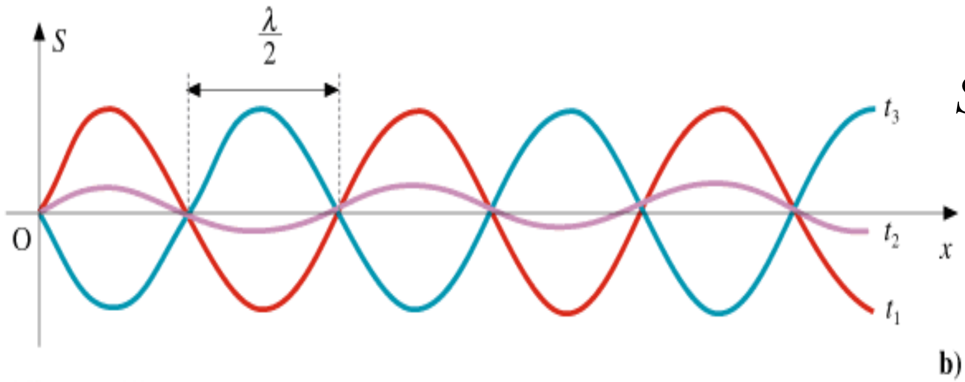
Nella soluzione c'è separazione tra tempo e spazio!!!
Cosa implica?

Esempi



$$S = A\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right\}$$

Onda non Stazionaria



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

Onda Stazionaria

$$S = 2A'(t) \times \cos\left(2\pi\frac{x}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)$$

Significa che il massimo dell'ampiezza si ha sempre nello stesso punto, viene solo modulato tra zero e 2A in funzione del tempo.
Anche il minimo dell'ampiezza, zero, si ha sempre nello stesso punto (nodo), quando l'argomento del coseno vale un numero dispari di π.
Le onde stazionarie hanno origine quando il mezzo (una corda) ha lunghezza pari a un numero intero di mezze lunghezze d'onda!!!

Esempi

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

$$S = 2A\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right)\cos\left(2\pi\frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = n\pi; \lambda = \frac{2x}{n}$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = n\pi; \lambda = \frac{2x}{n}$$

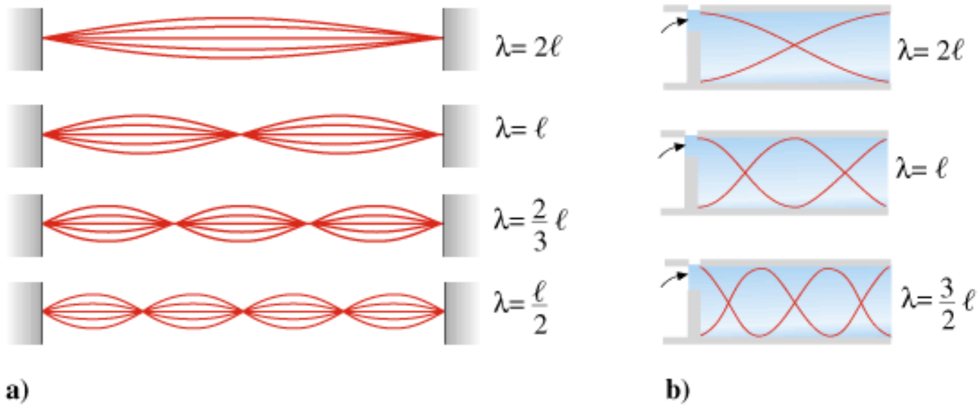


Figura 15.27
(a) Onde stazionarie su una corda fissata a entrambe le estremità. I punti estremi sono nodi. **(b)** Lo stesso fenomeno si verifica nella propagazione di onde sonore in tubi chiusi o aperti alle estremità (strumenti a fiato e orecchio esterno, si veda il § 15.5). In **(b)** è mostrato il caso di un tubo aperto a entrambe le estremità.

Nel primo caso abbiamo l'esempio di una corda fissata alle estremità, qui si richiede che i nodi siano alle estremità, visto che la corda è ivi fissata

Nel secondo caso, strumento ad aria aperto ad entrambe le estremità, si richiede che qui vi siano i massimi di ampiezza.

Battimenti

I battimenti sono un altro fenomeno legato all'interferenza di due onde che si verifica quando le due onde hanno frequenza di poco diversa.

Se le onde hanno frequenza molto vicina per un certo periodo le onde saranno in fase, mentre in un periodo successivo non lo saranno più, come mostrato in figura.

