

OTTICA

Ottica geometrica

Ignora il carattere ondulatorio della luce e parla di raggi luminosi che si propagano in linea retta.

Fenomeni descritti dall'ottica geometrica:
riflessione e rifrazione

Ottica fisica

Si occupa della natura ondulatoria della luce.

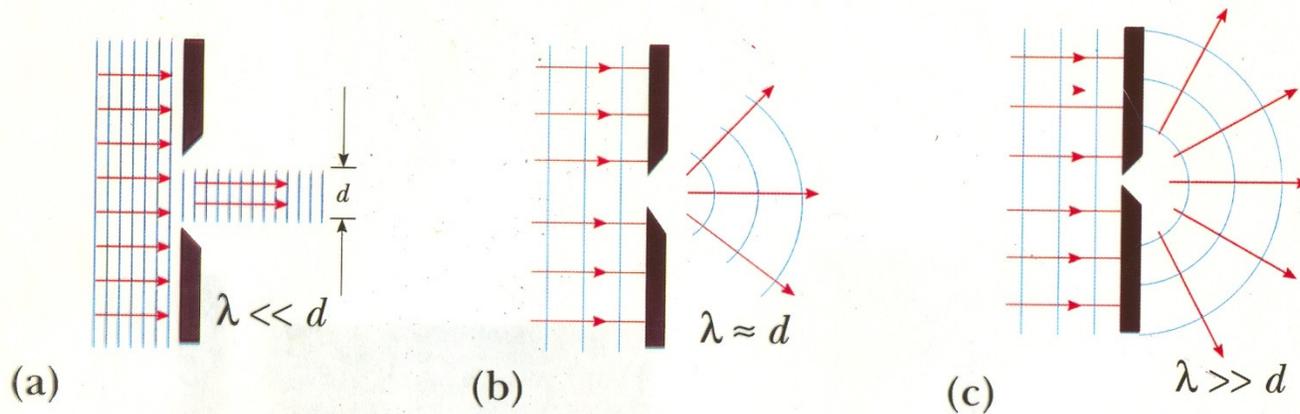
Fenomeni interpretabili solo in termini di ottica ondulatoria:

**interferenza,
diffrazione e
polarizzazione**



Piano Lauree Scientifiche
1 febbraio 2013

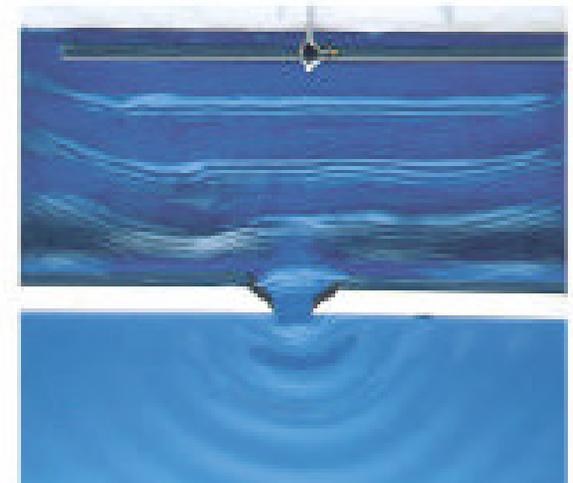
Quando lungo il percorso della luce vi sono fenditure ed ostacoli con dimensioni dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda incidente gli effetti non sono spiegabili con l'ottica geometrica ma solo con l'ottica ondulatoria di cui l'ottica geometrica è un caso particolare.



(a) Limite dell'ottica geometrica (raggi luminosi)

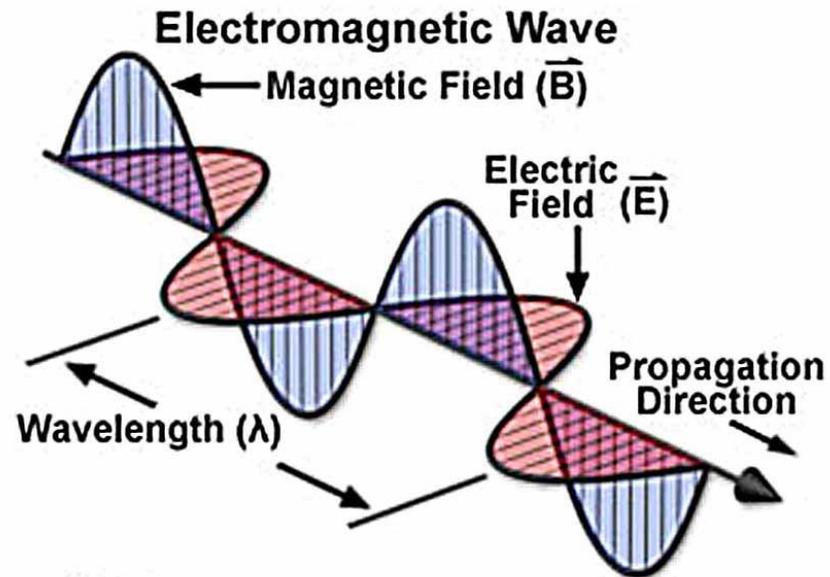
(b) Condizioni per l'ottica ondulatoria

In analogia con

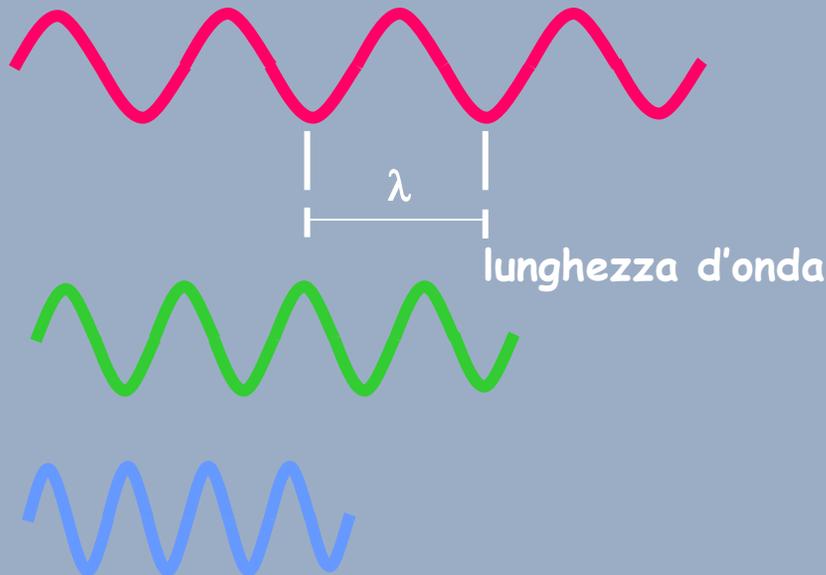


La teoria ondulatoria della luce interpreta il fenomeno della luce come **un'onda elettromagnetica**, ossia come una variazione periodica dei campi elettrico e magnetico nello spazio e nel tempo

