

# LE ONDE E LA LUCE

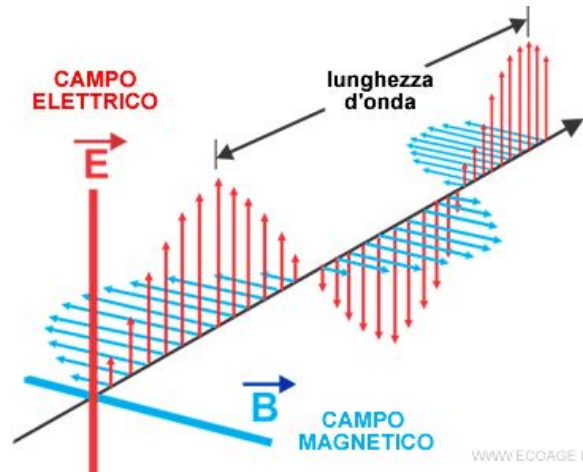
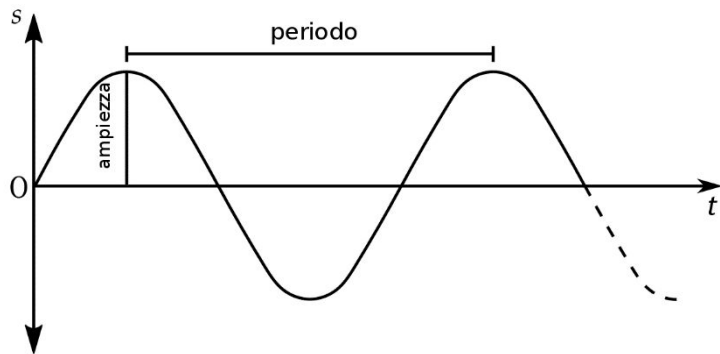


# LE ONDE

L'onda è una perturbazione che si propaga da un punto all'altro ad una ben definita velocità, determinata dalle proprietà del mezzo in cui viaggia, e non trasporta materia ma energia.

In base all'origine della perturbazione, le onde si classificano in:

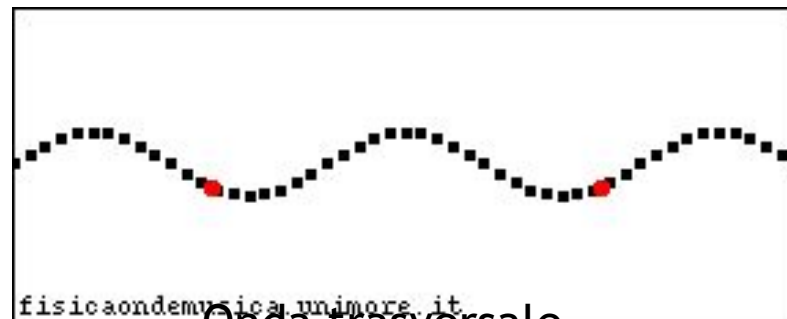
- **Onde meccaniche** = si propagano nella materia
- **Onde elettromagnetiche** = si propagano nel vuoto



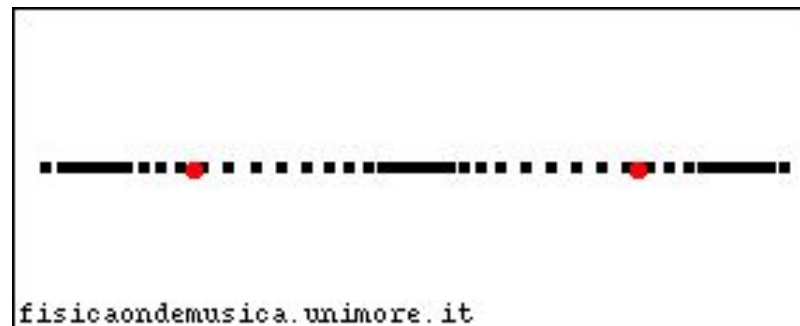
# ONDE MECCANICHE

Sono onde meccaniche:

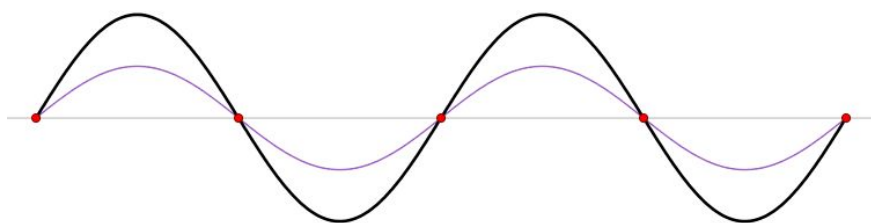
- Onde trasversali
- Onde longitudinali
- Onde stazionarie



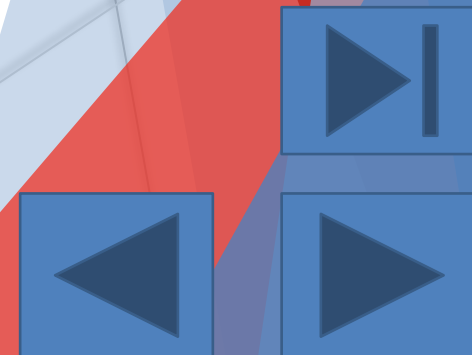
Onda trasversale



Onda longitudinale



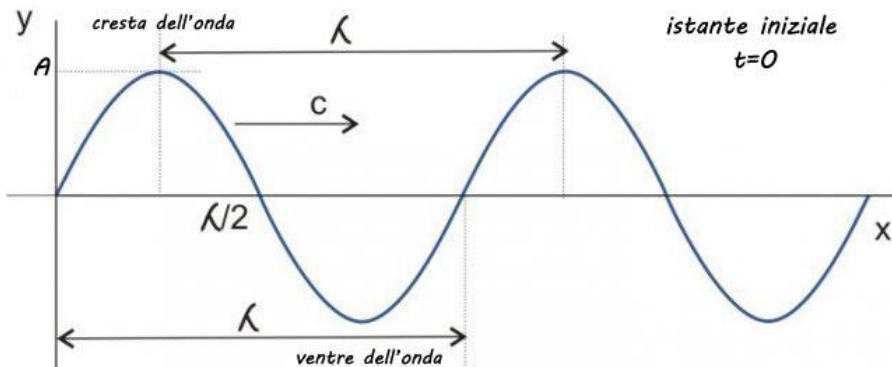
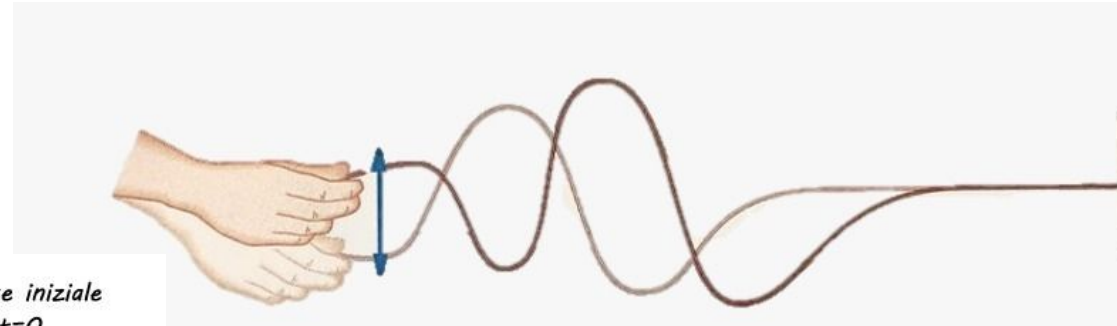
Onda stazionaria



# ONDE TRASVERSALI

In un'onda trasversale lo spostamento delle singole particelle avviene nella direzione perpendicolare a quella della propagazione dell'onda.

