

formazione a tutto tondo

Corso di Fisica

Lezione 16: Ottica e onde



Indice

16.1 Onde

16.2 Fenomeni di interferenza e diffrazione

16.3 Ottica geometrica

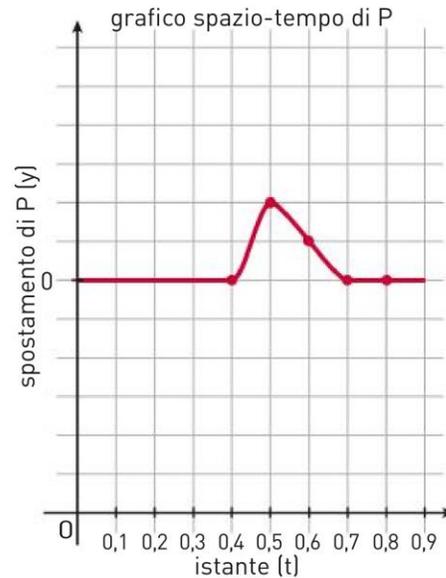
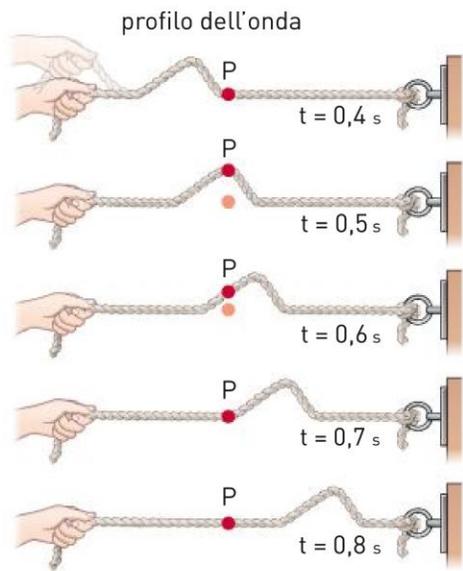
16.4 Lenti

16.5 Onde elettromagnetiche



16.1 Onde

Ogni punto ripete il movimento muovendosi verticalmente e tornando alla posizione di partenza: non sposta materia, ma solo energia



Un'onda è una perturbazione che si propaga trasportando energia e quantità di moto, ma non materia



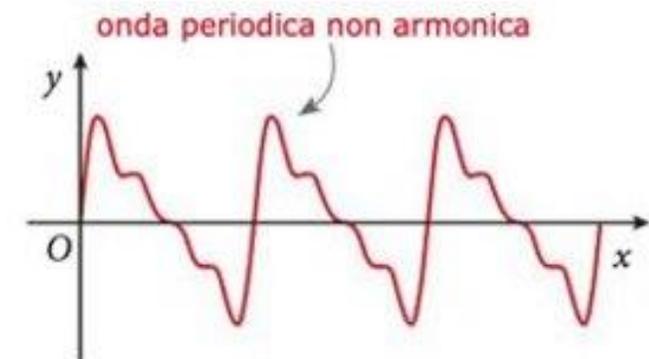
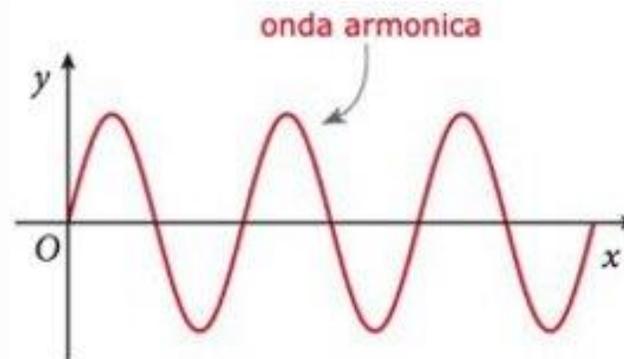
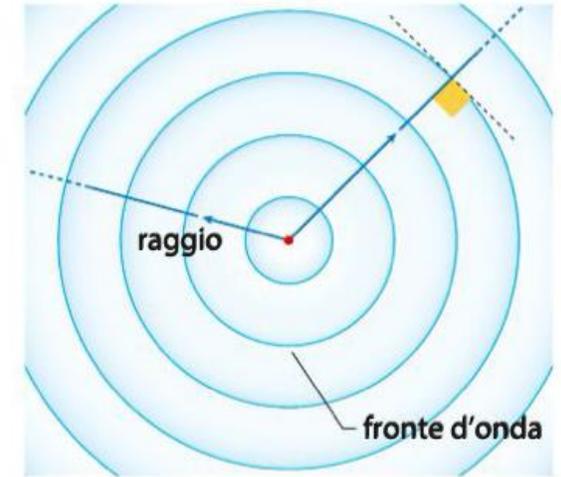
16.1 Onde

- Classificazione di onde:
 - **Trasversali:** gli elementi si spostano perpendicolarmente alla direzione del moto
 - **Longitudinali:** gli elementi si spostano lungo la direzione del moto
- Tipi di onde:
 - **Meccaniche:** onda che ha bisogno di un mezzo materiale per propagarsi (moto ondoso, onde di gravità, corde tese, terremoti, suoni)
 - **Elastiche:** onda che si propaga grazie alle proprietà elastiche del mezzo (molle)
 - **Elettromagnetiche:** onde *trasversali* generate dai campi elettrico e magnetico, che non hanno bisogno di un mezzo per propagarsi (spettro elettromagnetico)