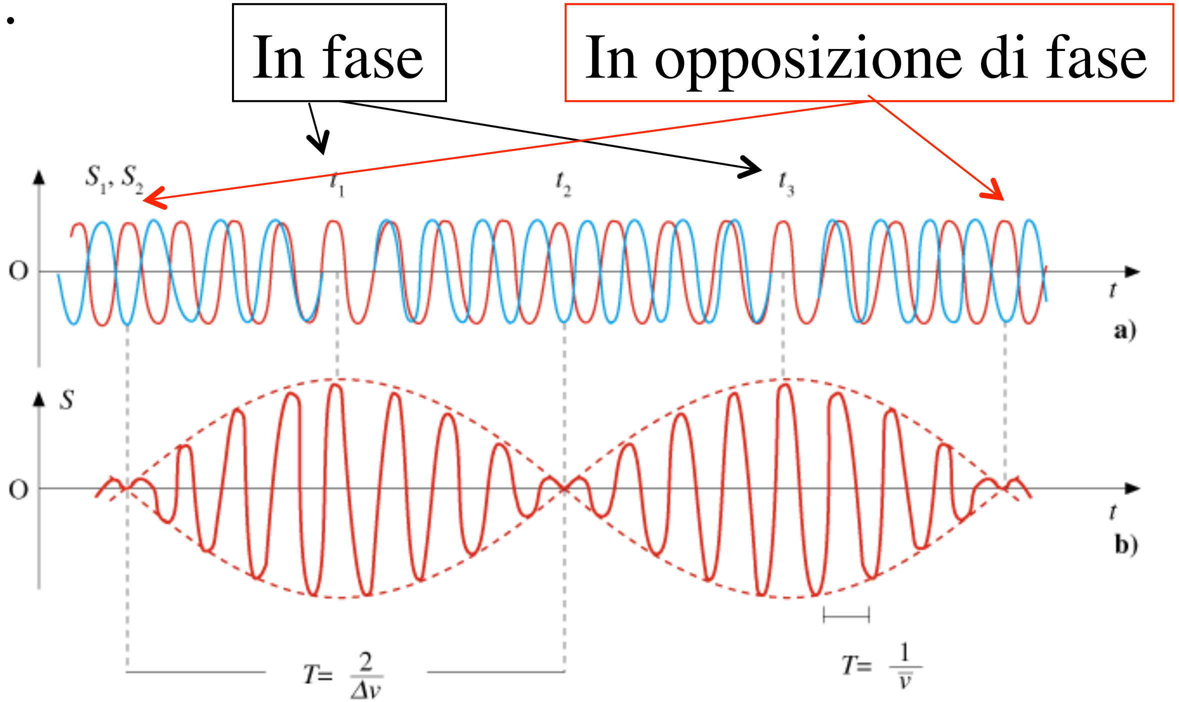
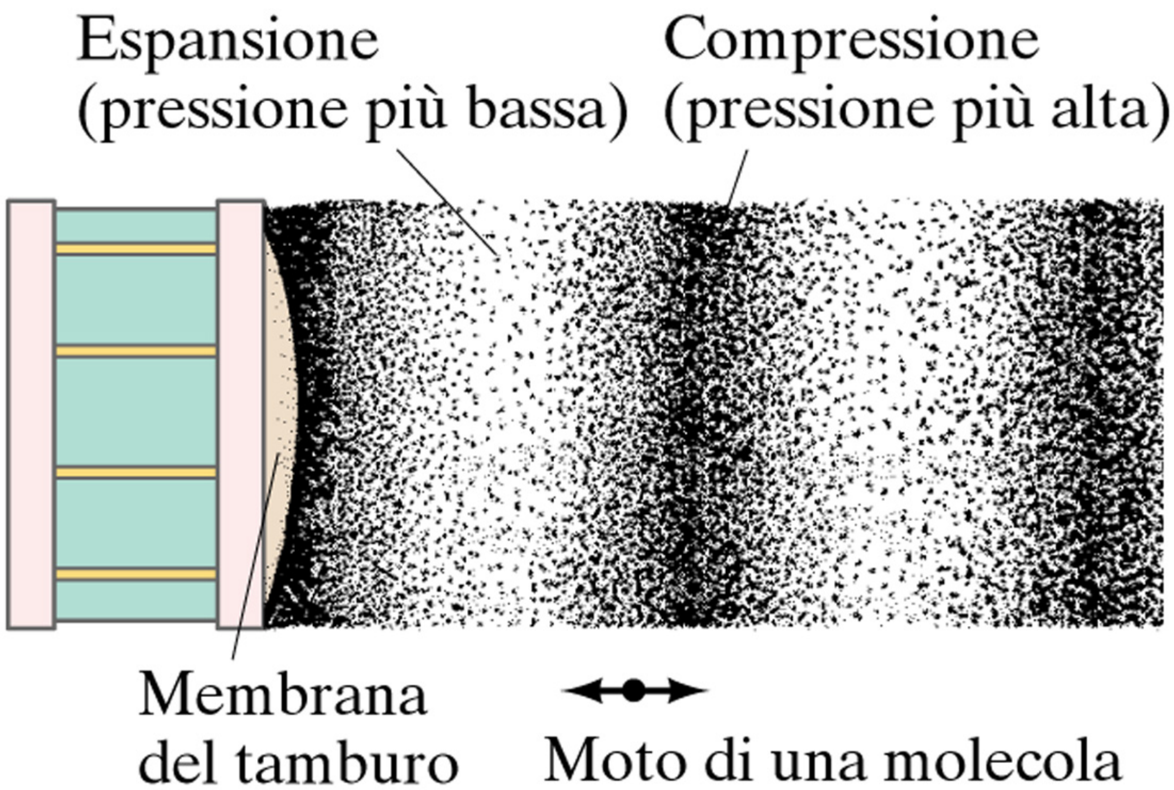