Il tipo di onda trasversale più semplice da studiare è un'onda che si propaga lungo una corda, come mostrato in figura.



e sono altri esempi di onde trasversali.

representiamo un'onda trasversale su un piano cartesiano. In figura è rappresentata un'onda trasversale nel suo istante iniziale  $t=0$ . La perturbazione non è fissa ma "viaggia" lungo l'asse  $x$ . Osserviamo che le particelle oscillano seguendo un andamento sinusoidale con un periodo  $T$ ,



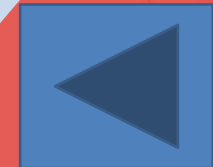
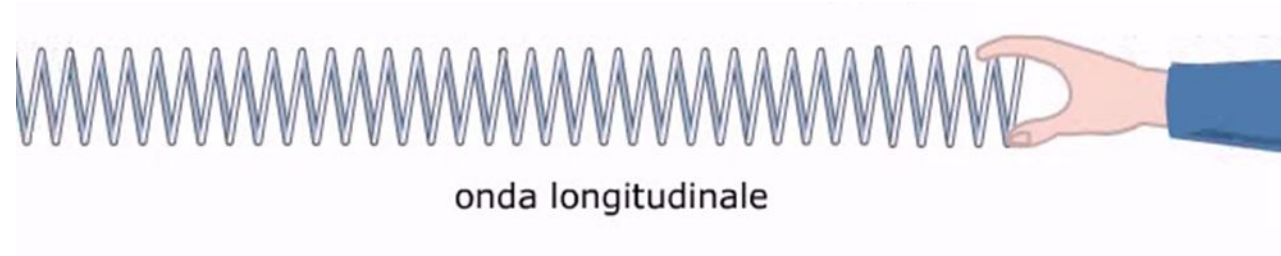
# ONDE LONGITUDINALI

In un'onda longitudinale lo spostamento delle singole particelle avviene nella stessa direzione della propagazione dell'onda.

Un tipico esempio di onda longitudinale è il **suono**. La velocità di propagazione di un'onda sonora nell'aria a temperatura ambiente è di 343m/s.

I caratteri distintivi del suono sono quattro:

- ❖ Velocità
- ❖ Frequenza
- ❖ Timbro
- ❖ Intensità





# VELOCITÀ

La velocità di propagazione dell'onda ( $V$ ) è la velocità con cui l'oscillazione si sposta nella direzione di propagazione. Poiché in un tempo lungo quanto un periodo ( $T$ ) l'onda si sposta di un tratto esattamente uguale alla sua lunghezza d'onda  $\lambda$ , il rapporto tra la velocità di propagazione e gli altri parametri caratteristici dell'onda è dato dalle relazioni:  $V = \lambda/T$  e  $V = \lambda \nu$ .

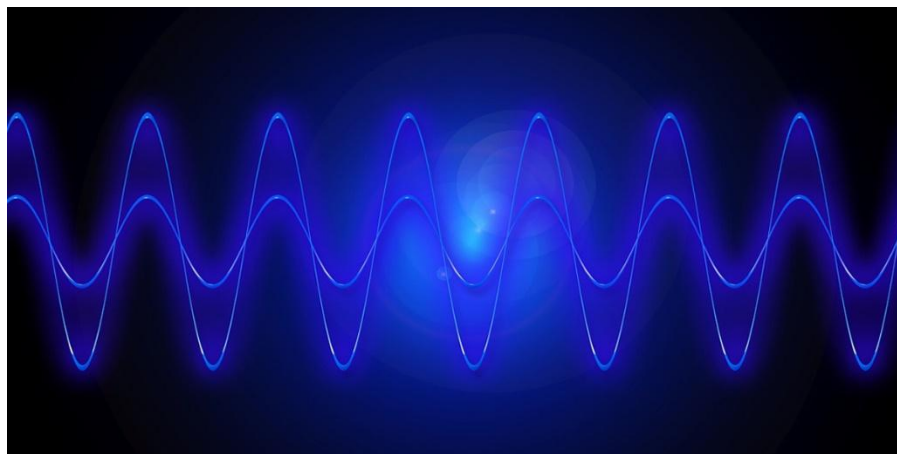
Questo significa che, a parità di velocità di propagazione, onde con lunghezza d'onda maggiore avranno frequenze minori e, viceversa, onde con lunghezza d'onda minore avranno frequenze maggiori.

La velocità di propagazione di un'onda dipende dal mezzo materiale nel quale l'onda si propaga. Le onde luminose, e in genere le onde elettromagnetiche, che non necessitano di un mezzo materiale per propagarsi, viaggiano nel vuoto con velocità di propagazione altissima questo valore è il rapporto di proporzionalità inversa che esiste tra la frequenza e la lunghezza d'onda di un'onda elettromagnetica.



