

Ottica

- **Ottica geometrica: riflessione e rifrazione.**
- **Legge delle lenti.**
- **Formazione dell'immagine.**
- **Fenomeni di interferenza e diffrazione.**
- **Microscopi: ingrandimento e potere risolutivo di un obiettivo.**
- **Spettro della radiazione elettromagnetica: dalle onde radio ai raggi X**

La luce

Spesso tutti noi non ci interroghiamo sul concetto di luce, ma è quella porzione dello spettro elettromagnetico che risulta visibile all'occhio umano.

In altre parole si tratta di un fenomeno fisico che ci consente di vedere gli oggetti e di percepirne i colori.

Possiede una natura sfuggente che è stata indagata per lungo tempo e risulta fondamentale per la vita sulla terra, tanto che la nostra intera esistenza ruota attorno alla luce.

La luce: Newton



Nella seconda metà del 1600 Isaac Newton dimostra che la luce bianca è composta da tutti i colori dello spettro; infatti, tramite un prisma, scompone la luce del sole e ne ricava un arcobaleno che ricomponne per ottenere di nuovo luce bianca come un secondo prisma



Sempre Newton ipotizza una natura corpuscolare della radiazione luminosa (tante piccole particelle di materia emessa in ogni direzione)

La luce come onda

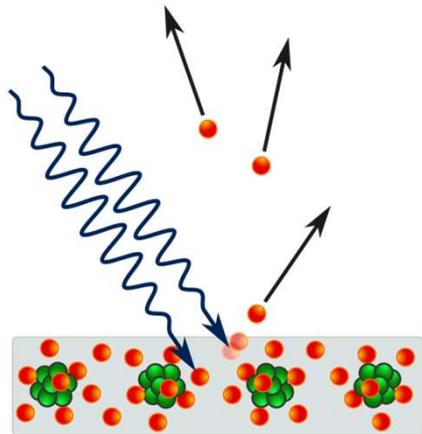


Al contrario Christian Huygens propende per una teoria ondulatoria: una propagazione in un mezzo, l'etere, che avviene proprio come un'onda.

All'inizi del 1800 Thomas Young grazie a un famoso esperimento conferma la teoria ondulatoria.

Intorno al 1860 James Clark Maxwell stabilisce che la luce è un'onda elettromagnetica

La radiazione elettromagnetica: onda e corpuscolo



Nel 1905 Einstein spiega l'effetto fotoelettrico utilizzando il lavoro di Planck e sostiene che il fenomeno si può spiegare tramite una radiazione che si trasferisce con dei quanti (pacchetti) di energia



La meccanica quantistica ha quindi stabilito che i fotoni (i quanti di luce) hanno una natura duale e possono essere considerati sia onde che particelle.

Le onde

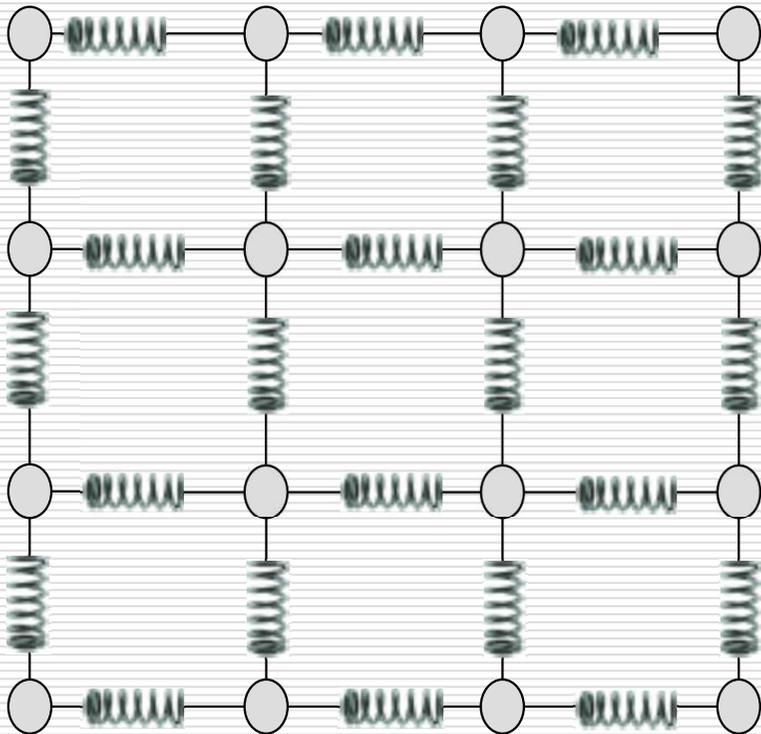
Sono descritte da funzioni del tipo:

$$f(x, t) = f_0 \sin(kx \pm \omega t + \varphi)$$



f_0 : ampiezza
 λ : lunghezza d'onda
 $k=2\pi/\lambda$: numero d'onda
 T : periodo
 ν : frequenza ($=1/T$)
 $\omega=2\pi/T$: pulsazione
 φ : costante di fase
 $c = \lambda/T$ velocità

Un modello semplice per la propagazione



Particelle unite le une alle altre per mezzo di molle.

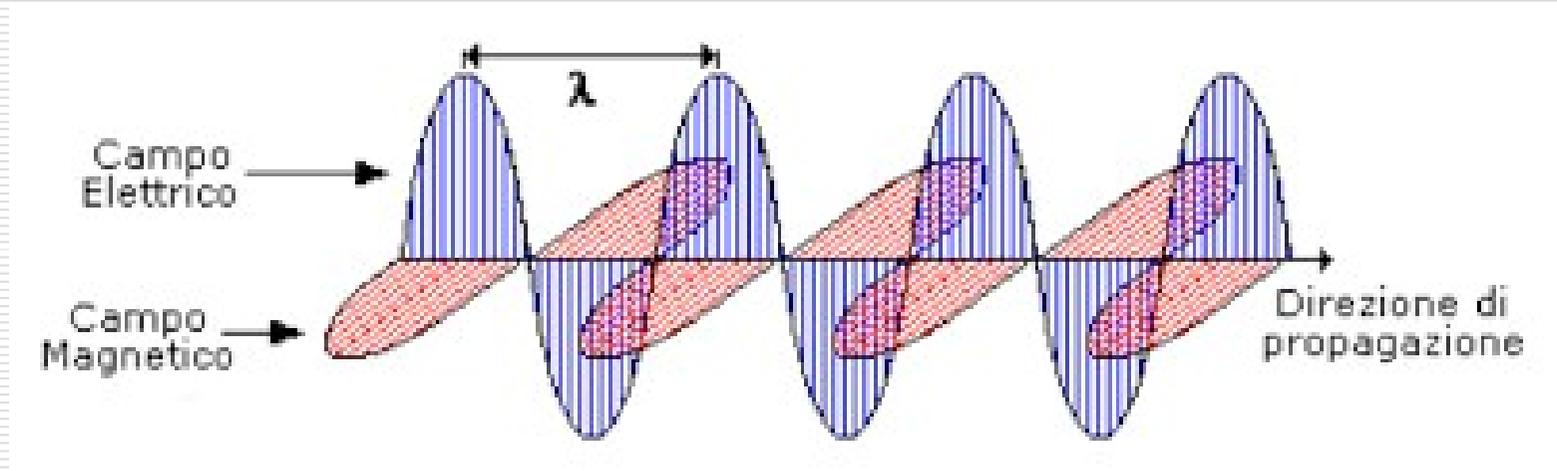
Quando una particella viene spostata, la sollecitazione viene trasmessa alle altre per mezzo di molle.

[onda longitudinale](#)