Figura 15.28
(**a**) Due onde di diversa frequenza che sono in fase al tempo t_1, al tempo t_2 sono in opposizione di fase e al tempo t_3 sono di nuovo in concordanza di fase. (**b**) Onda risultante delle due mostrate in (**a**). La frequenza dell'oscillazione rapida è circa uguale a quella delle due onde originarie, ma l'ampiezza è modulata, com'è indicato dall'inviluppo tratteggiato con una frequenza molto minore.

Si produce un'onda di frequenza pari alla media delle frequenze e modulata in ampiezza da un'onda di frequenza pari alla differenza.

Suono

- Onde o vibrazioni di natura elastica
- Necessitano di un mezzo per propagarsi
- Onde longitudinali nei fluidi, nei cristalli anche trasversali



Velocità

La velocità del suono dipende fortemente dal mezzo nel quale le onde si propagano

Materiale	Velocita m/s
Aria	343
Elio	1005
Idrogeno	1300
Acqua	1440
Acqua di mare	1560
Legno	4000
Vetro	4500
Ferro e acciaio	5000

La velocità non dipende dalla lunghezza d’onda o dal periodo dell’onda elastica

Esempio

- Distanza da un temporale

Quando un fulmine colpisce la terra emette un suono, detto tuono. Di solito vediamo prima la luce del fulmine e poi sentiamo il rumore caratteristico. Perché? La luce si propaga più velocemente del suono. Se abbiamo un ritardo di 3 secondi vuol dire che il suono ha impiegato 3 secondi a raggiungerci da quando il fulmine è caduto. Significa che ha viaggiato per circa 1 km.

Tono e timbro

Il suono oltre a un’intensità come tutte le onde ha anche un tono. Questo è dovuto al nostro orecchio che percepisce i suoni di piccola frequenza come toni bassi (tamburo o un basso a corde) e come toni alti le alte frequenze (violino).

Si parla anche di timbro del suono che dipende dalla forma della vibrazione e quindi dal numero e dall’ampiezza di ciascuna vibrazione armonica semplice in cui può essere diviso il suono.

Le frequenze si misurano in Hertz Hz (cicli/secondo):

$f < 20$ Hz	Onde infrasoniche
20 Hz $< f <$ 20000 Hz	intervallo di udibilità
$f > 20000$ Hz	ultrasuoni

Decibel

L'intensità del suono si misura in W/m^2 ma esiste anche una grandezza che esprime l'intensità sonora rispetto a una intensità di riferimento. Questa è presa come la minima intensità udibile dall'orecchio umano, $I_0=10^{-12}$ W/m^2

Il decibel esprime l'intensità sonora come

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Se abbiamo un suono di intensità 10^{-10} W/m^2 corrisponde a 20 Decibel (Db)

La soglia di dolore dell'orecchio umano corrisponde a 1 W/m^2
Ovvero a 120 Db

Intensità

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Sorgente	Db	I (W/m^2)
Aviogetto a 30 m	140	100
Soglia dolore	120	1
Concerto rock	120	1
Sirena a 30 m	120	1
Strada trafficata	70	10^{-5}
Conversazione	60	10^{-6}
Radio basso volume	40	10^{-8}
Sussurro	20	10^{-10}
Fruscio foglie	10	10^{-11}
Soglia udito	0	10^{-12}

Ultrasuoni

Si possono produrre/rivelare ultrasuoni sino alla frequenza di 1 GHz (un miliardo di Hertz). Dalla relazione $\lambda f=v$ si può ricavare la lunghezza d'onda sapendo che la velocità in aria vale 343 m/s e in acqua 1450 m/s:

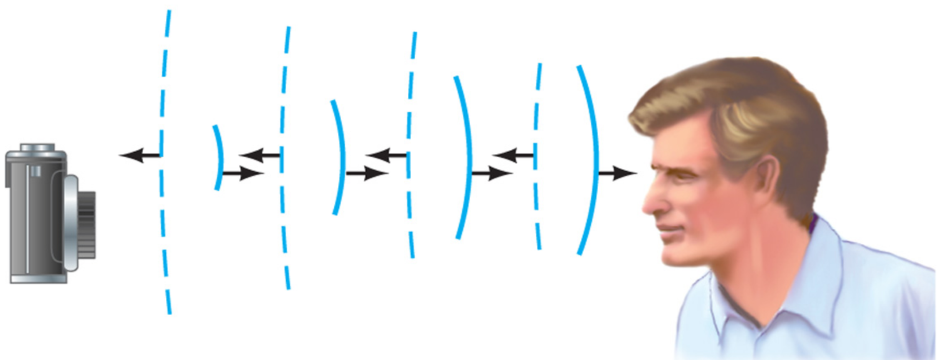
Lunghezza d'onda di un ultrasuono in aria e acqua
$f=1\ \text{GHz} = 10^9\ \text{Hz}$
$\lambda= v/f = 343\ \text{m/s} /10^9\ \text{Hz}=0.3\ \mu\text{m}$ aria
$\lambda= v/f =1450\ \text{m/s} /10^9\ \text{Hz}=1.5\ \mu\text{m}$ acqua

Le lunghezze d'onda sono molto piccole e quindi si ha un'alta direzionalità nella trasmissione degli ultrasuoni, che si presentano a fasci molto simili a dei veri e propri raggi sonori.

Esempio

Le macchine fotografiche con autofocus emettono un suono ad altissima frequenza (ultrasuono) che colpisce l'oggetto da fotografare e torna indietro. L'apparecchio calcola il tempo che intercorre tra l'emissione e l'assorbimento e stima la distanza.

Qui si sfrutta l'alta direzionalità dell'ultrasuono.



dist= 2 m o dist= 40 m, velocita nell'aria 343 m/s

Δt=dist/v=2m/(343 m/s)=2/343 s=0.0058 s= 5.8 ms

Δt=40m/(343 m/s) = 0.12 s = 120 ms=0.12 s

Ultrasuoni

Gli ultrasuoni in medicina vengono usati non solo in diagnostica ma anche in terapia:

- Azioni meccaniche (frantumano calcoli e tartaro)
- Dispersione, effetto della cavitazione
- Calore

In medicina si usano intensità tra 10^{-4} W/cm^2 e 10 W/cm^2=**10^5 W/m^2**
Quando si agisce su piccole zone si possono produrre fasci con alta intensità. L'energia non è tanta ma viene focalizzata su una regione ristretta, i danni per quella regione possono essere enormi.

Si ricordi che quando si parlava di radiazione assorbita da una persona stesa al sole si parlava di intensità di 10^3 W/m^2.

$$\Delta p_0 = \sqrt{2Ivd}$$

Attenuazione

Un'onda che attraversa un materiale perde energia per attrito. Si dice che c'è stato assorbimento o attenuazione dell'onda.
La legge è la seguente. Data un'intensità I_0 che attraversa un mezzo di spessore x, all'uscita del mezzo l'intensità I sarà minore