# ❖ FREQUENZA

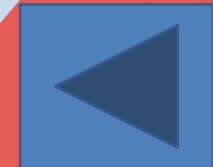
Con frequenza si intende il numero di oscillazioni effettuate da un'onda in un determinato periodo di tempo. Nel Sistema Internazionale viene misurata in Hertz, in onore del fisico tedesco Heinrich R. Hertz che ha scoperto questa particolare caratteristica. In particolare, viene preso come riferimento il numero di oscillazioni effettuate da un oggetto in un secondo. L'essere umano riesce ad udire suoni con frequenze comprese tra i 20 Hz ed i 20.000 Hz. I suoni con frequenze più basse della soglia minima vengono definiti infrasuoni, mentre quelli superiori alla soglia massima, ultrasuoni (udibili per esempio da alcuni animali).





# TIMBRO

Il timbro, è la qualità che, a parità di frequenza, distingue un suono da un altro. Il timbro dipende dalla forma dell'onda sonora, determinata dalla sovrapposizione delle onde sinusoidali caratterizzate dai suoni fondamentali e dai loro armonici. Dal punto di vista della produzione del suono, il timbro è determinato dalla natura (forma e composizione) della sorgente del suono e dalla maniera in cui questa viene posta in oscillazione.

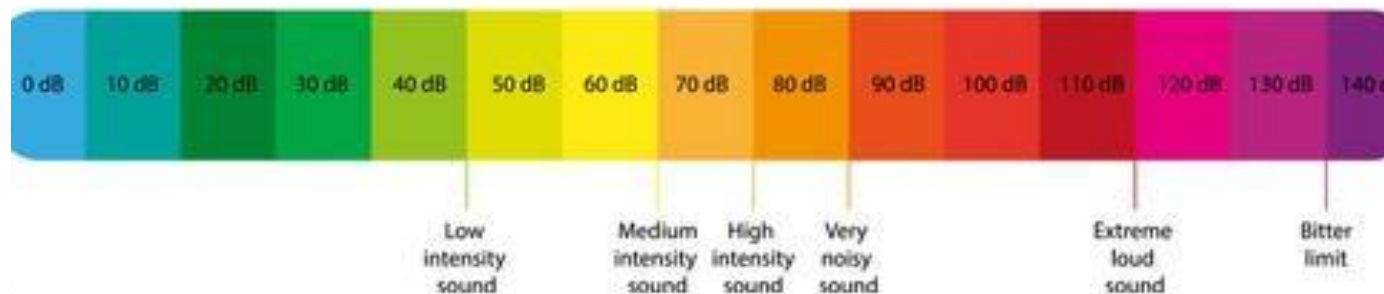






# INTENSITÀ

L'ampiezza dell'oscillazione è la caratteristica delle onde sonore che ne determina l'intensità. Il suono, quando si propaga attraverso un mezzo, trasmette anche una certa quantità di energia. Ogni fonte acustica, quindi, emettendo un'onda genera un determinato livello di potenza, che permette di quantificare la stessa intensità del suono. La formula con cui si può individuare tale valore è la seguente:  $I=P/S$ , dove l'intensità del suono  $I$  è uguale al rapporto tra  $P$ , la potenza acustica, ed  $S$ , la superficie su cui si propaga l'onda acustica. Il nostro orecchio riesce a percepire solo un determinato intervallo di intensità. Qualora si superasse l'intensità massima supportata dal nostro sistema uditivo, si potrebbero verificare dei danni permanenti agli organi presenti all'interno del nostro orecchio. Esiste un'altra unità di misura che ci permette di misurare l'ampiezza di un suono: il Decibel.



# ONDE STAZIONARIE

Queste onde sono dette stazionarie perché oscillano nel tempo rimanendo ferme nella loro posizione: non c'è propagazione in nessuna direzione. Un'onda stazionaria può essere visualizzata come interferenza di due onde contrarie con la stessa frequenza. I tipi di onde che consideriamo sono quindi: - onde in una corda - onde sonore in strutture cave, aperte a una estremità o a entrambe.