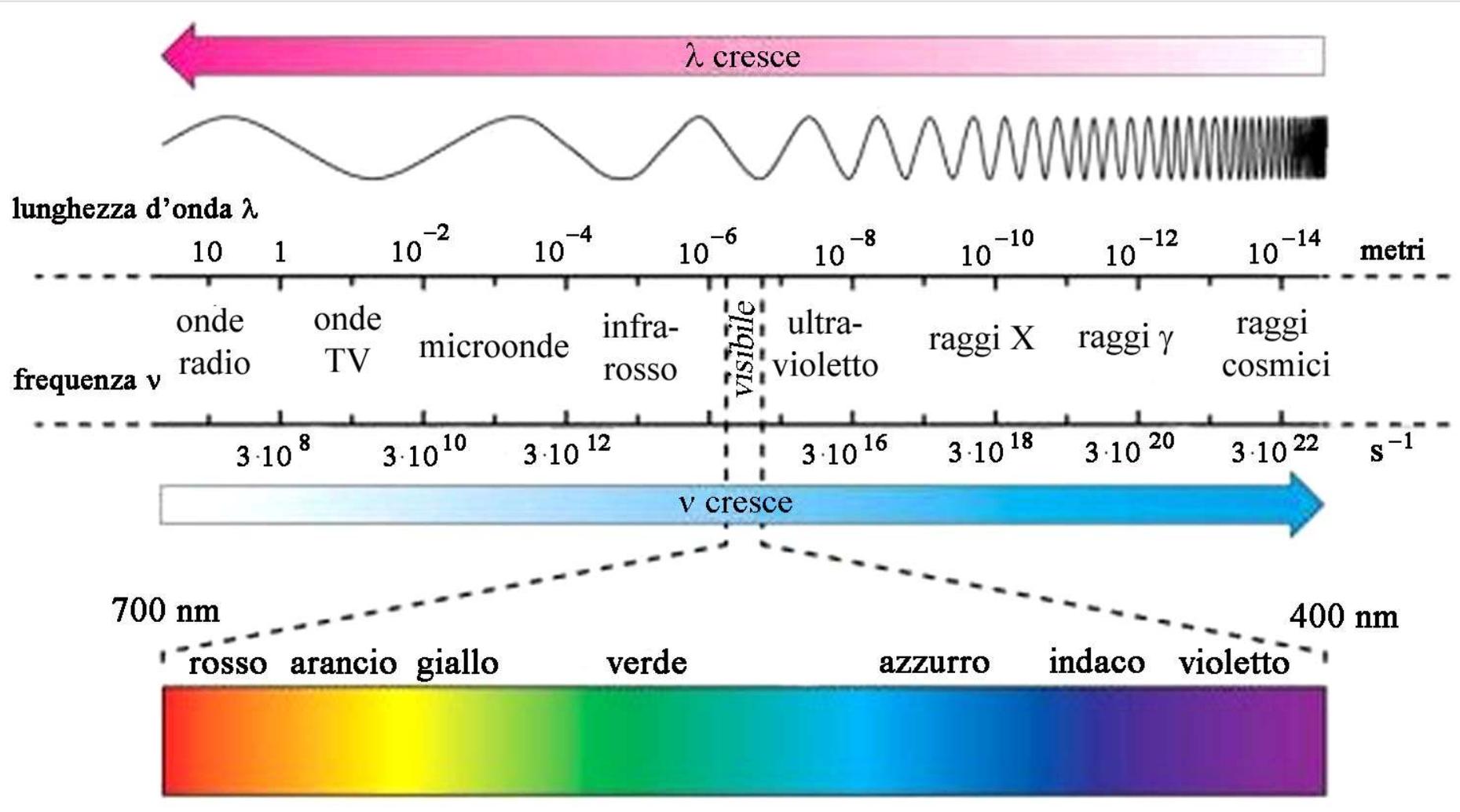
[onda trasversale](#)

Le onde elettromagnetiche

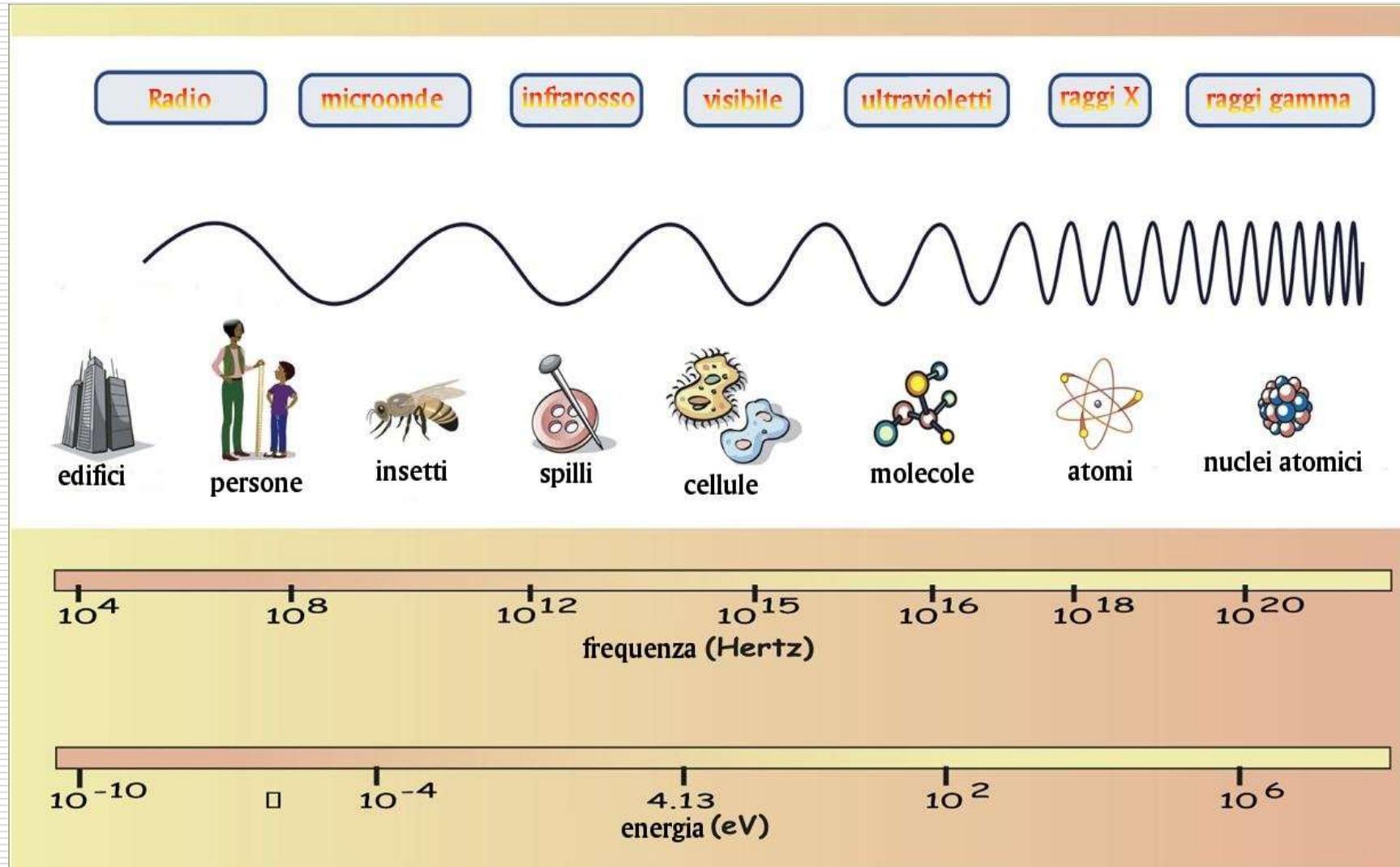
- Sono costituite da un campo elettrico E e da un campo magnetico B che formano un angolo di 90° .
- Sono onde trasversali
- Si propagano nel vuoto
- Hanno una velocità nel vuoto $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$



Lo spettro elettromagnetico



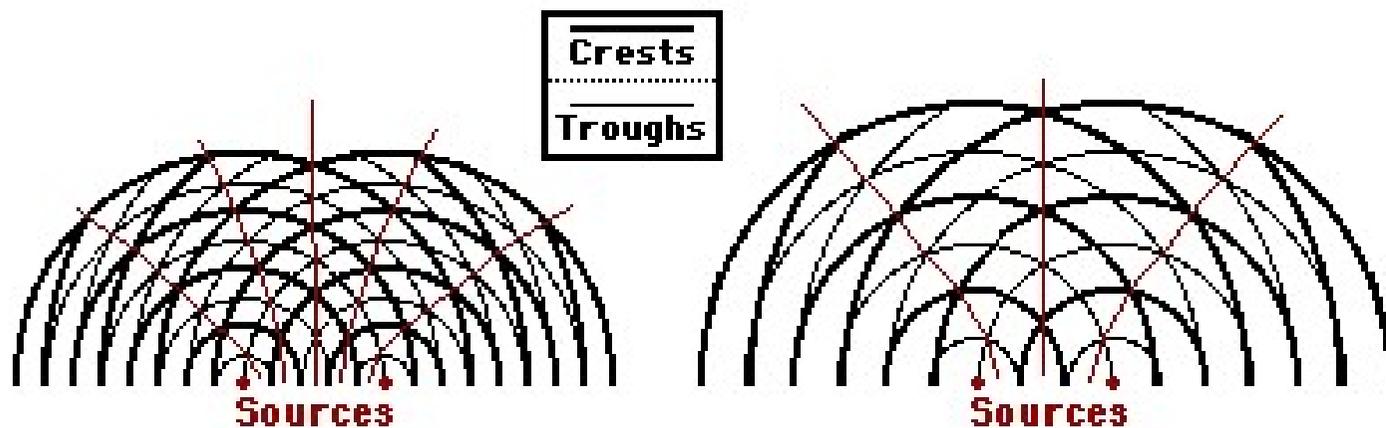
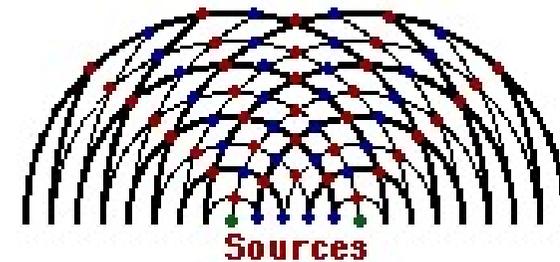
Lo spettro elettromagnetico