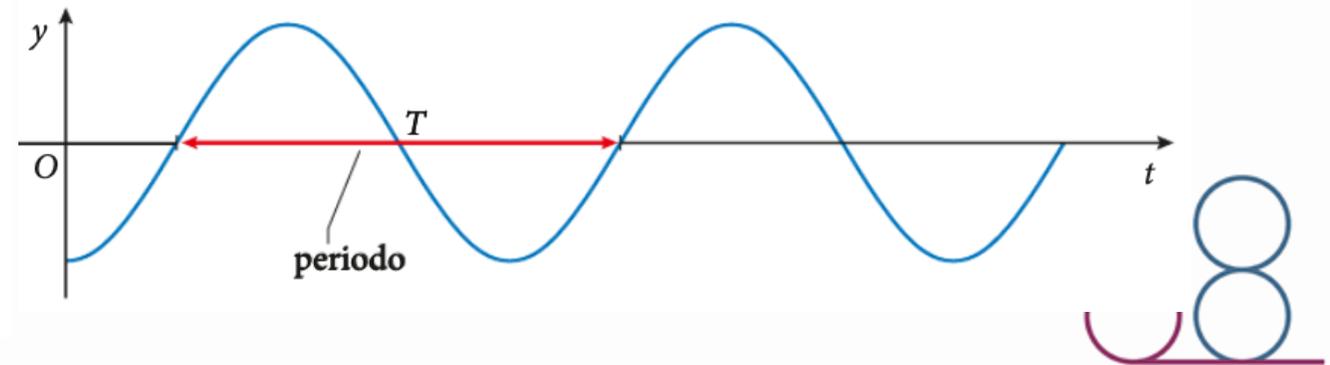
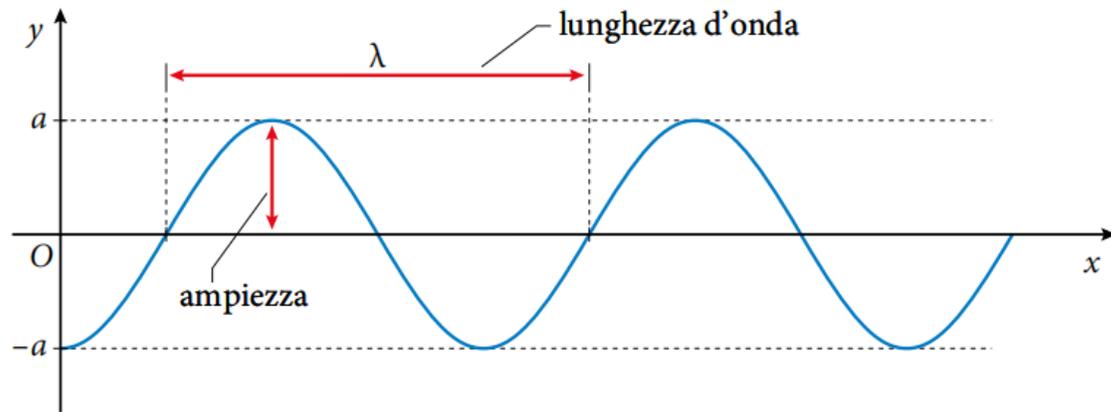
16.1.1 Proprietà delle onde

- Proprietà:
 - **Fronte d'onda:** superficie formata dai punti che hanno tutti la stessa proprietà, ad esempio sono tutti i massimi dell'onda
 - **Raggio:** semiretta perpendicolare al fronte d'onda e direzione lungo cui si propaga l'onda
 - **Profilo dell'onda:** il grafico che descrive l'ampiezza dell'onda in funzione della sua posizione spaziale
 - **Forma d'onda:** il grafico che descrive l'ampiezza dell'onda in funzione del tempo
- **Onda periodica:** onda il cui profilo si ripete identico a distanze regolari



16.1.1 Proprietà delle onde

- Onde generiche:
 - **Ampiezza (A)**: differenza tra il valore massimo dell'onda e il valore di equilibrio
- Onde periodiche:
 - **Lunghezza d'onda (λ)**: la minima distanza dopo la quale il profilo di un'onda si riproduce identico a sé stesso
 - **Periodo (T)**: durata di un'oscillazione completa
 - **Frequenza (f)**: numero di oscillazioni complete di nell'unità di tempo



16.1.1 Proprietà delle onde

Velocità di propagazione dell'onda:

- **Dipende dal mezzo in cui l'onda si propaga**
- Onde non periodiche: può essere determinata osservando il tempo necessario affinché l'onda si sposti da un punto all'altro del mezzo.
- Onde periodiche: velocità con cui si percorre la lunghezza d'onda nell'unità di tempo:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Non esiste una formulazione generica che descrive la velocità in funzione del mezzo: dipende da pressione o elasticità del mezzo, a seconda dei casi.



16.1.2 Onde sonore

Un'**onda sonora** è un'onda *meccanica longitudinale* che consiste nell'alternarsi di compressioni e rarefazioni del mezzo in cui si propaga ed ha come sorgente un corpo che vibra.