Luce come fenomeno ondulatorio



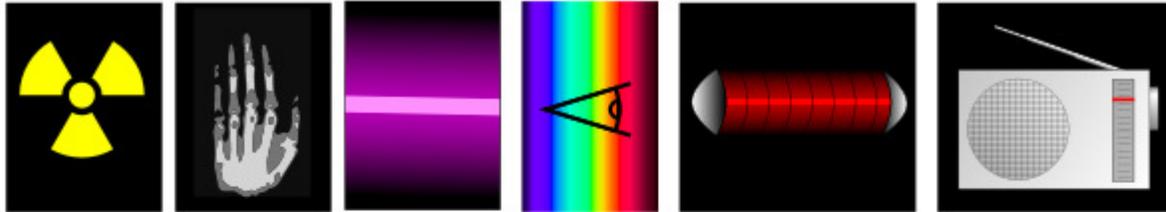
$$E = \cos(\omega t - kx + \varphi) = \cos(\omega t - 2\pi x / \lambda + \varphi)$$



$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

radiazioni ionizzanti

radiazioni non ionizzanti



0.01nm

1nm

100nm

1mm

1cm

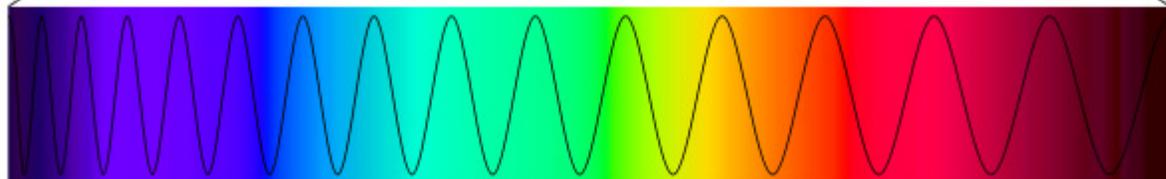
1m

1km

400nm

700nm

visibile

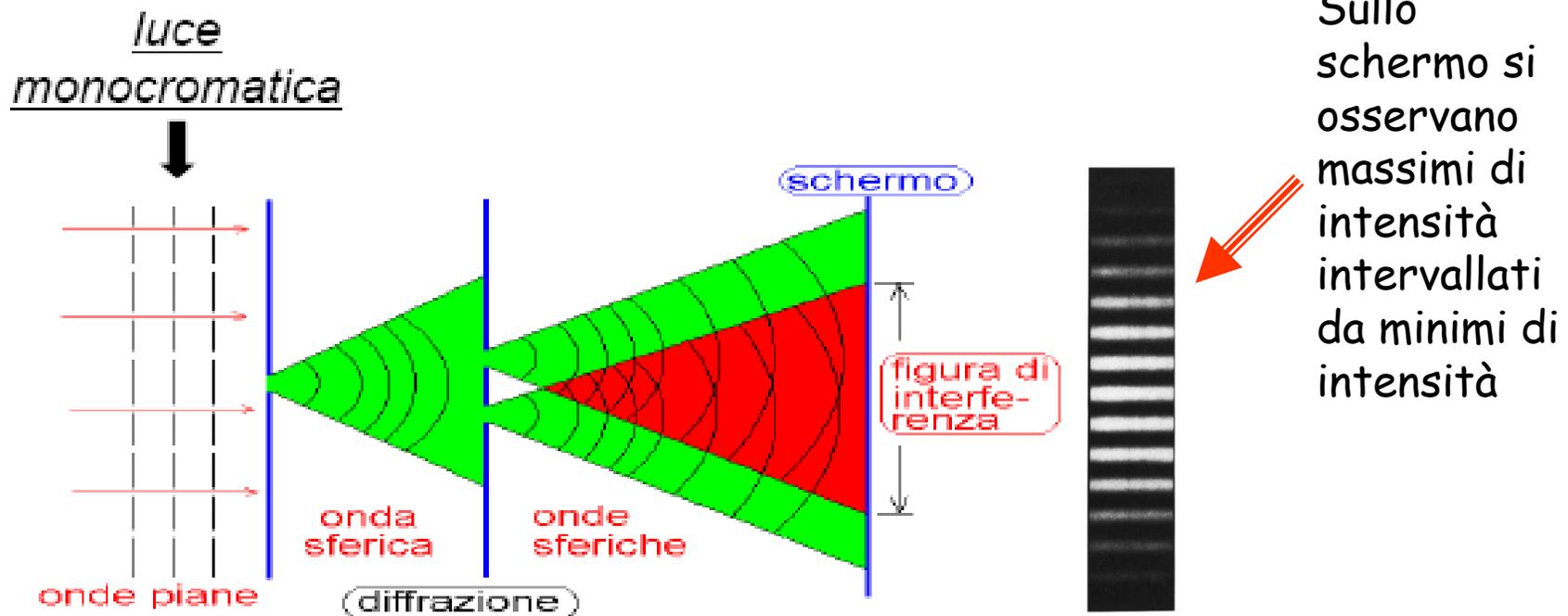


energia

lunghezza d'onda

Il primo a dimostrare sperimentalmente la teoria ondulatoria della luce fu Tomas Young nel 1801 e ne misurò la lunghezza d'onda

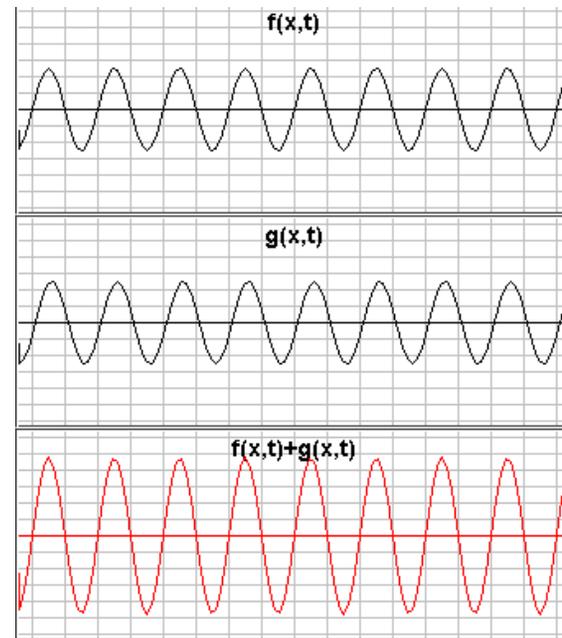
Esperimento di Young:



Interferenza

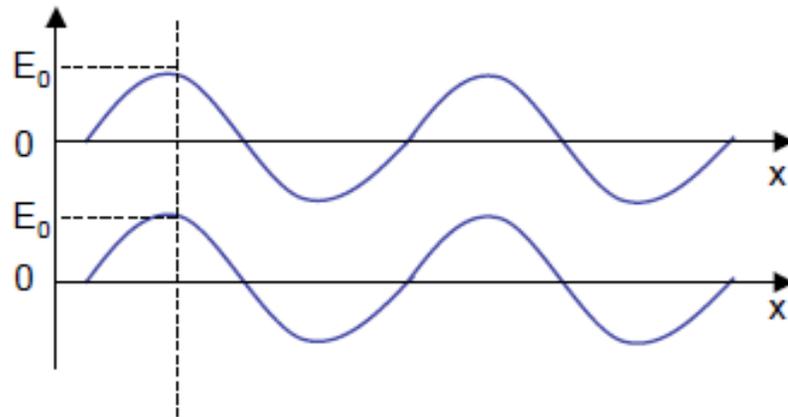
Il fenomeno dell'interferenza si osserva in vari campi della Fisica:
onde acustiche,
onde meccaniche sulla superficie di un liquido,
onde luminose etc.

Il fenomeno è conseguenza della sovrapposizione in un punto dello spazio di due o più onde.

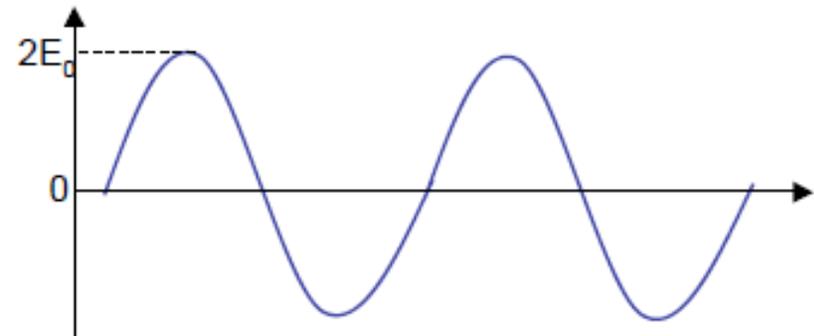


Due onde della stessa natura che si incontrano nello stesso punto dello spazio interagiscono e generano una perturbazione di ampiezza pari alla somma delle loro ampiezze

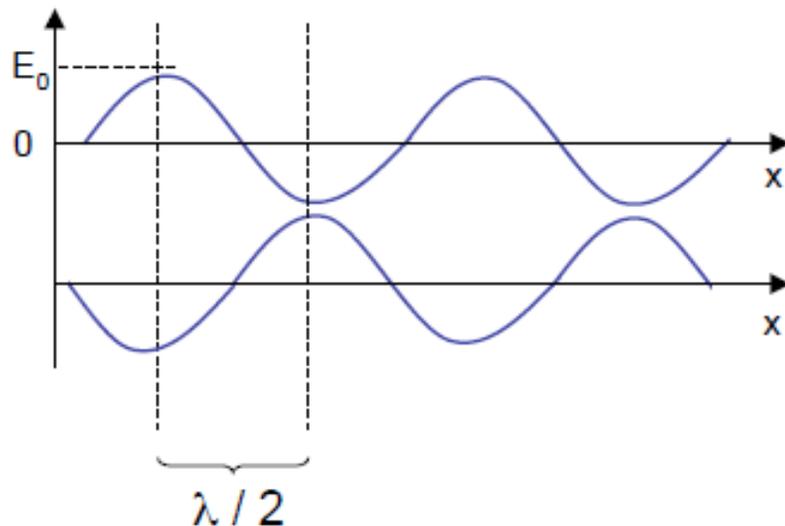
Onde in fase



interferenza costruttiva



Onde sfasate di $\lambda / 2$



interferenza distruttiva



Supponiamo di avere due onde ciascuna con lunghezza d'onda λ e fase ϕ

In generale si può avere una sovrapposizione di 2 onde
con λ uguali o differenti e
con $\Delta\phi$ costante o non costante.

La somma di queste onde produce un campo elettrico $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$

Nella sovrapposizione di due onde luminose, quello che si vede su uno schermo è l'energia media che arriva; pertanto quello che interessa è una quantità proporzionale al quadrato del campo.