Interferenza

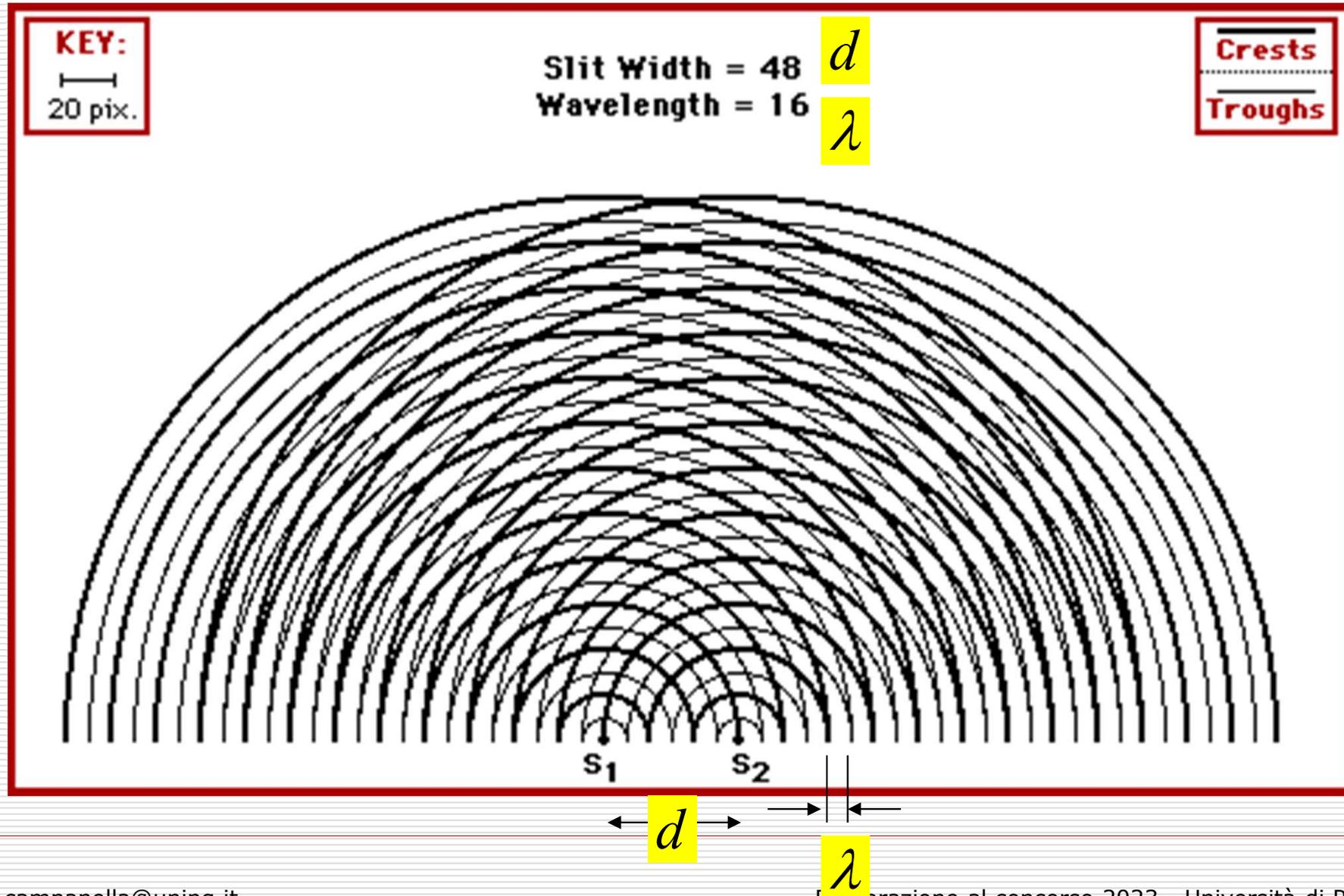


Two-Point Source Interference Pattern

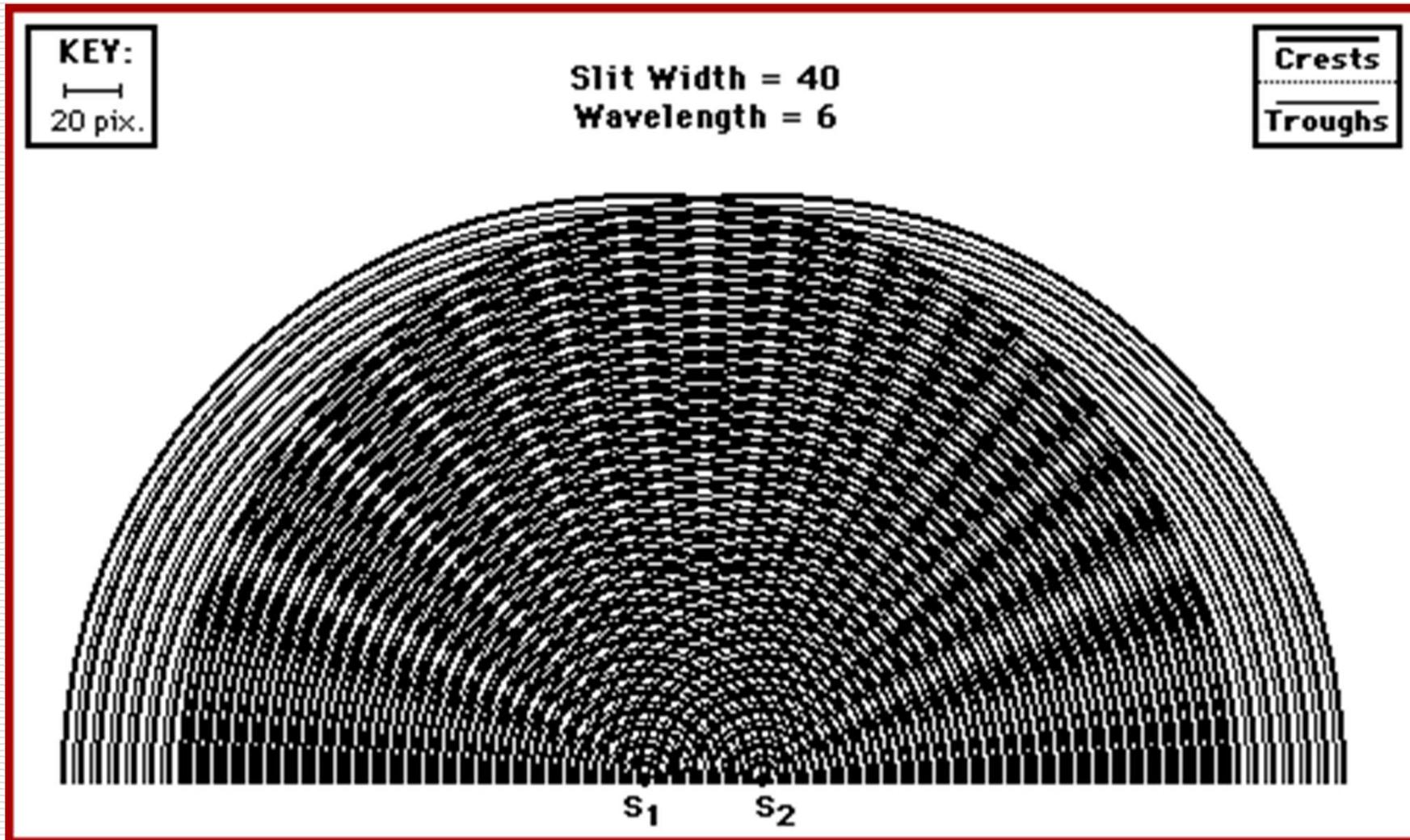


The proximity of the anti-nodal lines in a two-point source interference pattern is dependent upon the wavelength of the waves.

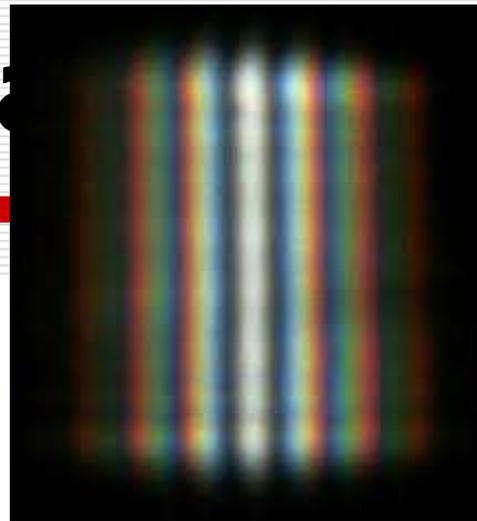
Interferenza (variando d)



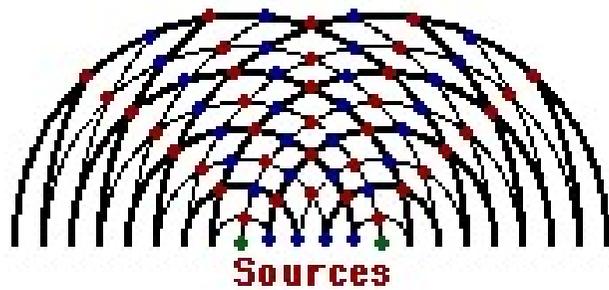
Interferenza (variando λ)