Consideriamo innanzitutto una corda legata a entrambe le estremità di lunghezza  $L$ . Se pizzichiamo questa corda essa vibra; questa vibrazione è detta **modo fondamentale** (o **prima armonica**) e corrisponde alla frequenza minima dell'onda raggiungibile nella corda. Inoltre la lunghezza della corda è pari a mezza lunghezza d'onda: possiamo dire, quindi, che il modo fondamentale sia generato dall'onda riflessa avanti e indietro tra le due pareti a cui è fissato.



Per calcolare la frequenza partiamo dall'osservazione di prima, ossia che  $L = \lambda_1/2$ : il pedice di  $\lambda$  in questa espressione indica che stiamo parlando della armonica numero 1, ossia la prima armonica. Abbiamo quindi che:  $\lambda_1 = 2L$ . Se la velocità delle onde su questa corda è  $v$  utilizziamo la relazione  $\lambda f = v$  per trovare la frequenza corrispondente:  $f_1 = v/\lambda_1 = v/2L$ . La prima armonica non è tuttavia l'unica frequenza dell'onda stazionaria che può essere generata su un'onda: possono esistere infatti frequenze che sono multipli interi di quella fondamentale, sempre con gli estremi della corda fermi. In particolare i punti della corda che rimangono fermi sono detti nodi mentre i punti di massima ampiezza dell'onda sono detti antinodi.

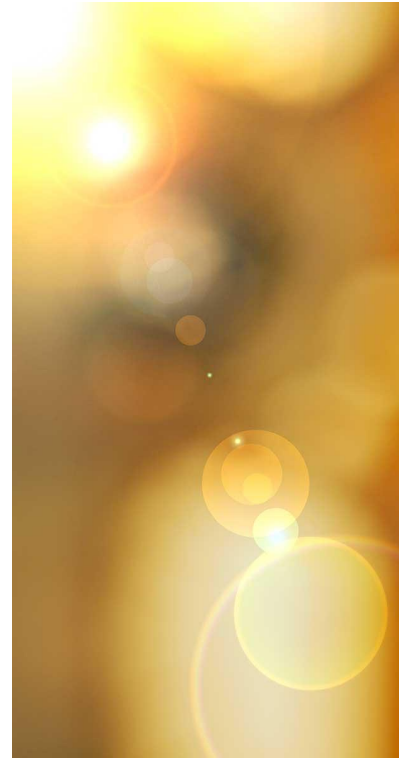
Ora esamineremo il fenomeno che accade quando soffiamo dentro a una bottiglia, che si tratta ovviamente di una struttura che contiene una colonna d'aria chiusa ad un'estremità: in questo sistema, per qualsiasi armonica, il fondo della bottiglia agisce da nodo, in quanto l'aria sul fondo non può oscillare mentre, al contrario, presso il collo della bottiglia c'è sempre un antinodo causato dal moto vorticoso dell'aria. Partiamo innanzitutto dalla prima armonica: un quarto di lunghezza d'onda entra perfettamente nell'altezza della canna.

$\lambda_1$  è quindi la lunghezza d'onda della prima armonica, ed è pari a:  $L = \lambda_1 / 4$ , ossia  $\lambda_1 = 4L$ . Quindi mediante la relazione  $\lambda f = v$  troviamo  $f_1$  come:  $f_1 = v / \lambda_1 = v / 4L$ .

Onde stazionarie in una colonna d'aria aperta a entrambi gli estremi: come abbiamo fatto per le altre tipologie di onde stazionarie cerchiamo nella canna la frequenza minore possibile, che corrisponderà alla maggiore lunghezza d'onda. In questo tipo di onde notiamo che a entrambi gli estremi c'è un antinodo: di conseguenza la maggiore lunghezza d'onda possibile corrisponde a metà della lunghezza della canna. La lunghezza d'onda per la prima armonica sarà quindi pari a:  $\lambda_1=2L$ . Ricaviamo quindi la frequenza fondamentale sempre con la relazione  $\lambda f = v$ :  $f_1=v/2L$ . Un esempio di utilizzo di onde stazionarie con tubi di differente lunghezza con una o entrambe estremità aperte è l'organo: è grazie a un'adeguata scelta di lunghezza e del tipo di tubo che l'organo può produrre una vasta gamma di suoni, imitando quelli di una tromba, di un clarinetto e altri ancora...