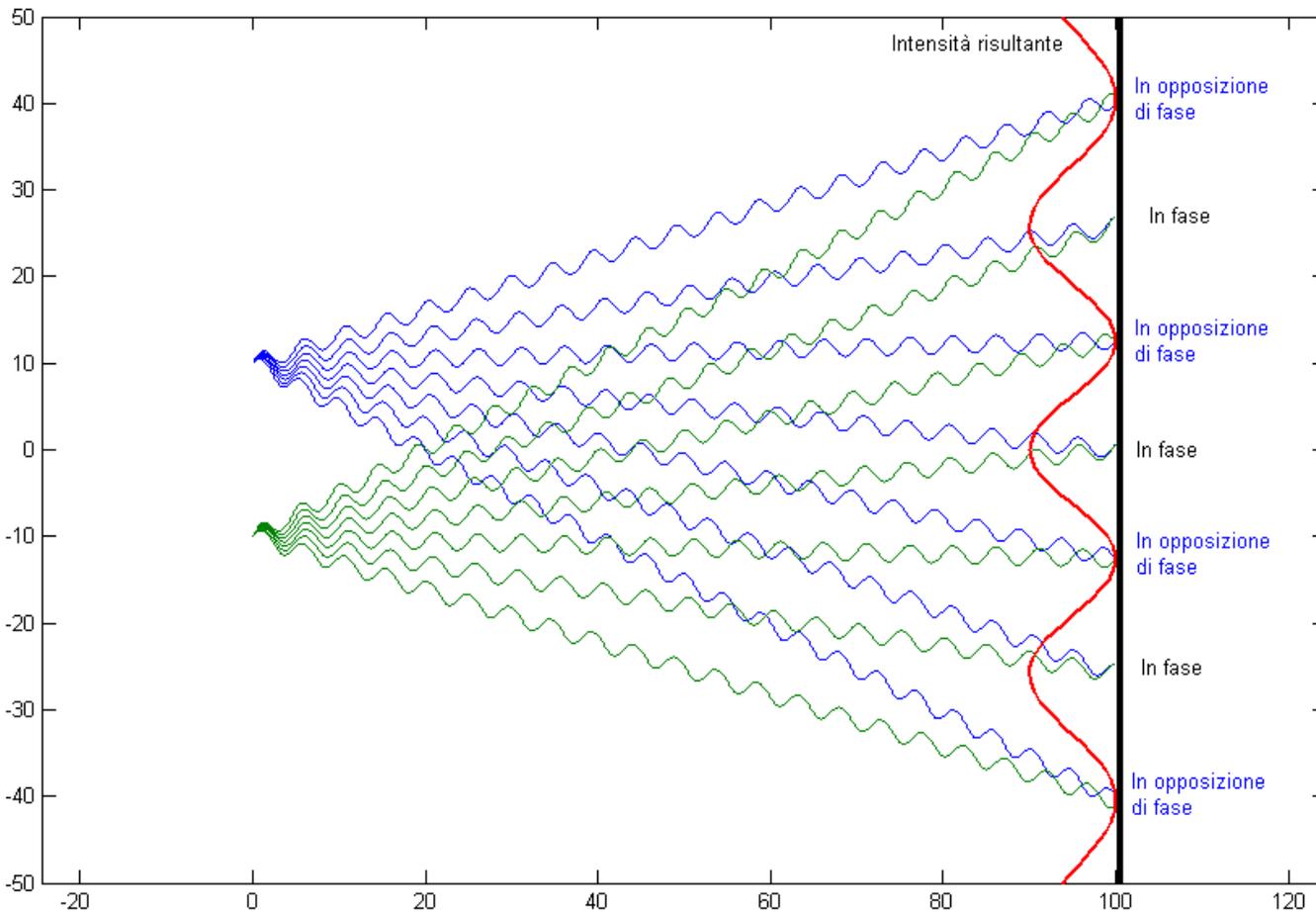
Se $\phi_2 - \phi_1$ varia rapidamente, l'occhio umano vede un valore medio nullo.
Condizione per osservare interferenza **differenza di fase costante**

Si osservano figure di interferenza con
con λ uguali sorgenti **monocromatiche**
con $\Delta\phi$ costante sorgenti **coerenti**

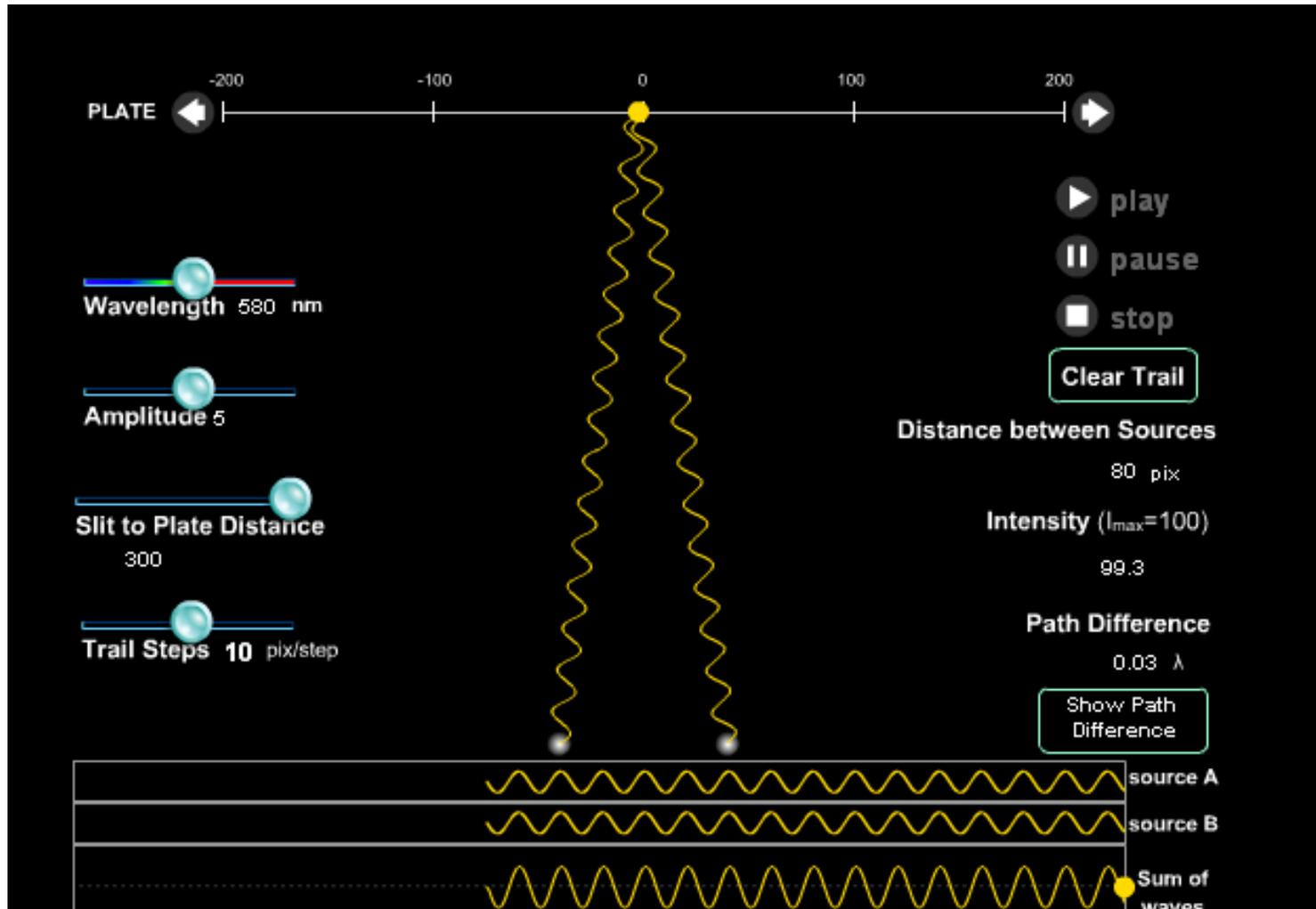
Interferenza tra due onde elettromagnetiche

Le due onde giungono schermo con una differenza di fase dovuta alla differenza di cammino percorso.

- Se la differenza di fase è un multiplo pari di π , ovvero se la differenza di cammino ottico è pari a $m\lambda$, le onde si sommano (interferenza costruttiva).
- Se la differenza di fase è un multiplo dispari di π , ovvero se la differenza di cammino ottico è pari a $(m\lambda+1/2)$, le onde si sottraggono (interferenza distruttiva).