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$

α è detto coefficiente di assorbimento o attenuazione

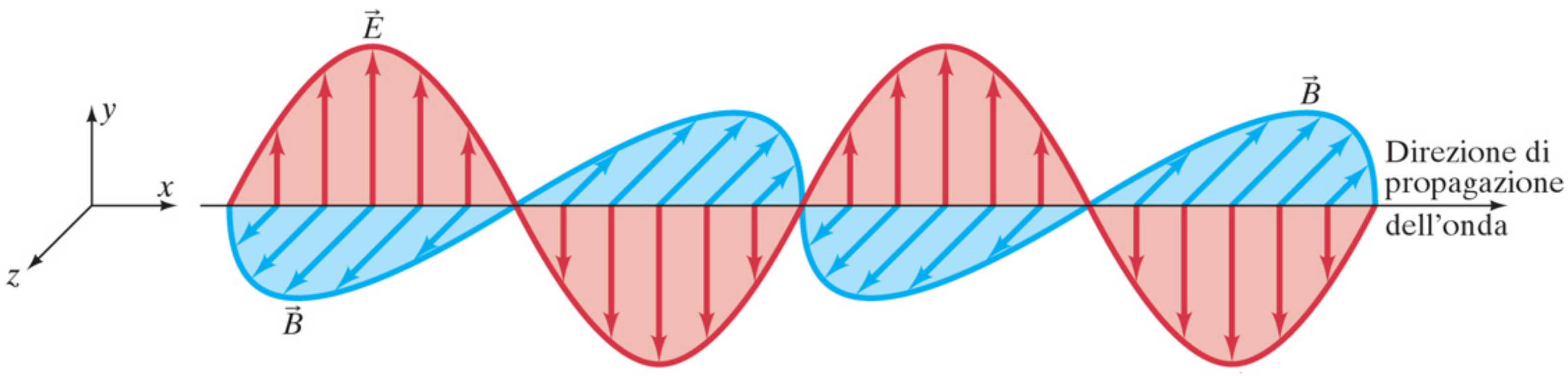
Per il suono α è proporzionale alla frequenza. Più la frequenza è alta più energia viene persa per attrito=calore.
Gli ultrasuoni (alte frequenze) vengono usati per scaldare i tessuti interni, effetto terapeutico, anche se non si sa bene quale sia il meccanismo molecolare.

Onde E-M

Abbiamo visto che campi elettrici e magnetici sono tra loro correlati.
- Le cariche in movimento (correnti) creano campi magnetici
- I campi magnetici variabili creano correnti elettriche

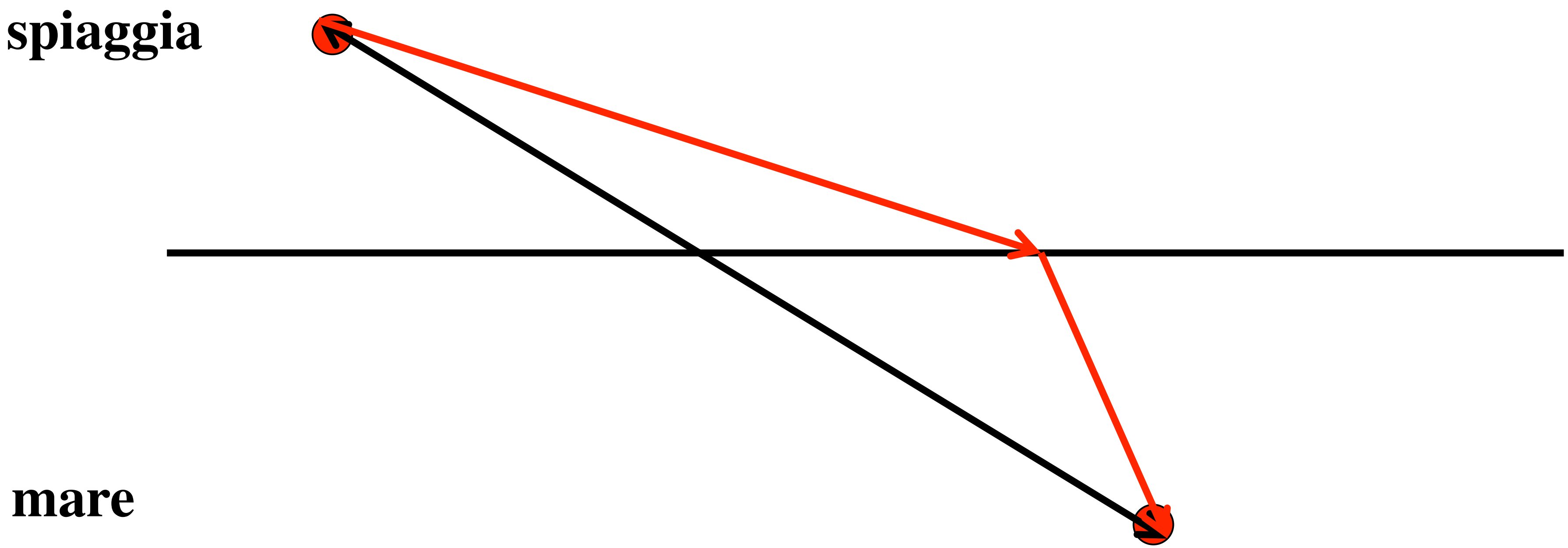
La loro correlazione è molto più forte, la luce è un'onda di natura elettromagnetica
- propagazione anche nel vuoto, velocità $c = \lambda f = 300000$ km/s
- perturbazione sono i campi elettrici e magnetici
- E e B sempre perpendicolari tra loro
- onde trasversali
- Trasportano energia, le ampiezze dei campi