# LA LUCE

La luce in diversi esperimenti fisici dimostra di comportarsi in due modi completamente diversi in base al modo in cui si osserva l'esperimento. Uno dei primi scienziati a studiare sistematicamente fenomeni luminosi fu Isaac Newton. Infatti, secondo la *natura corpuscolare*, la luce si comportava come se fosse costituito da singole particelle corpuscolari chiamate **fotoni**. Successivamente fu Thomas Young a studiare i fenomeni luminosi e cambiò la concezione della luce; infatti, secondo la *natura ondulatoria*, la luce è costituita da un insieme di onde elettromagnetiche con i suoi campi magnetici ed elettrici perpendicolari pertanto la conclusione è che la luce presenta una duplice natura



# LA VELOCITA' DELLA LUCE

La velocità della luce è la velocità di propagazione di un'onda elettromagnetica e di una particella libera senza massa. Nel vuoto ha un valore di 299792458 m/s. Viene indicata normalmente con la lettera  $c$  (dal latino *celeritas*), scelta fatta per primo da Paul Drude nel 1894. Secondo la relatività ristretta, la velocità della luce nel vuoto è una costante fisica universale indipendente dal sistema di riferimento utilizzato e la velocità massima a cui può viaggiare qualsiasi informazione nell'universo, unendo le grandezze fisiche classiche di spazio e tempo nell'unica entità dello spazio-tempo e rappresentando la grandezza di conversione nell'equazione di equivalenza massa-energia. Nella relatività generale è la velocità prevista per le onde gravitazionali.



Galileo Galilei fu il primo a sospettare che la luce non si propagasse istantaneamente e a cercare di misurarne la velocità. Egli scrisse del suo tentativo infruttuoso di usare lanterne per mandare dei lampi di luce tra due colline fuori Firenze. Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), seguace di Galilei, fece il tentativo di misurare la velocità della luce sulla distanza Firenze-Pistoia per mezzo di specchi riflettenti. La prima misura della velocità della luce fu effettuata nel 1676 dal danese Ole Rømer, che utilizzò un'anomalia nella durata delle eclissi dei satelliti medicei (i satelliti di Giove scoperti da Galileo). Egli registrò le eclissi di Io, un satellite di Giove: ogni giorno o due, Io entrava nell'ombra di Giove per poi riemergere. Rømer poteva vedere Io "spegnersi" e "riaccendersi", se Giove era visibile. L'orbita di Io sembrava essere una specie di distante orologio, ma Rømer scoprì che il suo "ticchettio" era più veloce quando la Terra si avvicinava a Giove e più lento quando se ne allontanava.



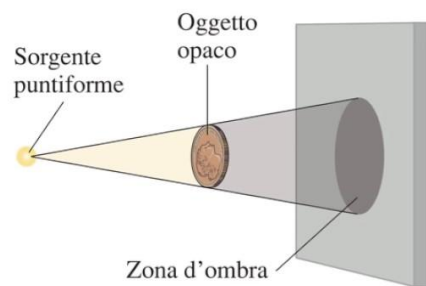
Rømer misurò le variazioni in rapporto alla distanza tra Terra e Giove e le spiegò stabilendo una velocità finita per la luce. Egli ottenne un valore di circa 210 800 000 m/s, il cui scostamento rispetto al valore accertato in seguito era dovuto essenzialmente alla scarsa precisione con cui aveva misurato il tempo necessario alla luce per percorrere il diametro dell'orbita terrestre. Altre misure, via via più precise, furono effettuate da James Bradley, Hippolyte Fizeau e altri, fino a giungere al valore oggi accettato. In particolare Fizeau misurò la velocità della luce tramite un apparecchio consistente in una ruota dentata fatta girare a grande velocità.

Sulla ruota venne proiettato un raggio di luce che ne attraversava le fenditure in maniera intermittente, raggiungendo uno specchio posto a grande distanza che rifletteva la luce nuovamente verso la ruota. Il raggio di ritorno, poiché intanto la ruota era girata, passava attraverso la fenditura successiva. Da ciò, nota la distanza che la luce percorreva, e noto l'intervallo di tempo in cui la ruota compiva la rotazione necessaria, Fizeau calcolò la velocità della luce con un piccolo errore.