Interferenza costruttiva e distruttiva



Two-Point Source Interference Pattern



Costruttiva: luce

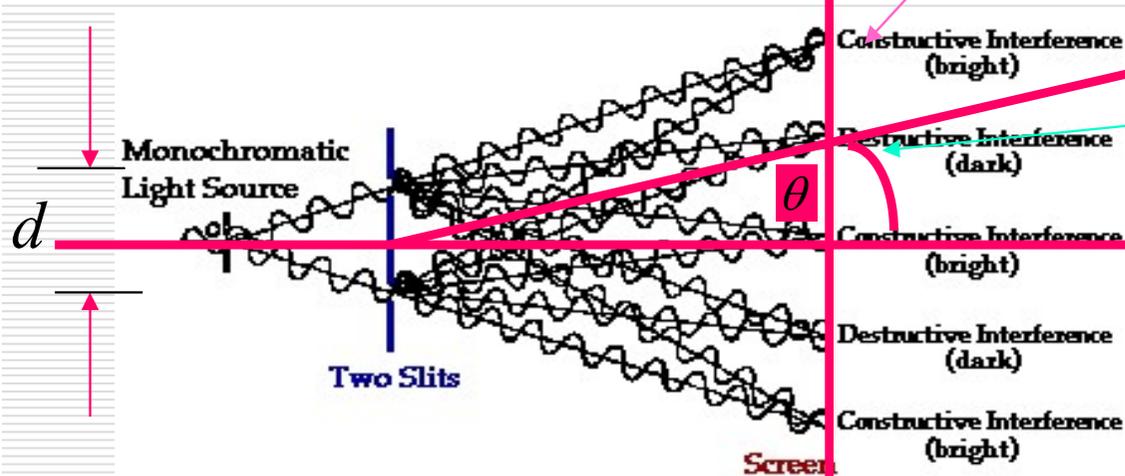
$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$

Distruttiva: ombre

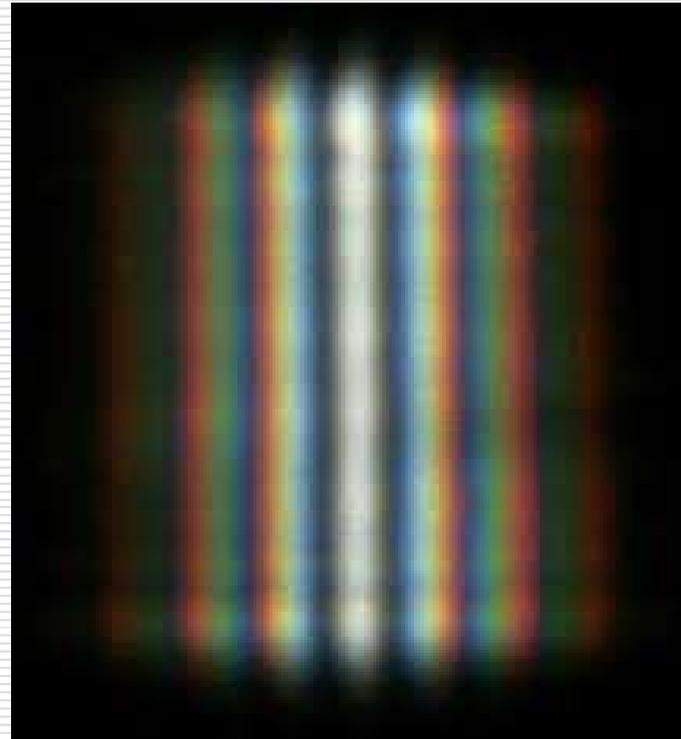
$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$\sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d}$$

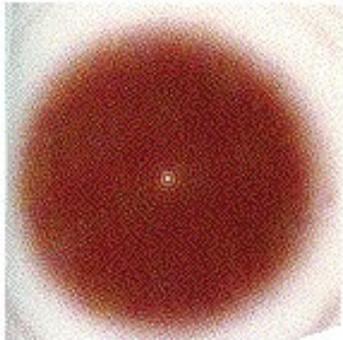


A two-point source interference pattern creates an alternating pattern of bright and dark lines when it is projected onto a screen.

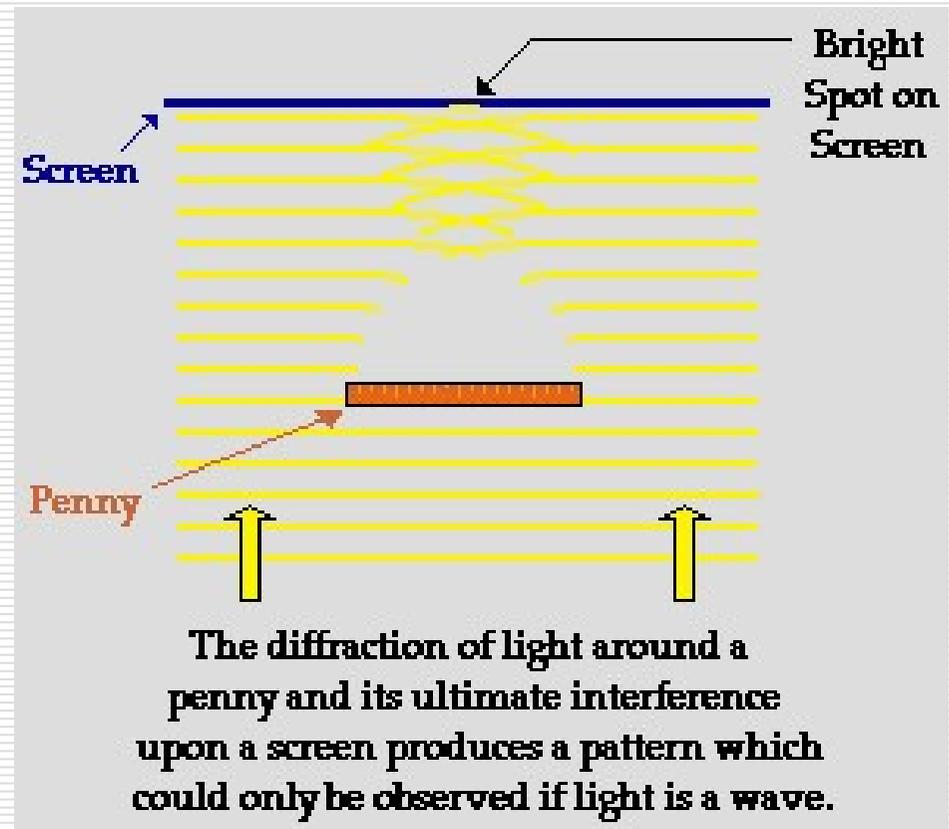
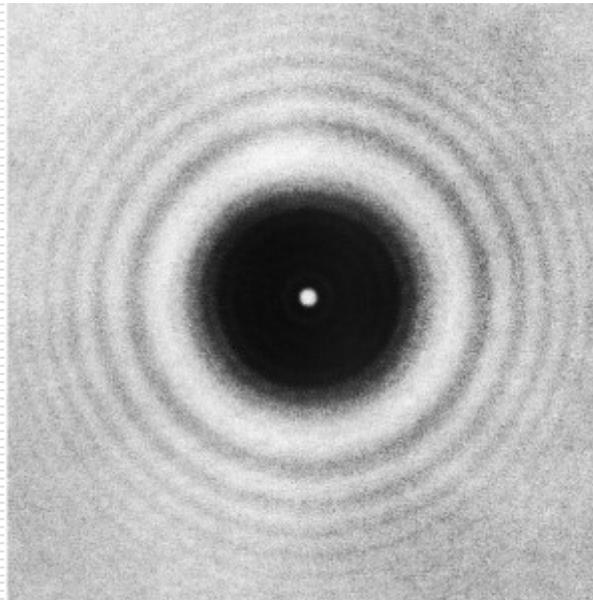
Interferenza costruttiva e distruttiva