Proprietà:

- **NON** si propaga nel vuoto
- In aria secca, a pressione $1,01 \times 10^5$ Pa e temperatura 0°C la sua velocità di propagazione è 332 m/s; a temperatura ambiente è 340 m/s
- Un suono, per essere udibile, deve avere frequenza tra i 20 Hz e i 20 kHz
- Un suono è un'onda periodica, un rumore varia in modo irregolare nel tempo



16.1.3 Energia di un'onda

L'**intensità di un'onda** rappresenta l'energia che l'onda trasporta per unità di tempo attraverso una superficie perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda stessa:

$$I = \frac{E}{A \Delta t} = \frac{P}{A}$$

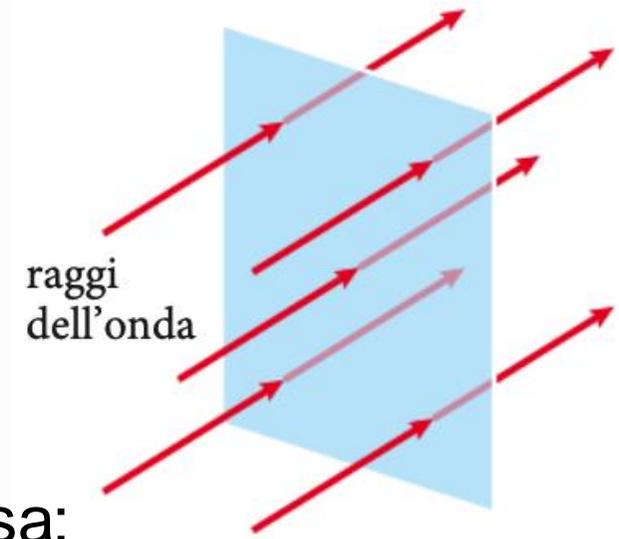
Se ho un'onda sonora, essa si propaga in maniera isotropa nello spazio e la sua intensità si distribuisce allo stesso modo:

$$I = \frac{P}{4 \pi r^2}$$

Il livello di intensità sonora si misura in *decibel* ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$):

$$L_s = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Le soglie umane sono 0 dB e 180 dB (a 130 dB c'è la soglia di dolore)



16.2 Propagazione delle onde

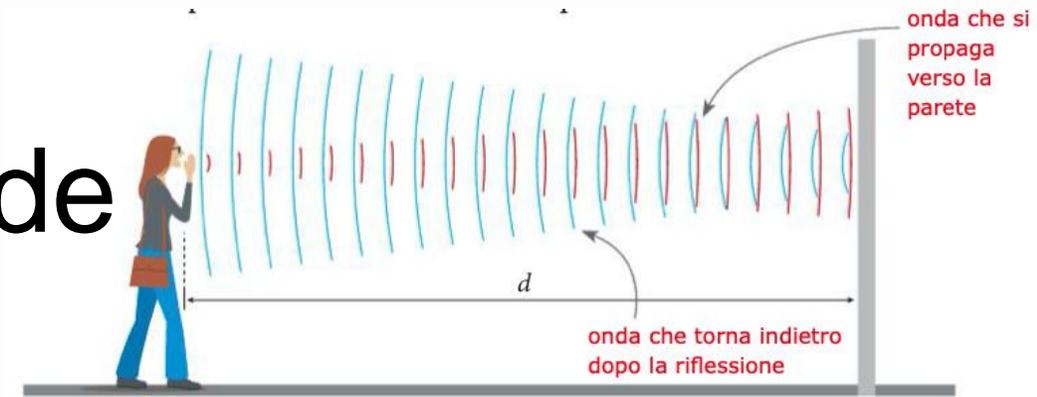
Spostandosi in un mezzo materiale, le onde possono:

- **Riflettersi**: fenomeno della riflessione
- **Rifrangersi**: fenomeno della riflessione
- **Diffrangere**: fenomeno della diffrazione
- **Interferire**: fenomeno dell'interferenza

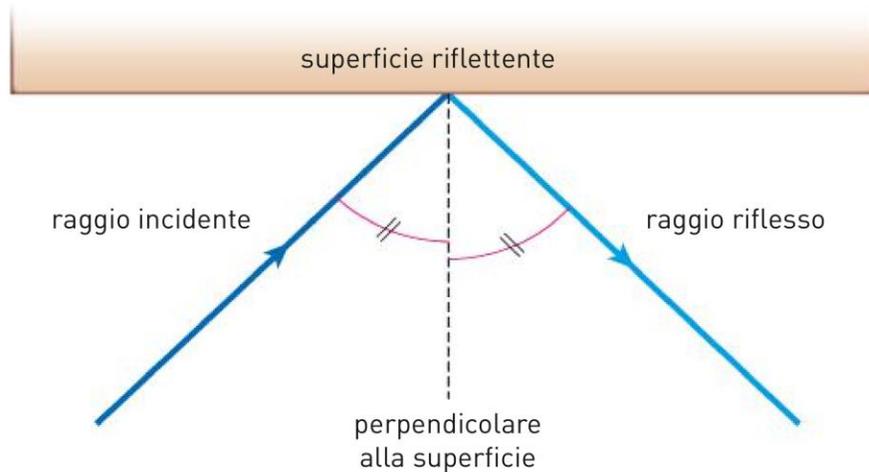
NB: Spesso questi quattro comportamenti sono descritti per la luce, ma valgono per **TUTTE** le onde!



16.2 Propagazione di onde



RIFLESSIONE: l'onda incontra un altro mezzo e cambia direzione o verso per continuare a propagarsi nello stesso mezzo



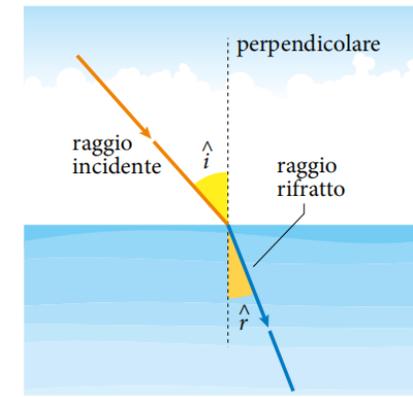
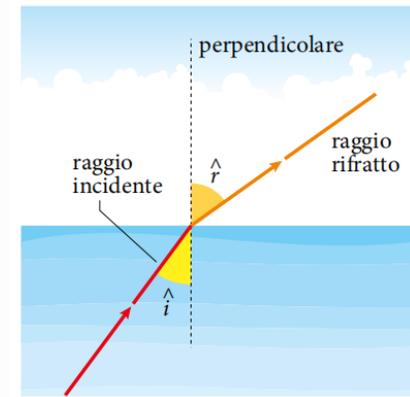
Il raggio riflesso giace nel piano di incidenza, ovvero il piano individuato da raggio incidente e perpendicolare alla superficie, e forma, con la perpendicolare, lo stesso angolo formato dal raggio incidente.