Trasversali



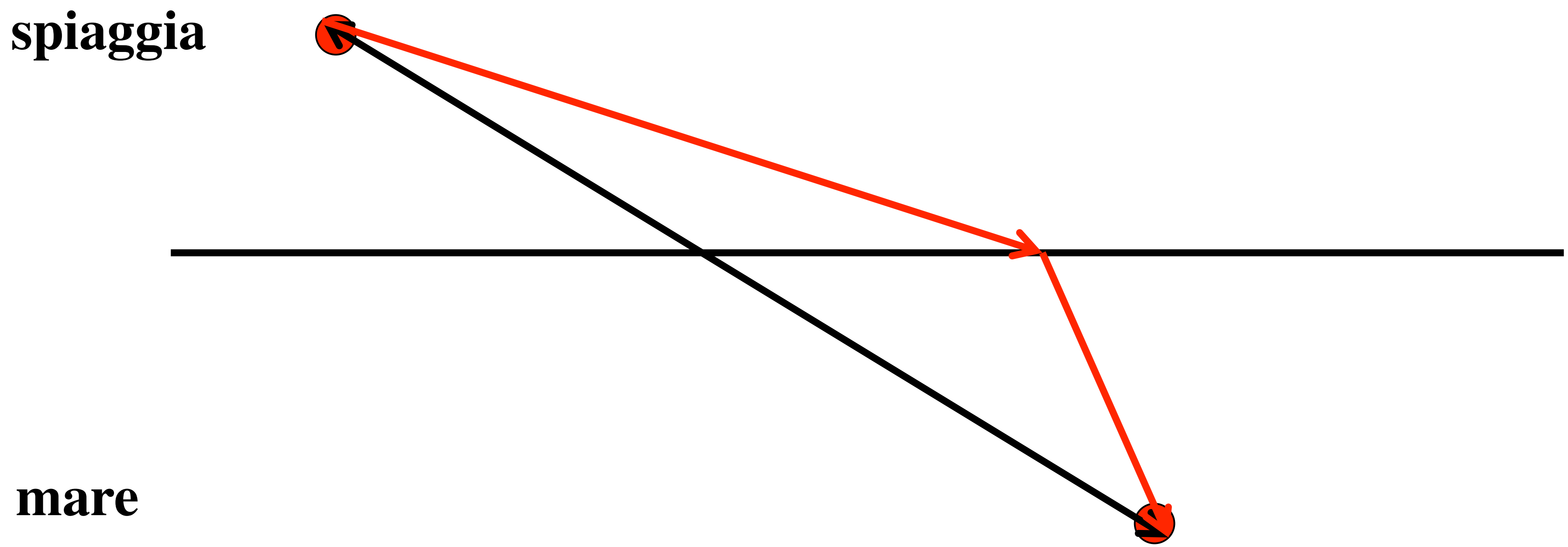
Fermat: la rifrazione

Pensiamo di dover salvare una persona che sta annegando al mare. Cosa deve fare il bagnino? Arrivare nel minor tempo possibile. Quale strada sceglie? La più corta? NO, la più breve in termini di tempo!!! E siccome si passa dalla spiaggia al mare (due mezzi diversi) e tutti sanno che in mare le persone viaggiano molto meno velocemente che in spiaggia, il percorso più breve sarà più lungo sulla spiaggia e meno in mare, come in figura.



Fermat: la rifrazione

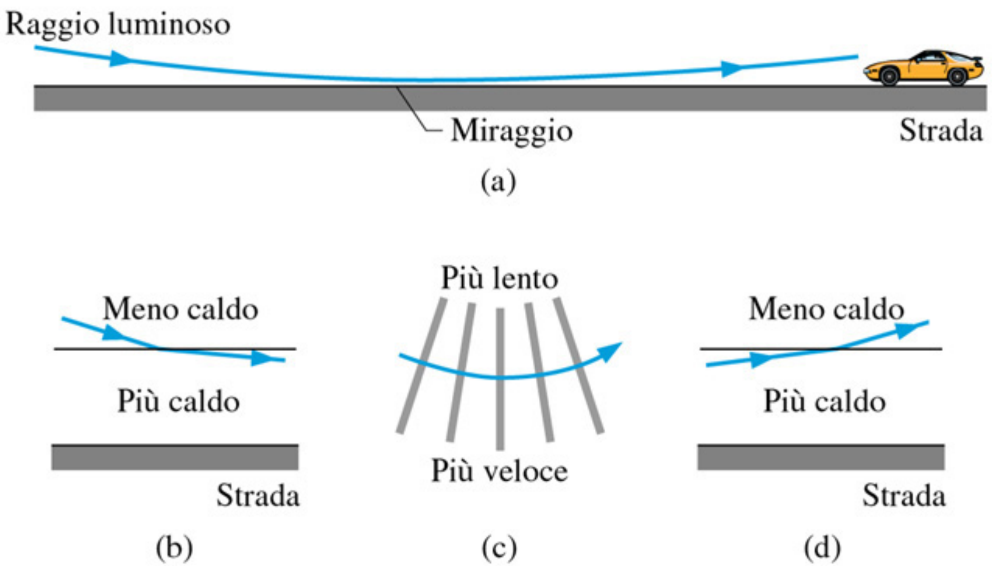
Questo è esattamente il meccanismo della rifrazione. C'è però una domanda: come fa la luce a sapere che quello è il cammino più breve? Li prova tutti e poi decide? Diciamo di si, tutti i cammini vengono provati, ma quelli vicini al più breve sono quelli più probabili.
In analogia a quanto visto con l'entropia, cosi come i sistemi tendono a massimizzare l'entropia perché ci sono più microstati, anche qui ci sono tanti cammini vicini al più breve e quindi si tende verso il cammino più breve.