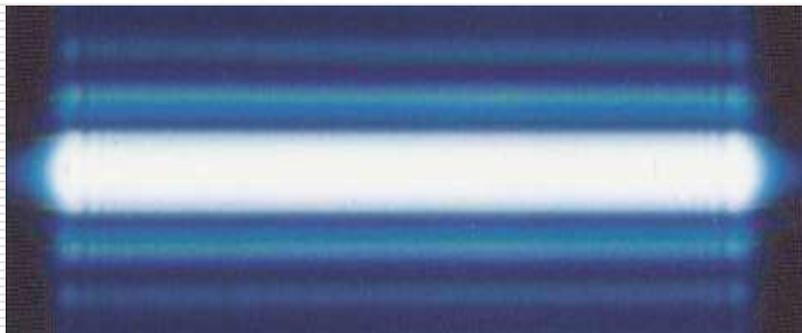
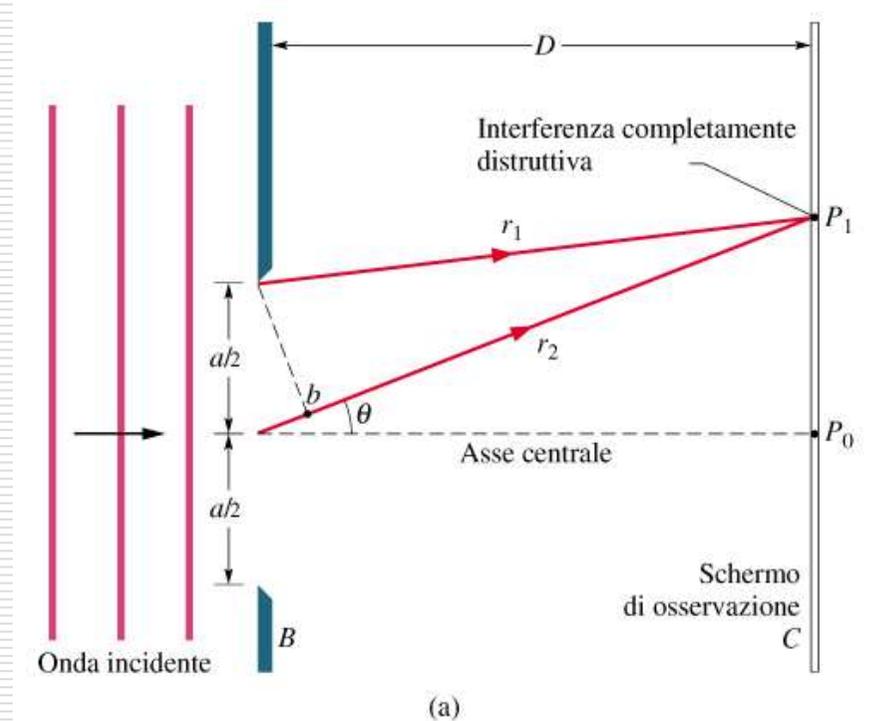
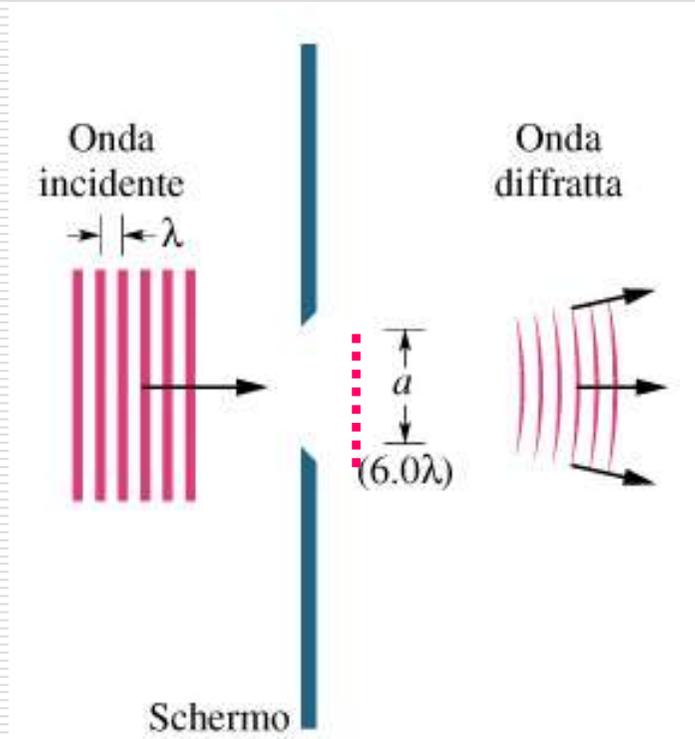
Diffrazione



Light diffracts around a penny - observe the light spot in the center of pattern.



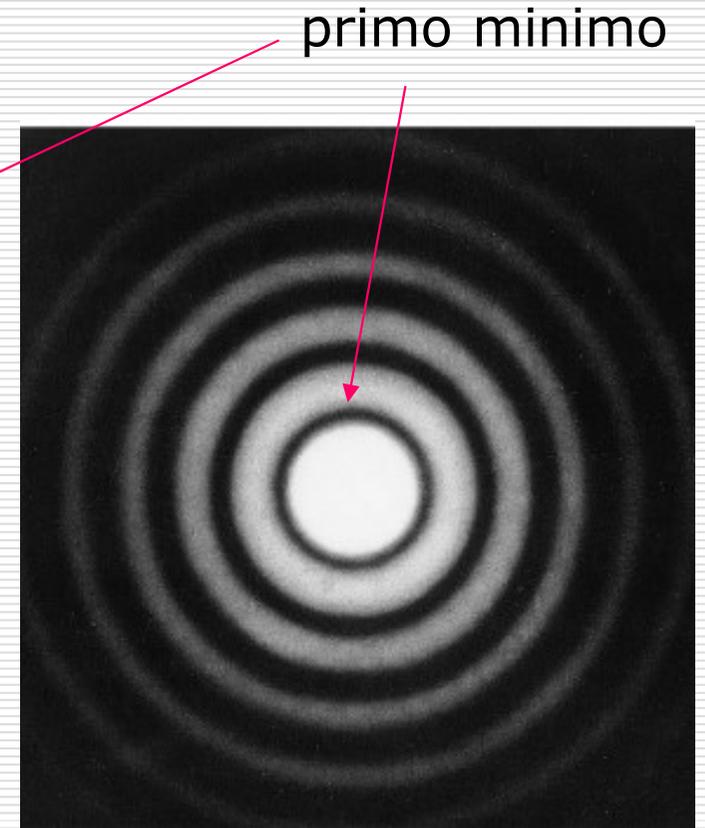
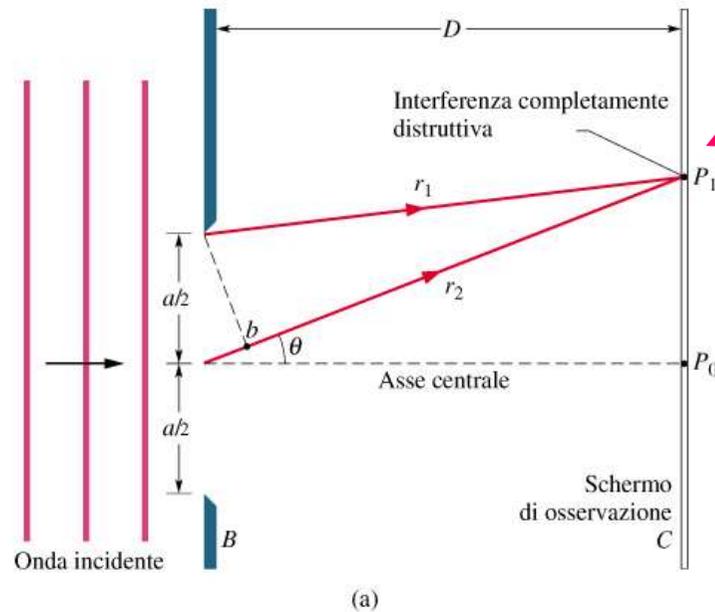
Diffrazione



POSIZIONE DEI MINIMI

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots)$$

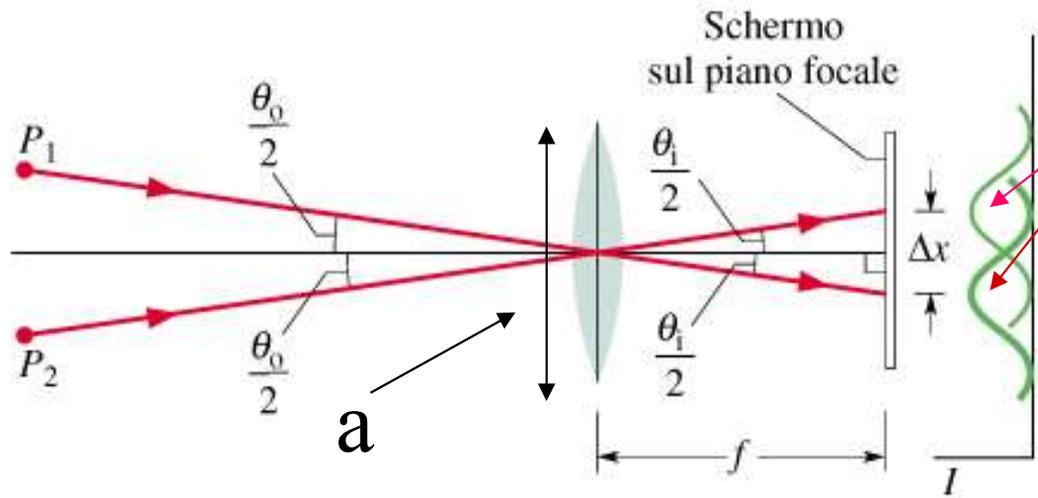
Diffrazione da un foro circolare



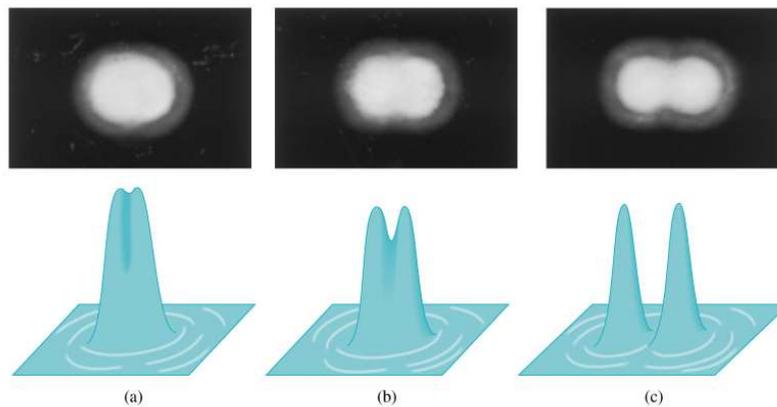
$$\sin\theta = 1.22 \cdot m \frac{\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots)$$

primo minimo $m=1$ $\sin\theta_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{a} \Rightarrow \theta_{\min} \approx 1.22 \frac{\lambda}{a}$