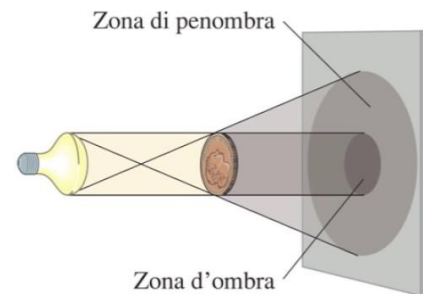
# OTTICA GEOMETRICA

La natura ed il comportamento della luce ci consentono di interpretare alcuni fenomeni tramite i raggi luminosi, ognuno dei quali si può pensare come un segmento di retta che ha la direzione di propagazione del fronte d'onda. Tale modello, noto come "ottica geometrica", fu introdotto da Keplero e costituisce una approssimazione della realtà ed è di estrema utilità nello studio dei fenomeni di riflessione e rifrazione, nonché degli effetti prodotti dai vari tipi di specchi (piani, concavi e convessi) e dalle lenti

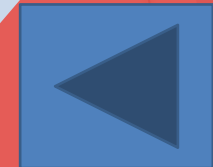
## L'ottica geometrica



a) Sorgente di luce puntiforme



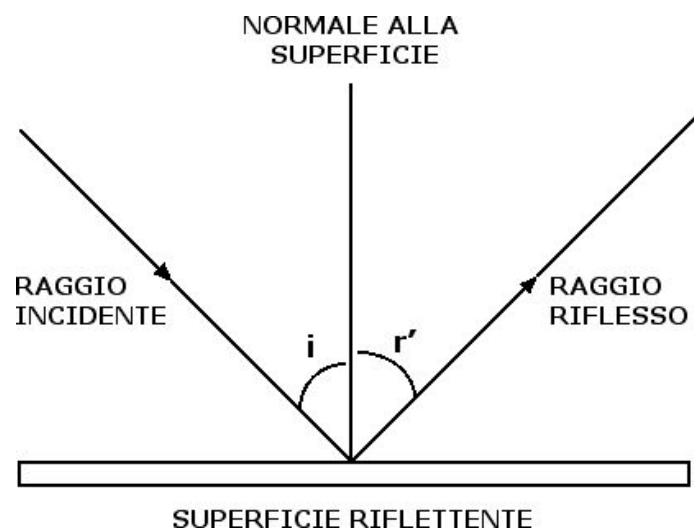
b) Sorgente di luce estesa



In generale il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e quella di un particolare mezzo viene chiamato indice di rifrazione  $n = c/V$ . Le caratteristiche qualitative della rifrazione sono -quando un raggio di luce entra in un mezzo con indice di rifrazione maggiore la velocità diminuisce il raggio rifratto si avvicina alla normale -quando un raggio di luce entra in un mezzo con indice di rifrazione minore la velocità aumenta il raggio rifratto si allontana dalla normale -non vi è alcun cambiamento nella direzione di propagazione se non cambia l'indice di rifrazione -se un raggio di luce passa da un mezzo a un altro lungo la normale alla superficie di separazione non viene deviato, indipendentemente dall'indice di rifrazione.

Si consideri una sorgente luminosa che emette un raggio di luce; se esso viene proiettato su una superficie molto ben levigata, ritorna indietro come se fra il raggio e la superficie fosse avvenuto un urto elastico. Il fenomeno descritto è la riflessione della luce ed è facilmente osservabile munendosi semplicemente di una lampadina e di uno specchio. Il raggio che parte dalla sorgente luminosa viene detto raggio incidente. Quello che esce dalla superficie riflettente si chiama raggio riflesso. L'angolo che forma il raggio riflesso con la normale alla superficie è l'angolo di riflessione  $\theta_r$ .

La riflessione della luce su una superficie liscia viene detta riflessione speculare (perché i raggi si propagano nella stessa direzione); al contrario se la superficie è ruvida la riflessione viene detta riflessione diffusa (perché i raggi vengono mandati in varie direzioni).