Fermat: il miraggio

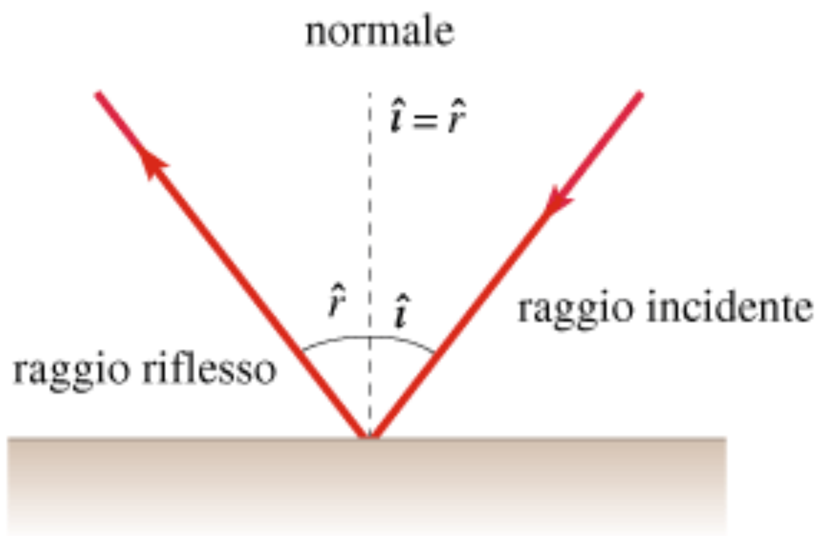
Nel miraggio la luce “devia” dal percorso rettilineo perché la velocità è maggiore negli strati più bassi dove la temperatura è maggiore e la densità dell’aria minore. Questo percorso è il più breve.

Noi vediamo arrivare dall’asfalto qualcosa che invece sta a una quota superiore: il cielo (azzurro) si riflette sulla strada e sembra ci sia una pozza d’acqua. Qui diversamente dall’esempio della rifrazione abbiamo un cammino non spezzato perché non c’è una vera e propria discontinuità tra gli strati d’aria.



Riflessione

Si ha riflessione quando un'onda giunge alla superficie di separazione tra il mezzo in cui si propaga e uno diverso. Attraverso il Principio di **Huygens** si può ricavare la legge della riflessione: il raggio di propagazione viene riflesso in un piano contenente il raggio incidente e la normale alla superficie nel punto di incidenza e gli angoli dei due raggi rispetto a questa normale sono coincidenti:

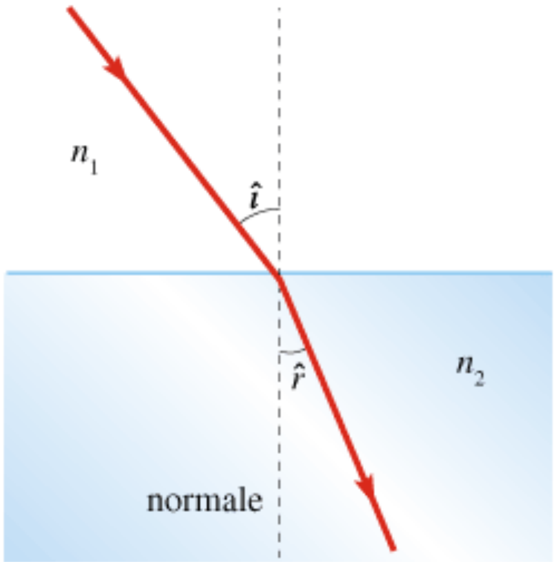


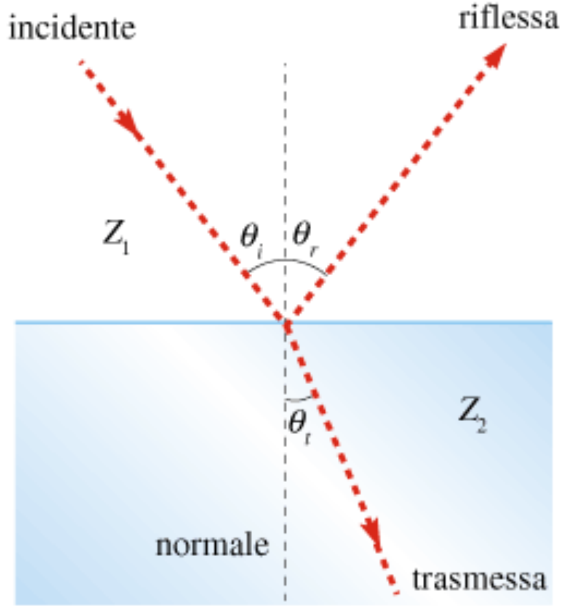
Rifrazione e riflessione

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

L'angolo si avvicina alla normale nei mezzi più rifrangenti, ovvero in quelli con indice di rifrazione maggiore, come mostrato nella figura a sinistra.

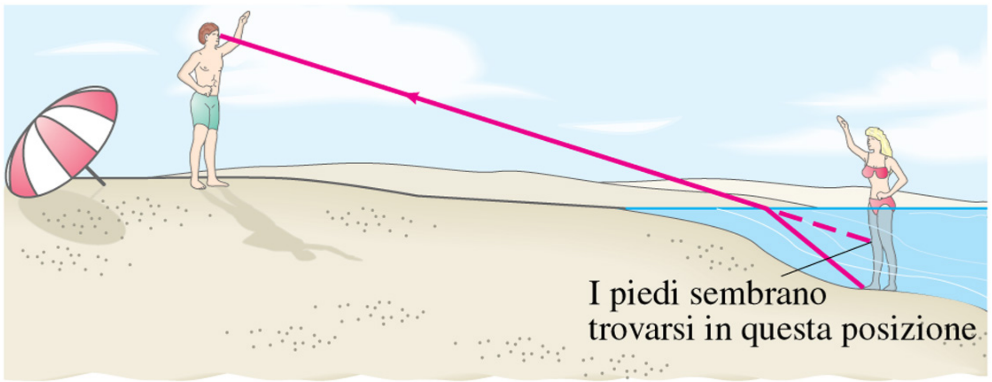
Molto spesso riflessione e rifrazione sono meccanismi concomitanti, cioè un'onda viene sia riflessa che rifratta.

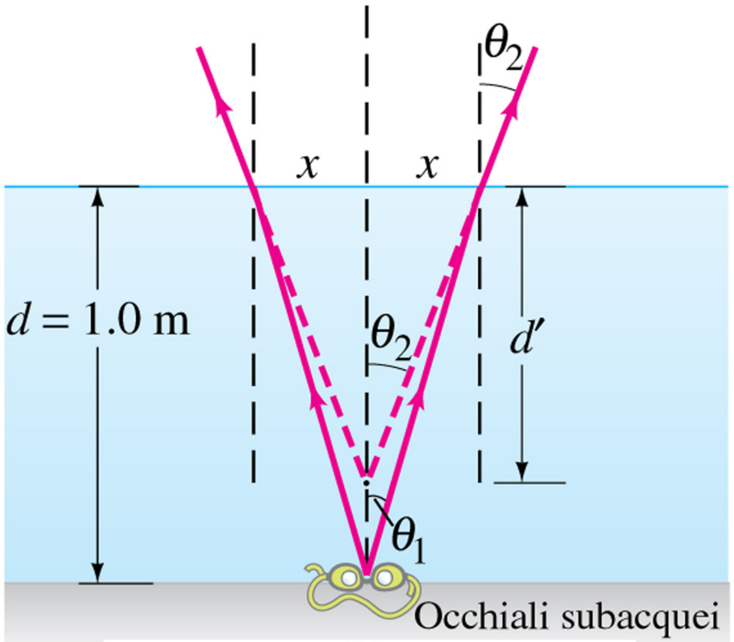




Esempi Rifrazione

Guardando un oggetto in un mezzo più rifrangente (acqua) da un mezzo meno rifrangente (aria) si ha l'impressione che l'oggetto sia più vicino, perché?





È un'illusione perché immaginiamo che la luce viaggi su linee rette!!!