L'**eco** è una riflessione di un'onda sonora contro il muro. La sentiamo solo se siamo distanti almeno 17 m dalla parete perché l'orecchio distingue due suoni solo se sono intervallati da almeno 0,1 s e in 0,1 s il suono percorre circa 34 m.



16.2 Propagazione di onde

RIFRAZIONE: l'onda devia passando da un mezzo a un altro, nel quale la velocità di propagazione cambia



Nel caso particolare di **raggi luminosi**:

- **Indice di rifrazione:** rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e nel mezzo

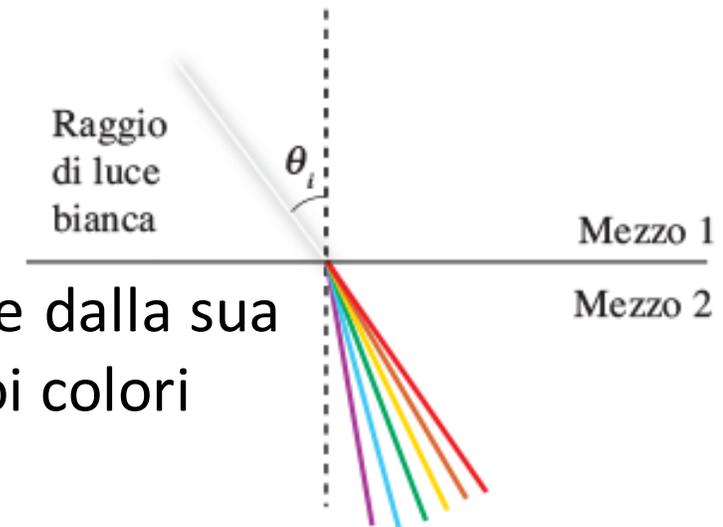
$$n = \frac{c}{v}$$

- **Legge di Snell-Cartesio:** lega tra loro i raggi incidente e rifratto e gli indici di rifrazione dei due mezzi

$$n_i \operatorname{sen}(\theta_i) = n_r \operatorname{sen}(\theta_r)$$

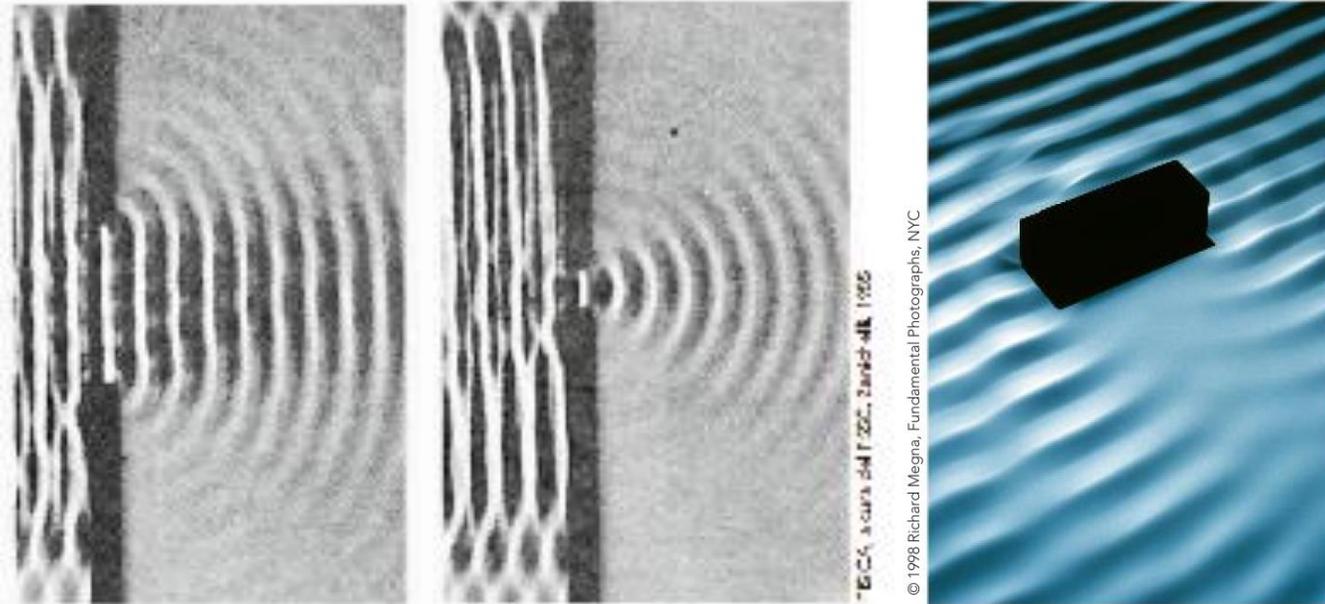
- **Angolo limite:** angolo incidente per il quale si ha riflessione totale ($\theta_r = 90^\circ$)

- **Dispersione della luce:** l'indice di rifrazione della luce dipende dalla sua frequenza, per questo la luce bianca viene scomposta nei suoi colori