Esperienza di Young



Interferenza della luce

Analisi delle figure di interferenza mediante l'interferometro di Michelson

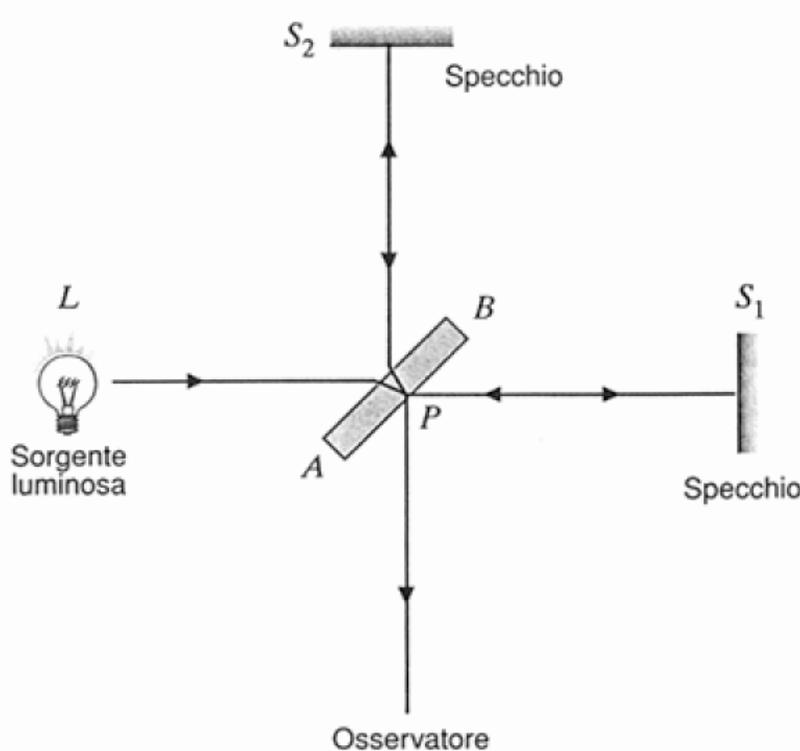


FIGURA 14-2 Interferometro di Michelson.

Al variare della distanza tra AB e S_1 si verifica interferenza costruttiva o distruttiva secondo che la differenza tra i cammini ottici dei fasci 1 e 2 sia un multiplo intero o semintero della

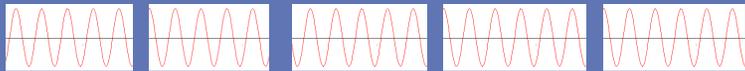
- lunghezza d'onda.

Per sorgenti di tipo termico la radiazione emessa è la somma di tanti eventi indipendenti.

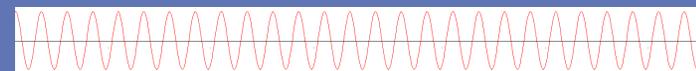
La radiazione laser è monocromatica e coerente