Risoluzione

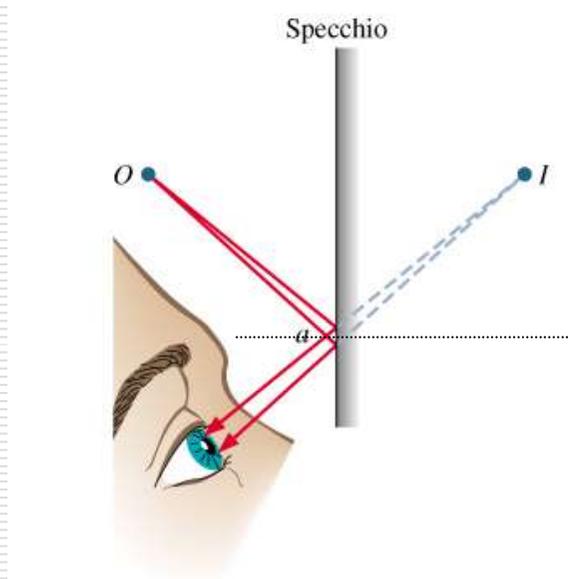
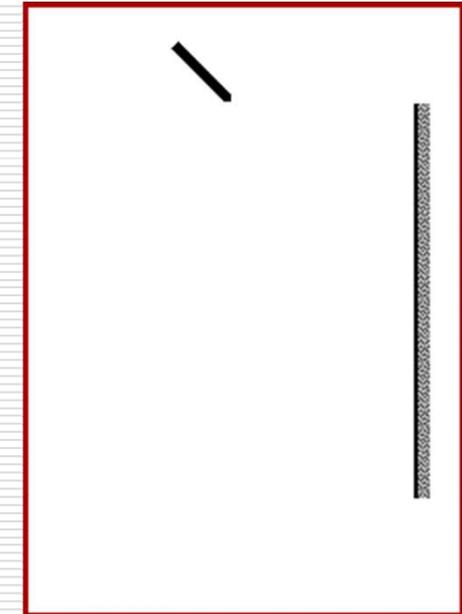
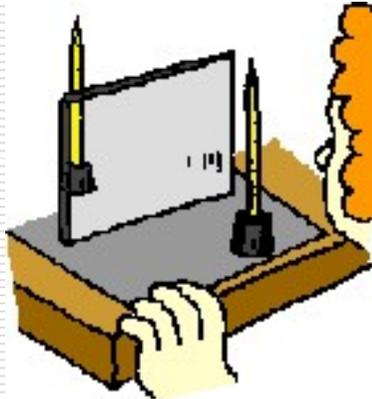


Criterio di RAYLEIGH
massimo dell'una
coincide col
minimo dell'altra

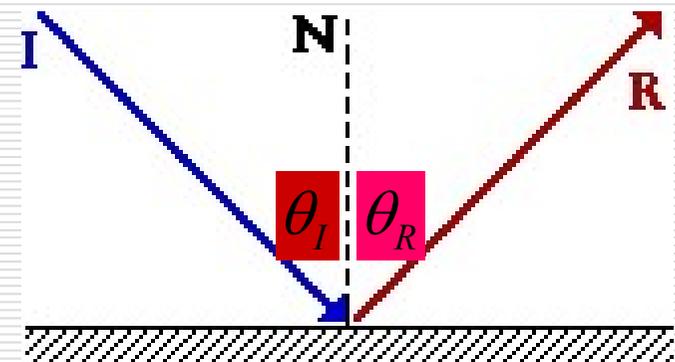


$$\theta_{\text{omin}} \approx 1.22 \frac{\lambda}{a}$$

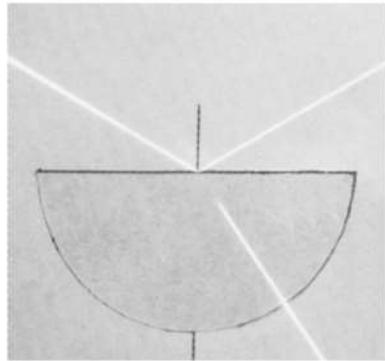
La riflessione



$$\theta_R = \theta_I$$

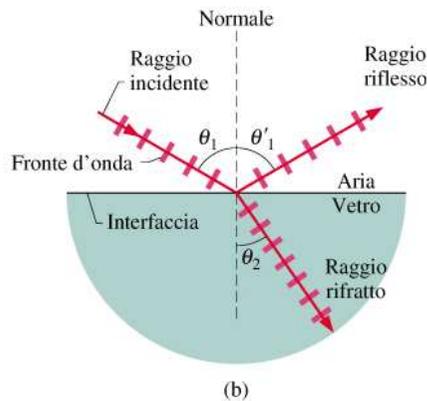
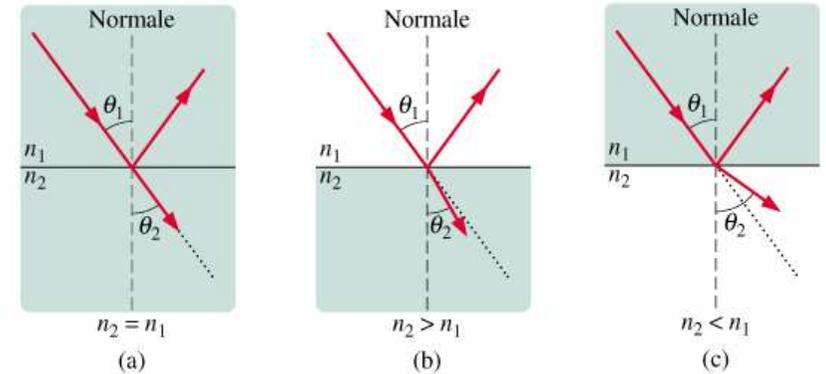


La rifrazione



L'indice di rifrazione n è il rapporto tra le velocità della luce nel vuoto e nel mezzo

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



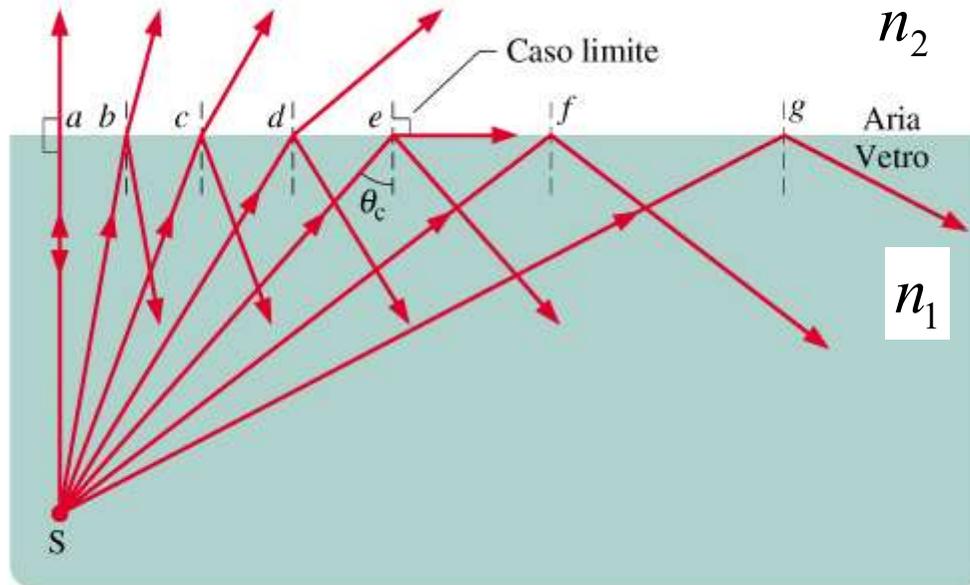
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Indici di rifrazione di alcuni materiali^a

Mezzo	Indice	Mezzo	Indice
Vuoto	1 esattamente	Vetro comune <i>crown</i>	1.52
Aria (condizioni standard)	1.00029	Cloruro di sodio	1.54
Acqua (20 °C)	1.33	Polistirene	1.55
Acetone	1.36	Bisolfuro di carbonio	1.63
Etanolo	1.36	Vetro <i>flint</i> pesante	1.65
Soluzione di glucosio (30 %)	1.38	Zaffiro	1.77
Quarzo fuso	1.46	Vetro <i>flint</i> pesantissimo	1.89
Soluzione di glucosio (80 %)	1.49	Diamante	2.42

^aPer la lunghezza d'onda di 589 nm (luce gialla del sodio).