16.2 Propagazione di onde

DIFFRAZIONE: l'onda, incontrando un ostacolo o una fenditura, incurva i suoi fronti d'onda in modo da aggirarlo o espandersi attraverso la fenditura

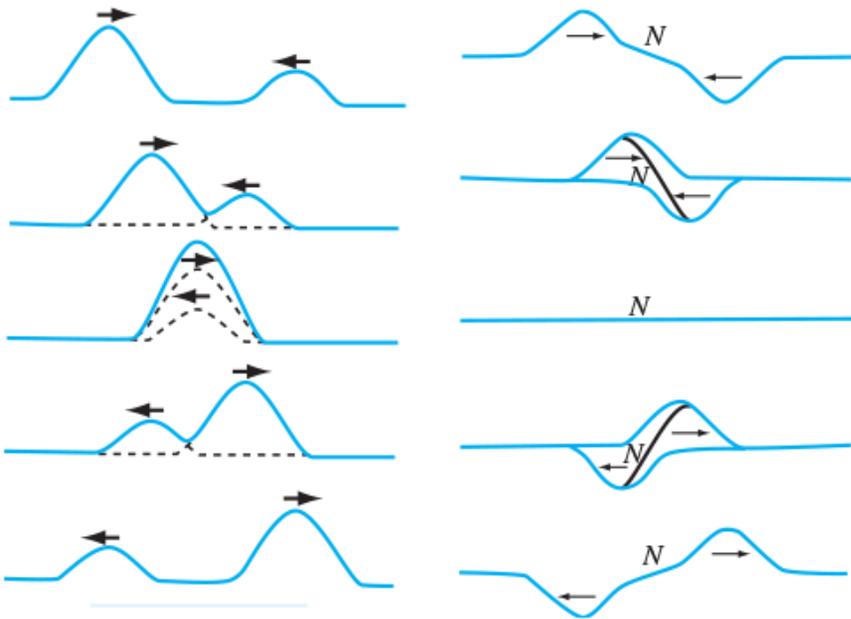


L'ostacolo deve essere di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda perché si veda la diffrazione



16.2 Propagazione di onde

INTERFERENZA: secondo il **principio di sovrapposizione**, due onde che si propagano nello stesso mezzo generano una perturbazione data dalla somma delle perturbazioni che ciascuna onda produrrebbe da sola



Si possono avere:

- **Interferenza costruttiva:** l'ampiezza è maggiore di quella di ciascuna delle due
- **Interferenza distruttiva:** l'ampiezza dell'onda è minore di ciascuna delle due

Se l'onda è **armonica**, l'interferenza sarà ancora un'onda armonica



16.3 Spettro elettromagnetico

- Insieme di tutte le possibili frequenze osservate delle onde elettromagnetiche
- Divisione in bande di intervalli di frequenza, a cui è stato assegnato un nome
- Legame fra frequenza e lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

- **Energia trasportata:**

$$E = h f$$

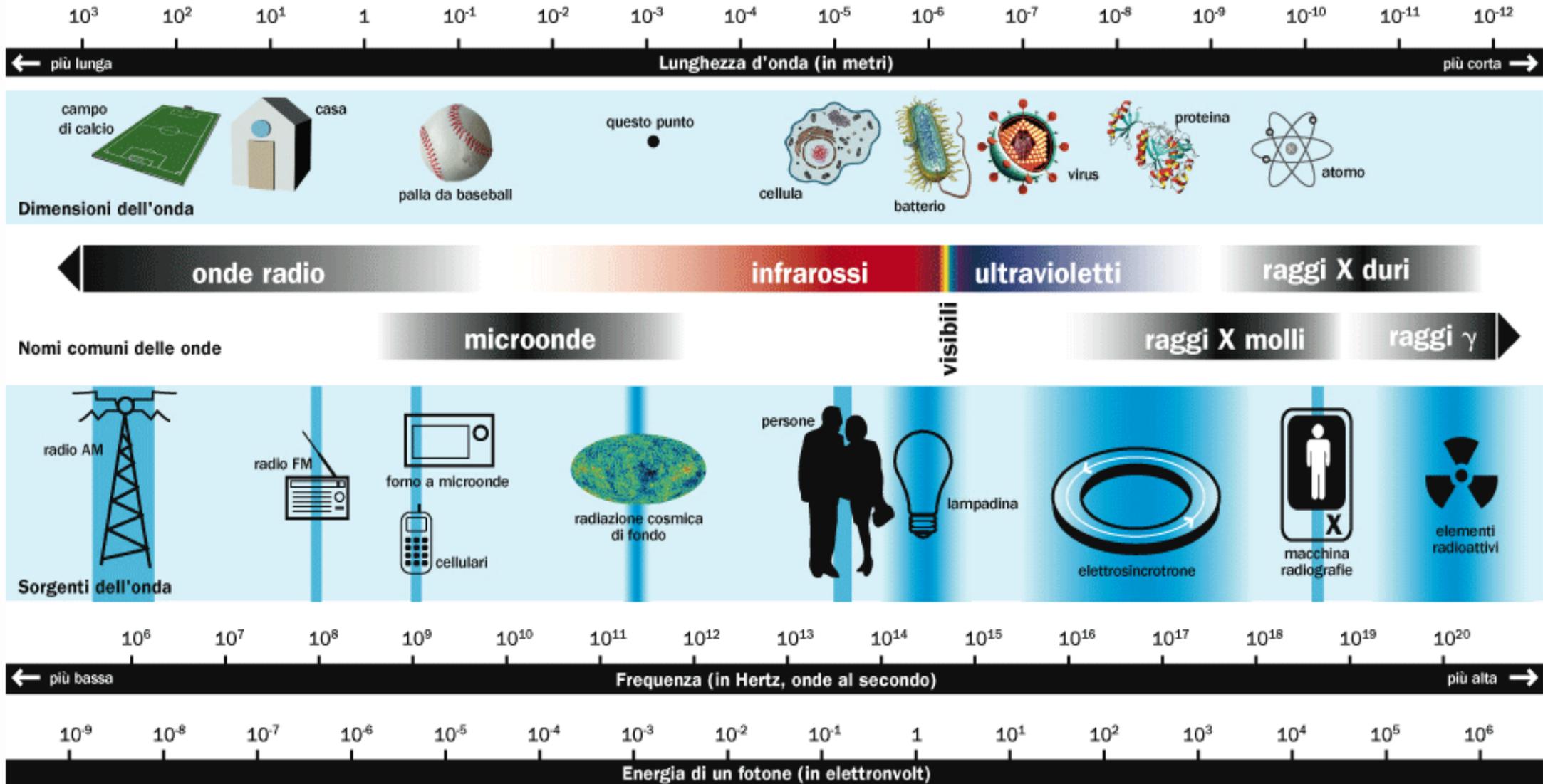
con h la costante di Planck ($6,64 \times 10^{-34}$ Js)