Il raggio incidente la normale e il raggio riflesso giacciono tutti sullo stesso piano. L'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza, cioè  $O_r = O_i$

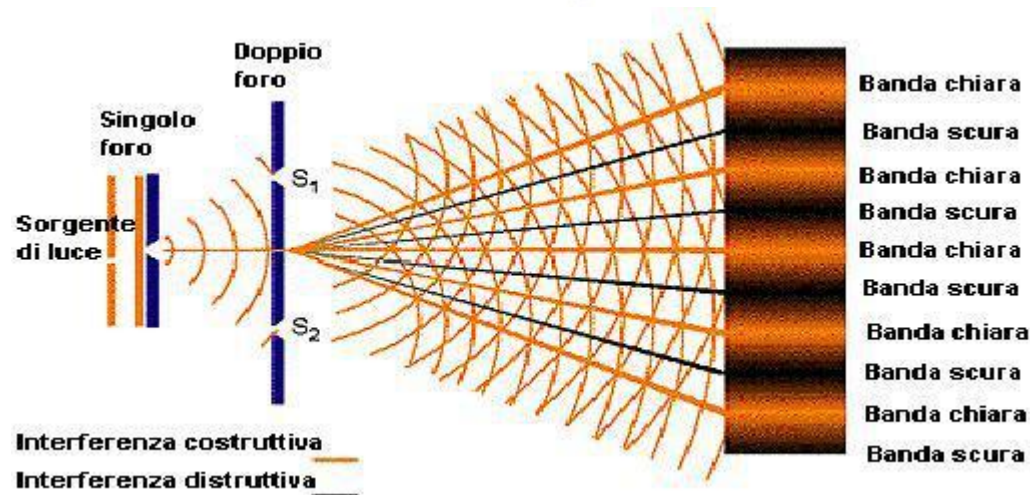
Il fenomeno della dispersione della luce è la prova che la luce bianca è in realtà somma di più colori, ovvero di più lunghezze d'onda dell'onda elettromagnetica e quindi di più frequenze che il nostro cervello interpreta come colori. Questo fenomeno agisce quando un fascio di luce bianca incide su un prisma e ne esce scomposto nei colori che compongono la luce bianca

Se il fascio di colori all'uscita del prisma viene convogliato all'interno di un altro prisma allora si assiste alla ricomposizione dei vari colori nel bianco. Dispersione e ricomposizione della luce. Spiegazione del fenomeno della dispersione della luce. Il fenomeno della dispersione della luce è dovuto al fatto che ogni materiale possiede un indice di rifrazione che varia a seconda della frequenza dell'onda che lo incide.



# LE PROPRIETA' DELLA LUCE INTERPRETABILI CON LA TEORIA ONDULATORIA


La diffrazione: se la luce è effettivamente un'onda e deve evidenziare un comportamento simile a quello delle onde dell'acqua, osserviamo che le onde viaggiano inizialmente verso destra ma dopo aver attraversato la fenditura della barriera si disperdono in viaggio una verso l'esterno tutte le possibili direzioni. In generale tutte le onde deviano quando passano attraverso una barriera o un'apertura. Il principio di Huygens dice: la fenditura agisce come una sorgente di onde che si propagano verso l'esterno in tutte le direzioni.



La sovrapposizione: nella quale la perturbazione risultante causata dalla combinazione di onde è la somma algebrica delle perturbazioni causate da ogni singola onda. Se le onde si sommano generando una perturbazione maggiore si parla di interferenza costruttiva se invece la perturbazione risultante è minore si parla di interferenza distruttiva. L'interferenza è evidente solo se sono rispettate determinate condizioni nel caso della luce ad esempio essa deve essere monocromatica cioè deve essere costituita da un singolo colore, quindi da una singola lunghezza d'onda.

La caratteristica fondamentale che determina se le onde interferiscono costruttivamente o distruttivamente e la loro fase relativa.

Se due onde hanno una differenza di fase, cioè sono in fase nulla, si sommano costruttivamente e il risultato è un aumento di ampiezza; se onde di uguale ampiezza sono sfasate di  $\lambda / 2$  (cioè di mezza lunghezza d'onda) il risultato è invece un'ampiezza nulla e indifferenza distruttiva; se le due onde sono sfasate di  $\lambda$ , cioè di una lunghezza d'onda intera, l'interferenza è di nuovo costruttiva.



Lavoro svolto da:  
Giorgia Francesca Iannini  
Erika Pia Buonofiglio  
Marco La Ruffa  
Alessandra Picuno