Riflessione totale



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Angolo critico:

$$\theta_1 = \theta_c \text{ per } \theta_2 = 90^\circ$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2$$

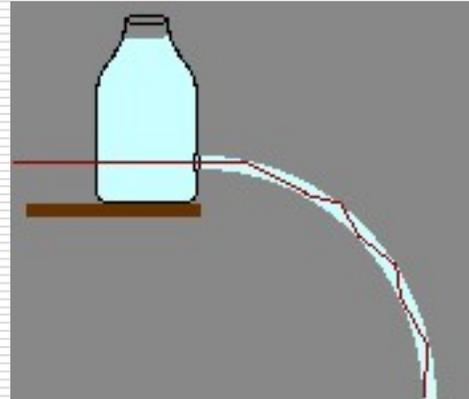
$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

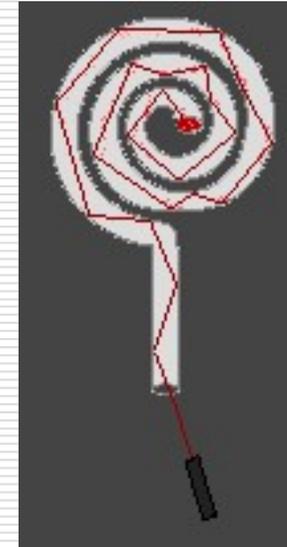
Riflessione totale per

$$\theta_1 > \theta_c$$

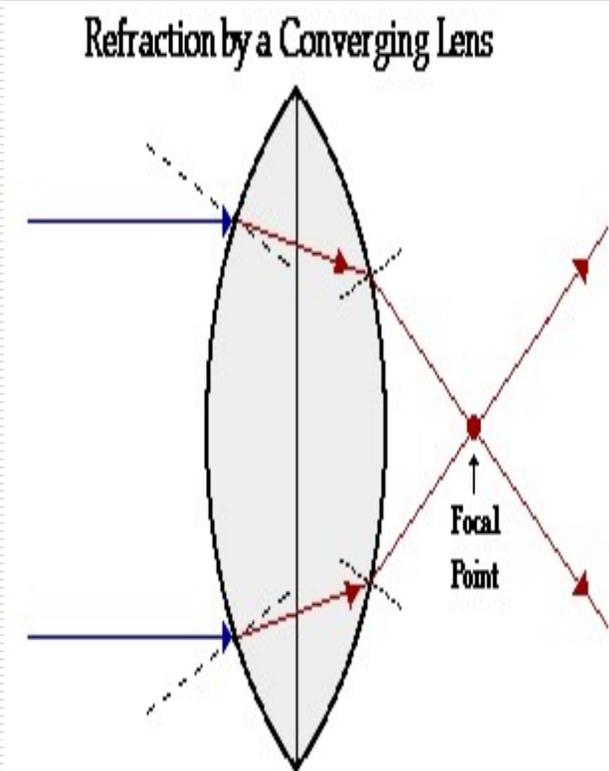
Fibre ottiche



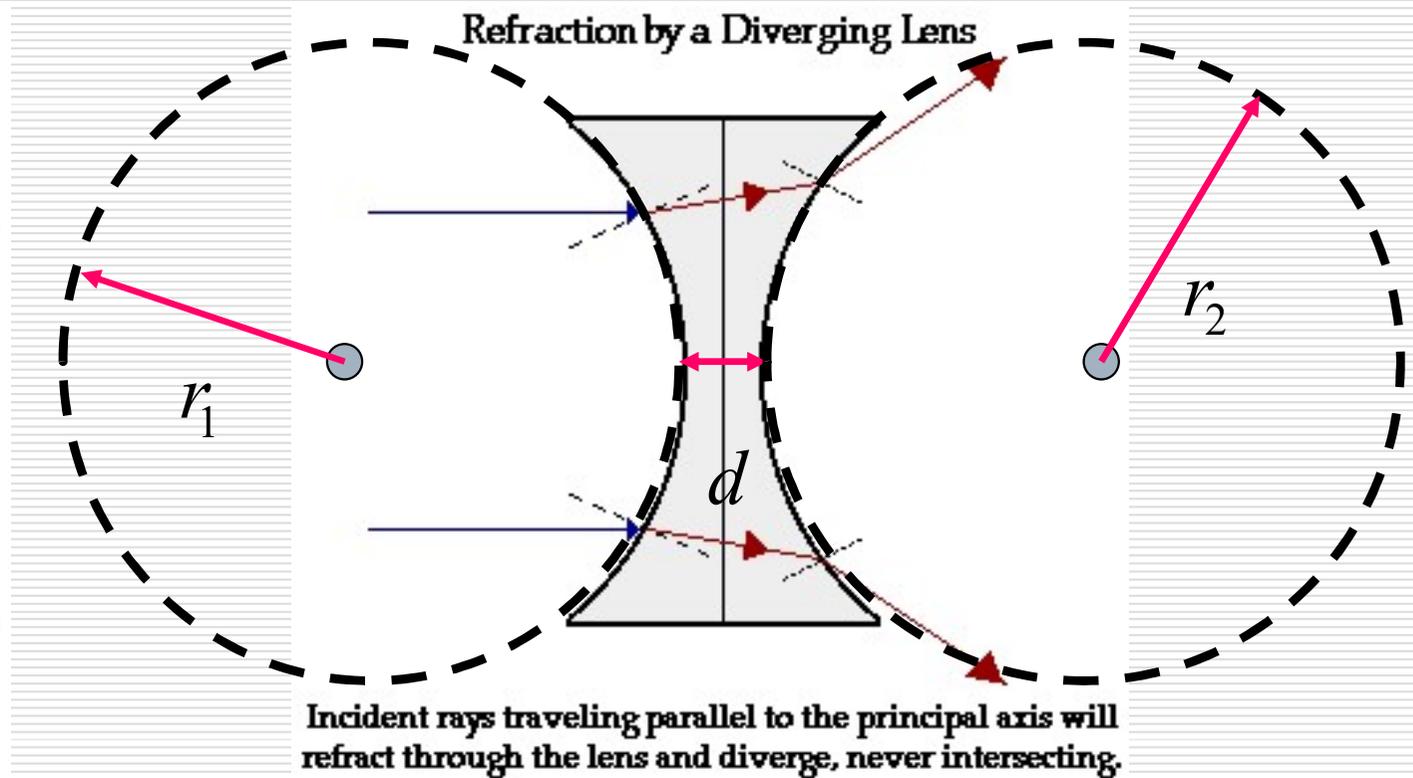
The laser beam stays internal to the water, continuously reflecting at each boundary.



Le lenti sottili

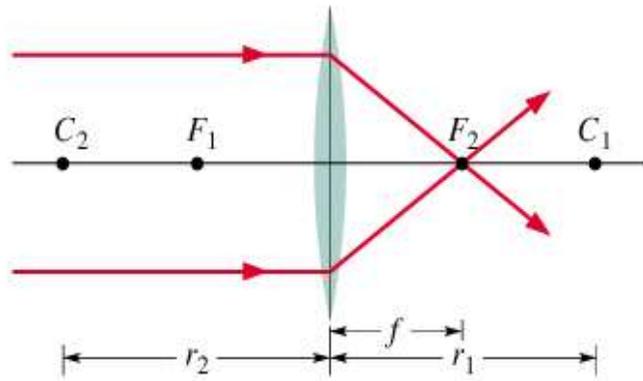


Incident rays which travel parallel to the principal axis will refract through the lens and converge to a point.

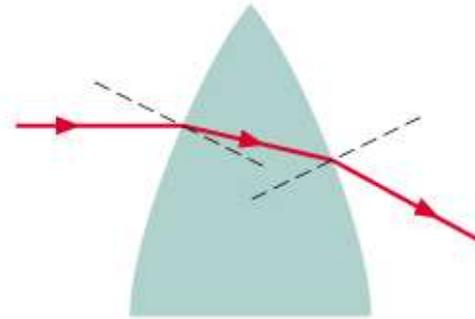


$$d \ll r_1 \quad d \ll r_2$$

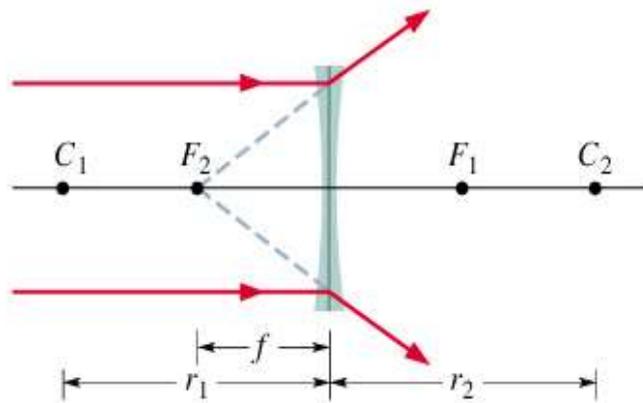
Lenti convergenti e divergenti



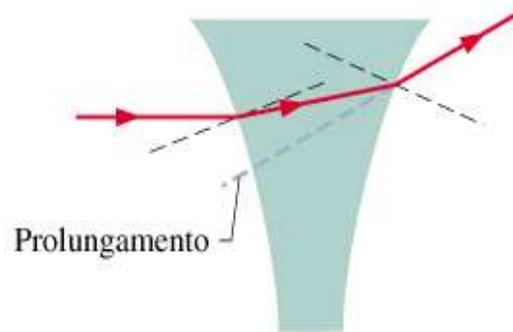
(a)



(b)



(c)



(d)

Converging Lenses



thicker across the middle
thinner at its edges
serves to converge light

Diverging Lenses



thinner across the middle
thicker at its edges
serves to diverge light

Le leggi delle lenti

Si hanno tre convenzioni:

- i raggi passanti per il centro ottico non vengono deviati;
- i raggi paralleli all'asse principale vengono rifratti dall'altro lato della lente passando per il fuoco;
- i raggi rifratti dei raggi che passano per i fuochi sono deviati parallelamente all'asse principale.

La rifrazione dei raggi da parte della lente dipende dal materiale della lente. L'immagine ottenuta può avere caratteristiche differenti che dipendono dal punto in cui si trova l'oggetto e dal tipo di lenti, divergenti o convergenti.