- Velocità della luce nel vuoto:

$$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s} = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$



16.3 Spettro elettromagnetico



16.4 Ottica geometrica

- **Ottica geometrica:** i fenomeni ottici interpretabili secondo la geometria
- **Ottica fisica:** i fenomeni ottici nei quali la natura della luce è importante (nei quali si comporta come onda e/o come corpuscolo)

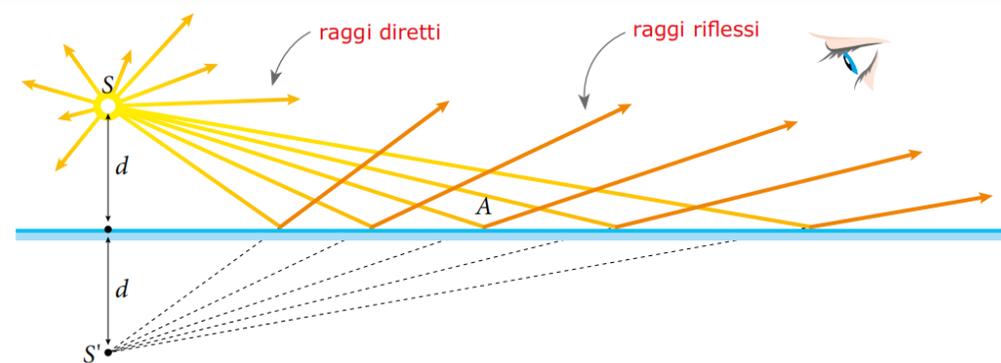
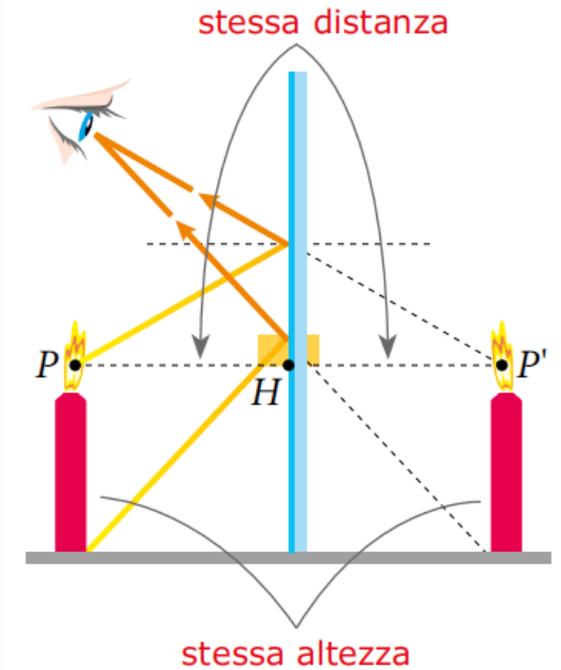
Nell'ottica geometrica facciamo alcune approssimazioni:

- In un mezzo omogeneo la luce si propaga lungo **linee rette** (raggi luminosi): si suppone che la presenza di fenomeni diffrattivi sia trascurabile
- I raggi luminosi sono tra loro **indipendenti**: si suppone quindi che i fenomeni di interferenza siano trascurabili.
- Nella trattazione dei sistemi ottici si assume che gli angoli di incidenza e di rifrazione siano piccoli
- Le lenti sono **sottili**: si assume che non ci sia deviazione del raggio rifratto