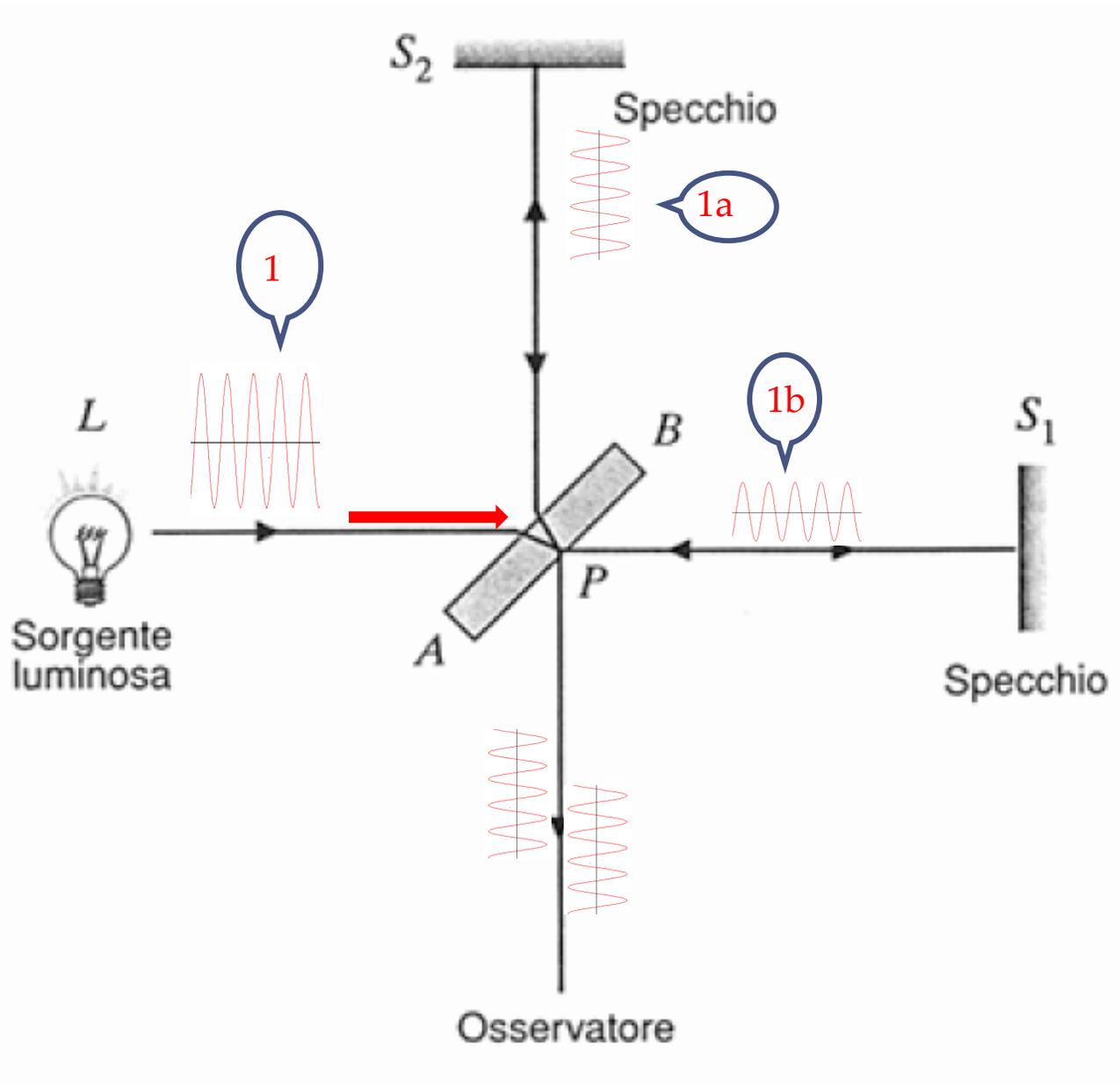
Esempi di treni d'onda di

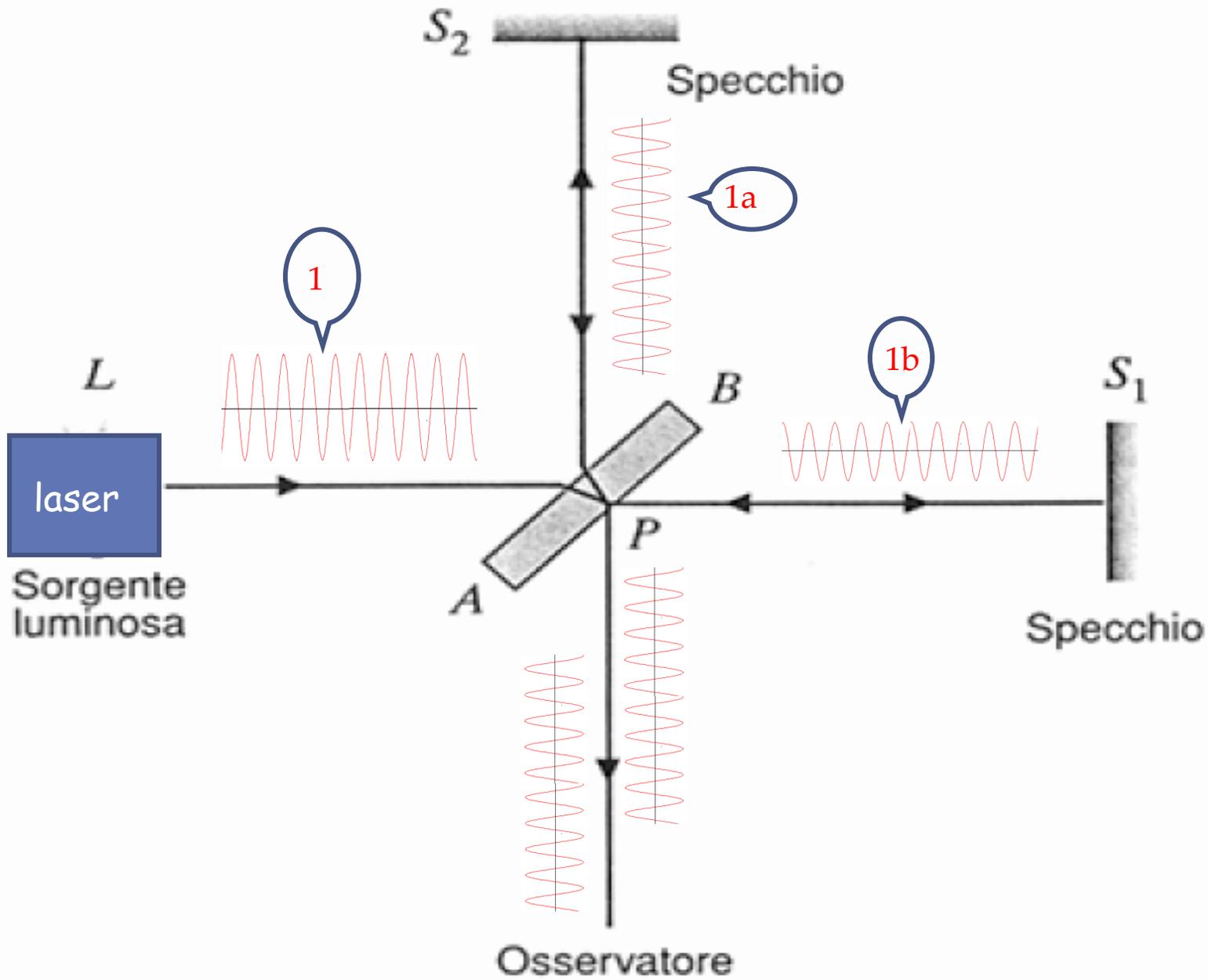
una lampadina ad incandescenza

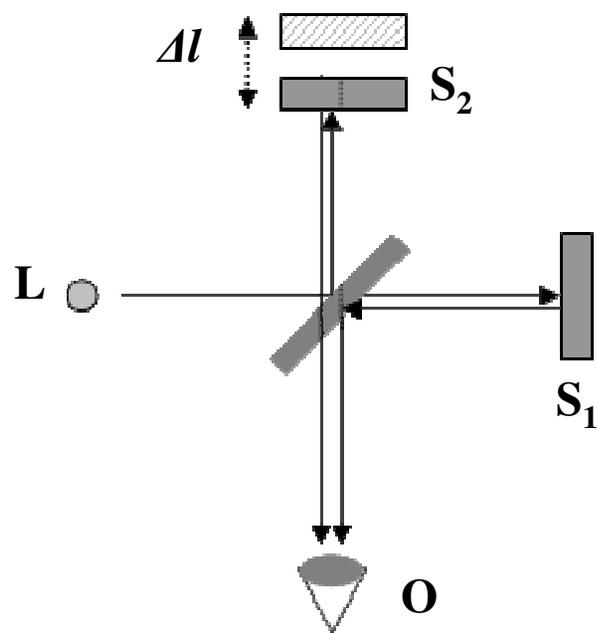


laser









L Sorgente

S₁ Specchio fisso

S₂ Specchio mobile

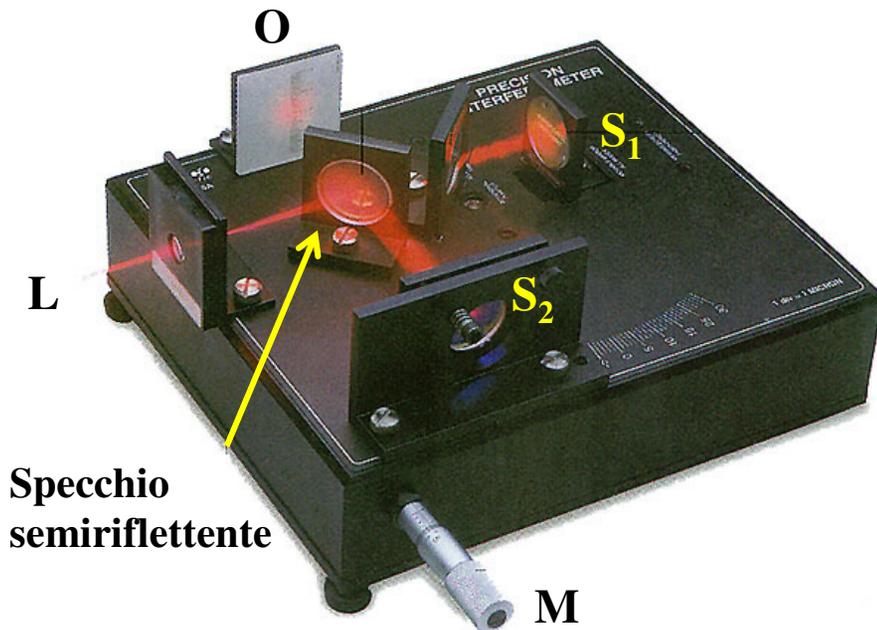
O Osservatore

Δx Lettura dell'escursione di S₂ sulla vite micrometrica (M) collegata ad S₂

Δl Differenza di cammino ottico, con $\Delta l = \Delta x / 5$