Più esattamente, l'immagine:

- non si forma se l'oggetto si trova nel fuoco della lente perché i raggi rifratti non si incontrano;
- può essere delle stesse dimensioni, più grande o più piccola dell'oggetto;
- può essere dritta o capovolta;
- può essere reale o virtuale.

Lenti convergenti

L'immagine generata dalle lenti convergenti è:

- reale, più piccola e capovolta se l'oggetto si trova a una distanza maggiore del doppio della distanza focale;
- reale, di uguale dimensioni e capovolta, se l'oggetto è a una distanza pari al doppio della distanza focale;
- reale, più grande e capovolta, se l'oggetto si trova tra la distanza focale e il doppio della distanza focale;
- virtuale, più grande e dritta se l'oggetto si trova tra il fuoco e il centro della lente.

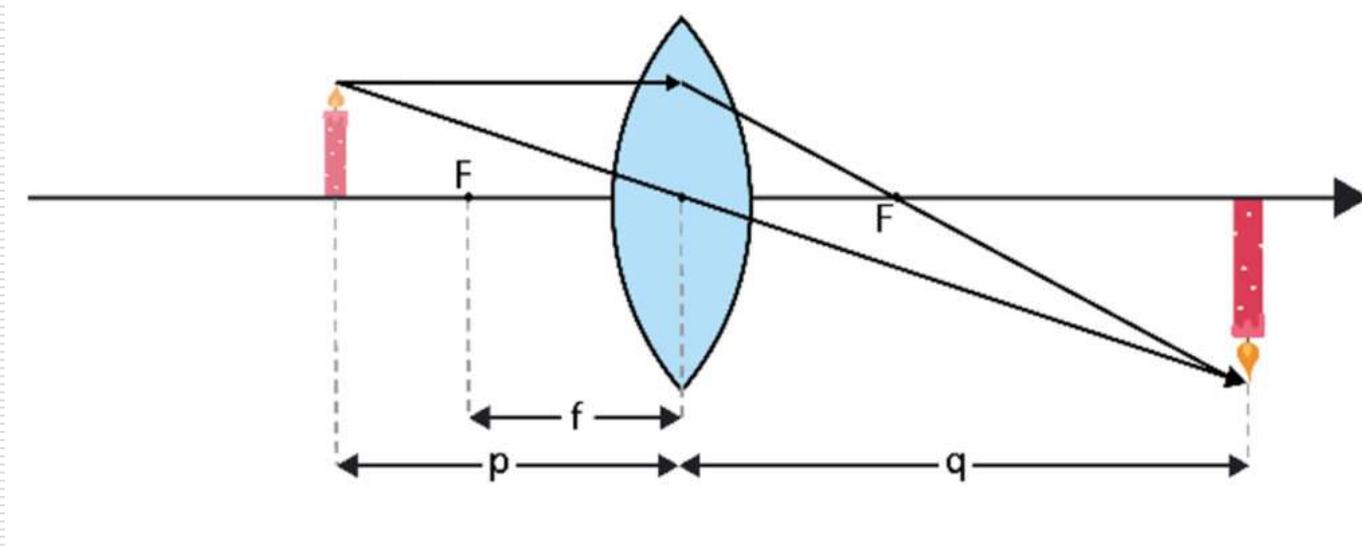
Lenti divergenti

L'immagine prodotta dalle lenti divergenti è sempre:

- virtuale, più piccola e dritta.

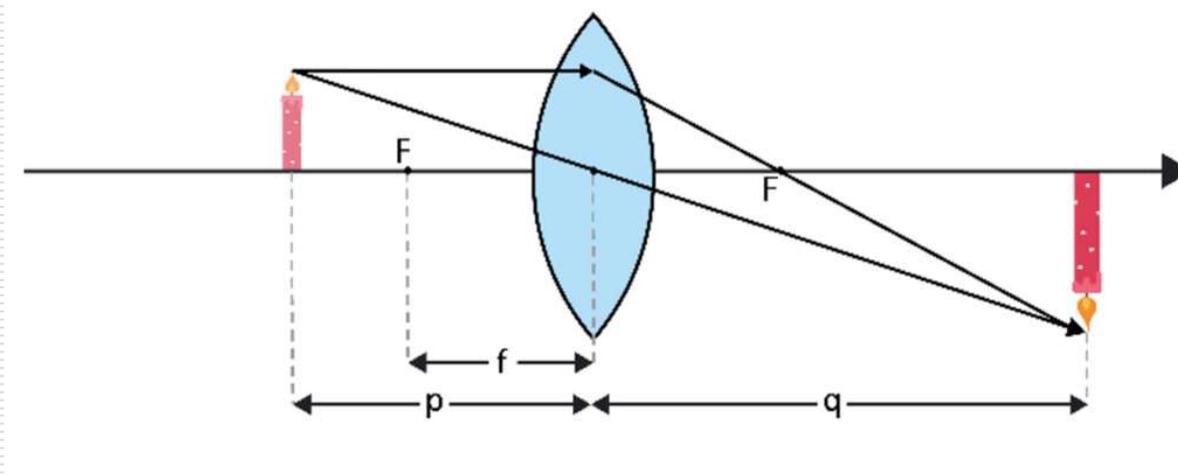
Questo si verifica perché il fuoco di una lente divergente è un punto virtuale in quanto i raggi rifratti divergono senza mai intersecarsi.

Legge delle lenti



- p la distanza tra l'oggetto A e il centro della lente O ;
- q la distanza tra l'immagine A' e il centro della lente;
- f la distanza del centro della lente da ciascuno dei due fuochi, ossia la lunghezza o distanza focale.
- $1/f$ il potere diottrico della lente e si misura in diottrie, m^{-1} . Il potere diottrico esprime la capacità della lente di modificare la traiettoria dei raggi incidenti e di far convergere i raggi rifratti;

Legge delle lenti

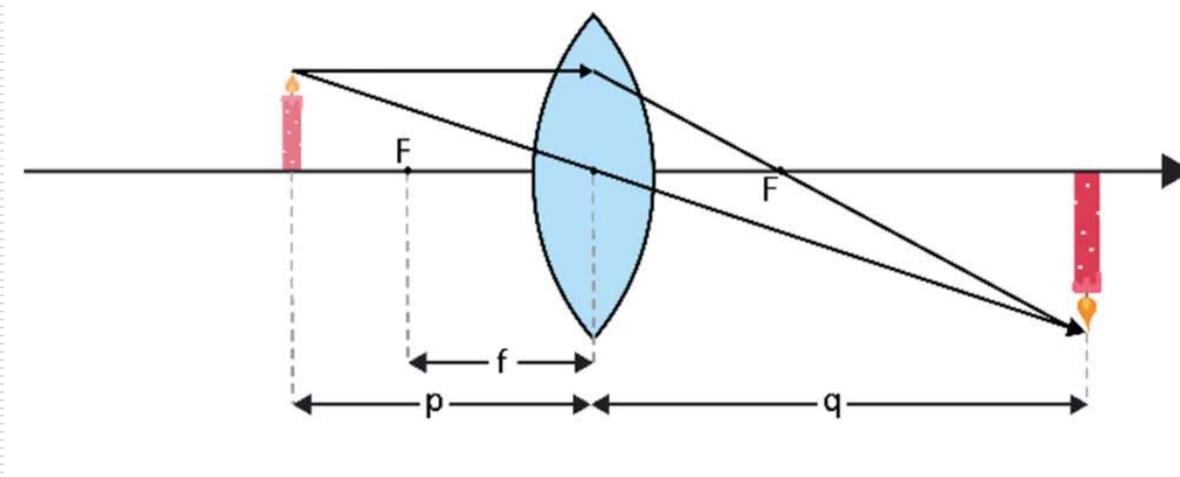


L'immagine si forma nel punto in cui i raggi rifratti si incontrano. Per determinare l'intersezione dei raggi rifratti usiamo la formula della legge delle lenti sottili che esprime la relazione tra la distanza dell'oggetto dalla lente e la distanza dell'immagine dalle lenti con la distanza focale:

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

- se $q > 0$ l'immagine è reale;
- se $q < 0$ l'immagine è virtuale.

Legge delle lenti



Assieme alla legge

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

si hanno anche le formule inverse

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

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

Ingrandimento

L'ingrandimento dell'immagine, indicato solitamente con G , è dato dal rapporto tra la distanza dell'immagine dalla lente, q , e la distanza dell'oggetto dalla lente, p .

La formula per calcolare l'ingrandimento dell'immagine è

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

Se $G < 0$ l'immagine è capovolta.

Esercizio

Una lente sottile convergente ha una lunghezza focale di 40 cm. Un oggetto si trova alla distanza di 60 cm dalla lente. Dove si forma l'immagine? Qual è l'ingrandimento?

- a) $q = 120$ cm, $G = 2$
- b) $q = 120$ cm, $G = -2$
- c) $q = 80$ cm, $G = 3$
- d) $q = 120$ cm, $G = 3$
- e) $q = 80$ cm, $G = -2$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{40} - \frac{1}{60} = \frac{3-2}{120} = \frac{1}{120} \Rightarrow q = 120$$

$$G = -\frac{q}{p} = -\frac{120}{60} = -2$$