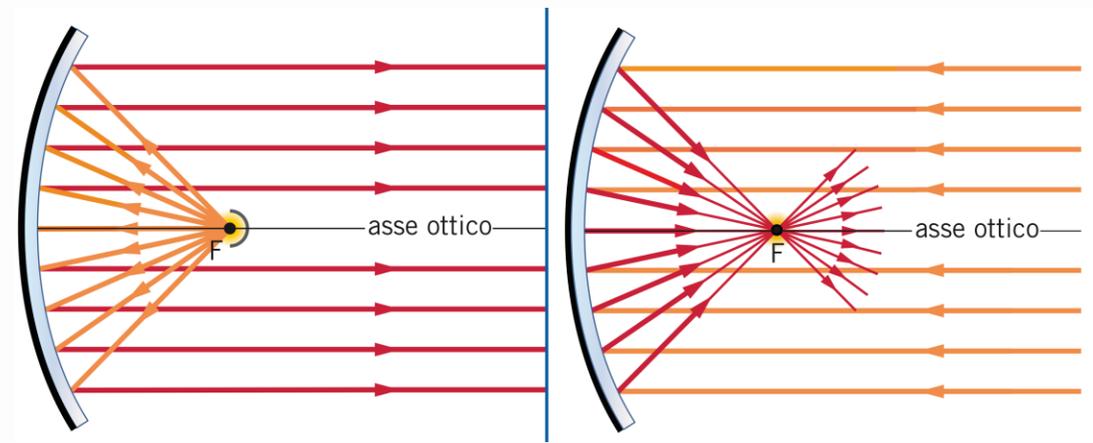


16.4.1 Gli specchi piani

- Si basano sul fenomeno della riflessione
- L'immagine riflessa dallo specchio piano è **virtuale**, perché si trova in posizione simmetrica al di là dello specchio, dove di per sé non c'è un oggetto fisico. Nell'immagine virtuale convergono i prolungamenti dei raggi di luce che ci giungono agli occhi.
- Allo specchio oggetto e immagine sono inversamente uguali, perché sono faccia a faccia e non sovrapponibili mediante una semplice rotazione o traslazione.



16.4.1 Gli specchi curvi

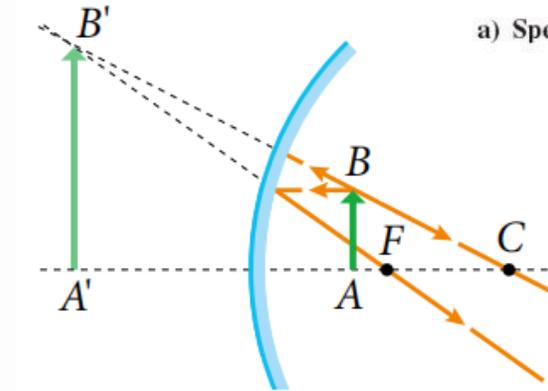
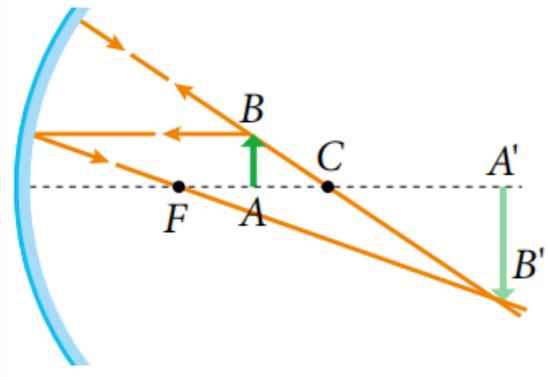
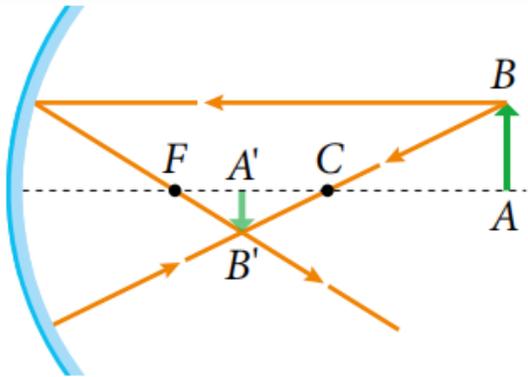


- Possono essere sferici o parabolici
- Definiamo:
 - **Fuoco:** punto in cui convergono i raggi riflessi che arrivano paralleli all'asse di simmetria e da cui partono i raggi che vengono riflessi parallelamente all'asse ottico
 - **Asse ottico:** l'asse di simmetria
 - **Vertice:** intersezione tra asse ottico e specchio
 - **Immagine reale:** se attraverso essa passano i raggi riflessi
 - **Immagine virtuale:** se attraverso essa passano i prolungamenti dei raggi riflessi

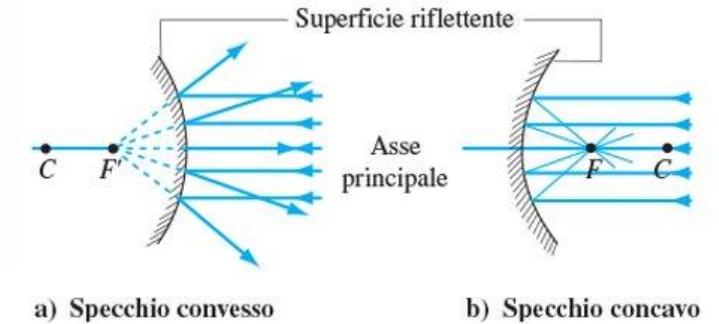
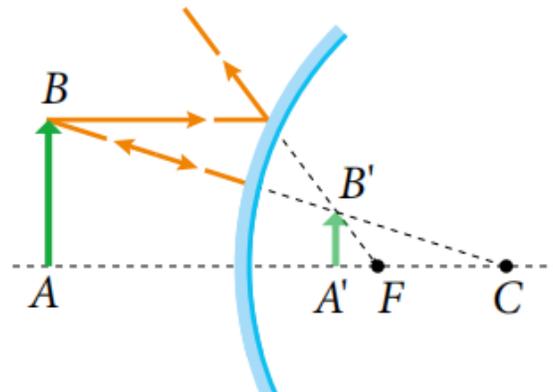


16.4.2 Formazione delle immagini

- Gli specchi curvi possono essere **concavi** o **convessi** a seconda della provenienza dei raggi luminosi
- Specchi **concavi**:



- Specchi **convessi**:



16.4.2 Formazione delle immagini

- Definiamo:
 - **f**: la distanza focale (tra fuoco e vertice)
 - **p**: la distanza oggetto-specchio
 - **q**: la distanza immagine-specchio
- **Legge dei punti coniugati:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

f è positiva per specchi concavi e negativa per i convessi

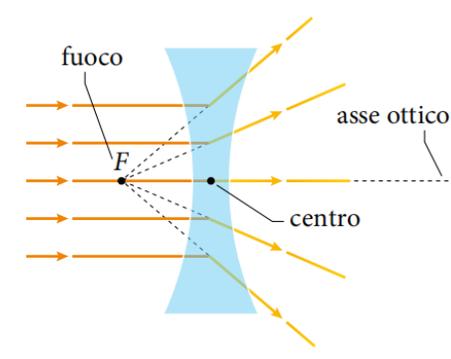
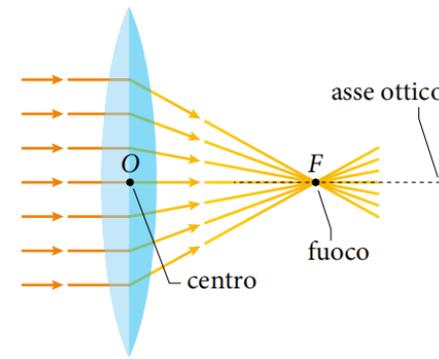
q è positiva se si forma dalla stessa parte rispetto a dove si trova l'oggetto

- **Ingrandimento** lineare:

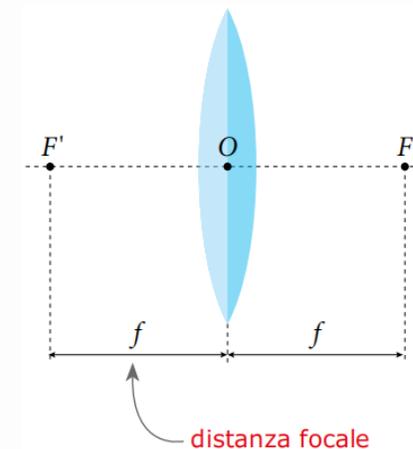
$$G = \frac{q}{p}$$



16.4 Lenti

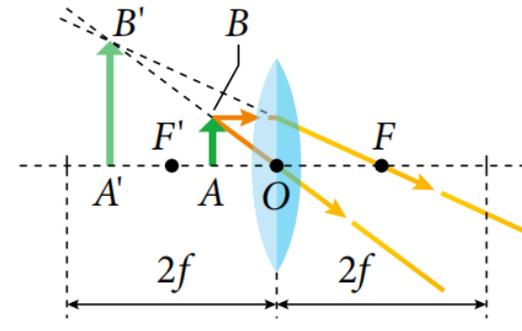
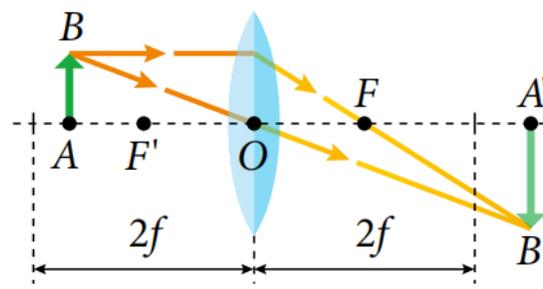
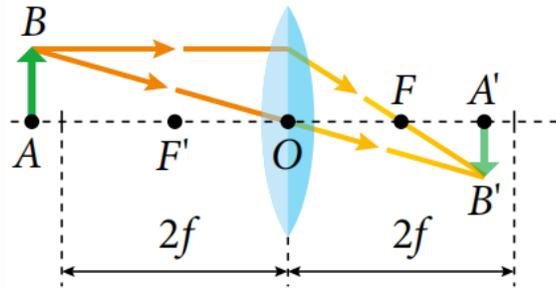


- Una lente è un mezzo trasparente delimitato da due superfici curve (o una curva e l'altra piana), che produce immagini ingrandite o rimpicciolite di oggetti
- Possono essere:
 - **Convergenti**: più spesse al centro, fanno convergere i raggi paralleli all'asse di simmetria nel fuoco
 - **Divergenti**: più spesse ai bordi, fanno divergere i raggi paralleli all'asse ottico, come se uscissero dal fuoco
- Hanno due fuochi: siccome le lenti sono sottili, sono equidistanti dal centro, ovvero il punto dell'asse ottico che divide a metà lo spessore della lente

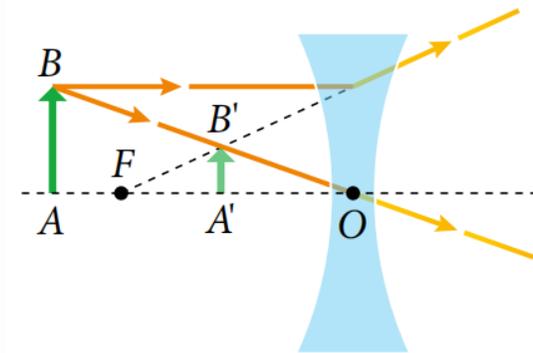


16.4.1 Formazione delle immagini

- Lenti **convergenti**:



- Lenti **divergenti**: l'immagine è sempre virtuale e rimpicciolita



16.4.1 Formazione delle immagini

- Definiamo:
 - **f**: la distanza focale (tra fuoco e vertice)
 - **p**: la distanza oggetto-specchio
 - **q**: la distanza immagine-specchio
- **Legge del costruttore di lenti (sottili):**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

- **Ingrandimento** lineare:

$$G = - \frac{q}{p}$$

NB: c'è il meno rispetto a quella degli specchi!



16.4.2 Microscopio