Δn Variazione delle frange di interferenza corrispondenti ad una variazione Δl del cammino ottico

$$\lambda = \frac{2\Delta l}{\Delta n} = \frac{2\Delta x}{5\Delta n}$$



Specchio semiriflettente

M

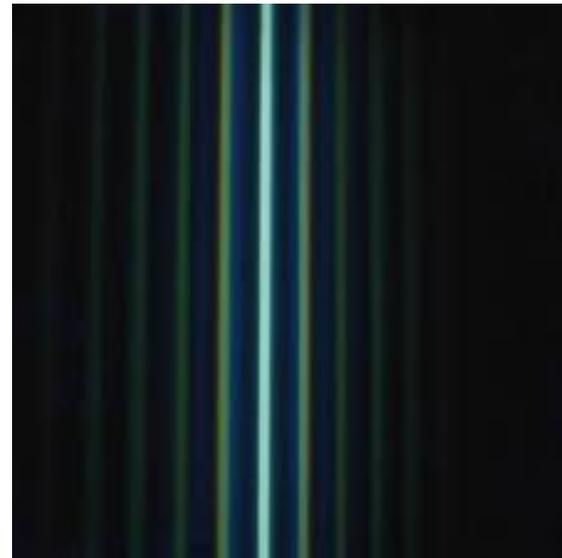
Leggi dell'interferenza e della diffrazione:

analisi delle figure di diffrazione prodotte da fenditure e reticoli

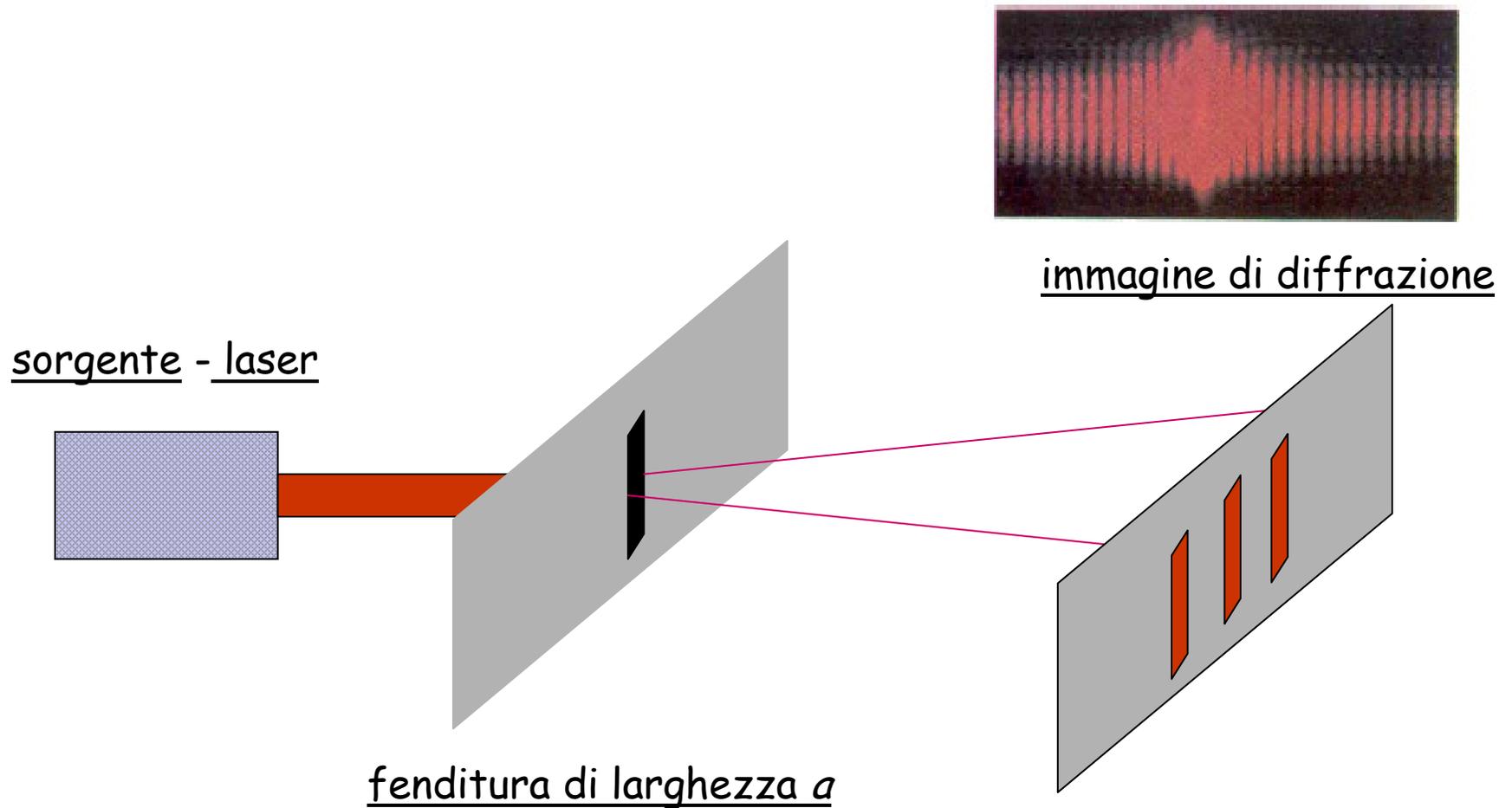
La diffrazione si manifesta quando un raggio luminoso incontra una fenditura più piccola della sua lunghezza d'onda.

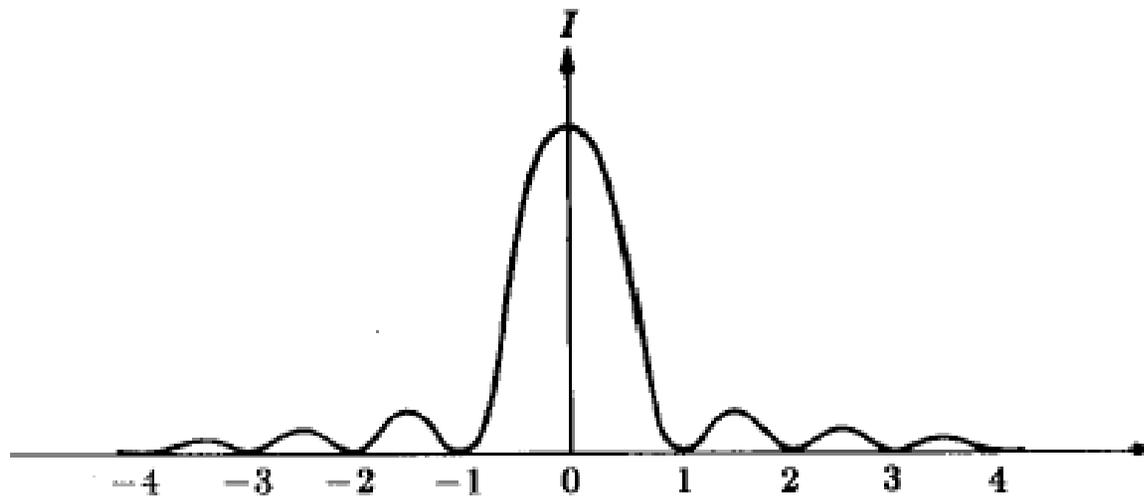
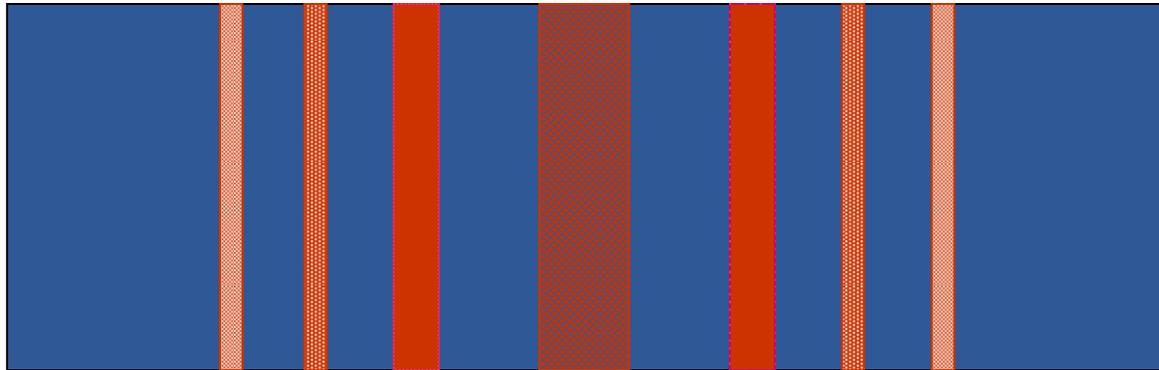
Quando un raggio di luce attraversa una piccola apertura, si osservano delle frange alternate di luce o buio, piuttosto che una macchia luminosa.

Questo comportamento indica che la luce, attraversata l'apertura, si diffonde in varie direzioni penetrando in zone in cui, se la luce si propagasse in linea retta, ci si aspetterebbe ombra.

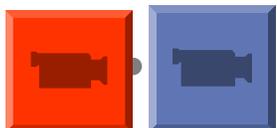


Diffrazione da una singola fenditura





Distribuzione dell'intensita' delle frange di interferenza prodotte da una fenditura



y =distanza del k -esimo minimo rispetto al massimo centrale

L =distanza fenditura-schermo

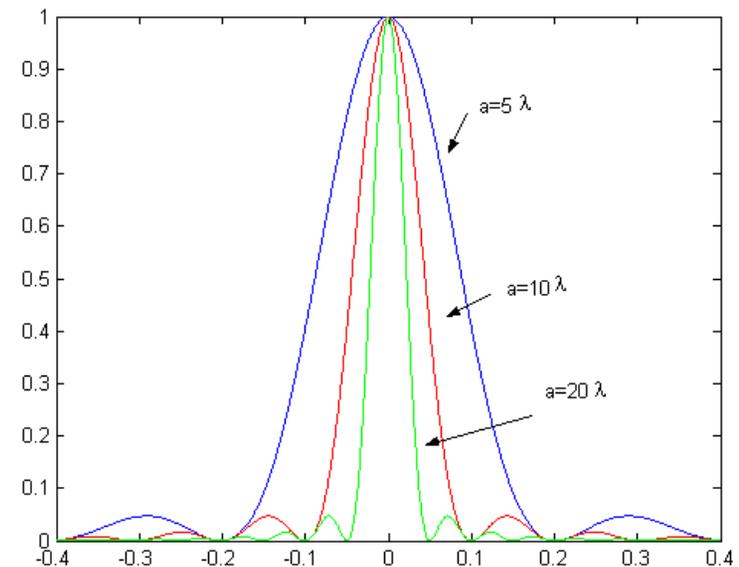
a =ampiezza della fenditura

λ =lunghezza d'onda della luce

$$y = \frac{kL\lambda}{a}$$

La figura di diffrazione si allarga man mano che la fenditura si stringe mentre si verifica che se l'apertura è abbastanza grande, allora l'intensità luminosa è concentrata intorno al massimo centrale. Cio' vuol dire essenzialmente che la maggior parte della radiazione prosegue con la stessa direzione che aveva prima di incontrare la fenditura: in pratica, viene giustificata l'ottica geometrica!

Man mano che la fenditura si rimpicciolisce, la diffrazione acquista importanza e sempre più radiazione viene deviata ad angoli diversi.



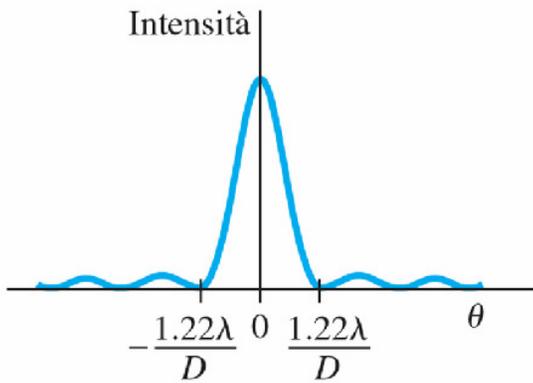
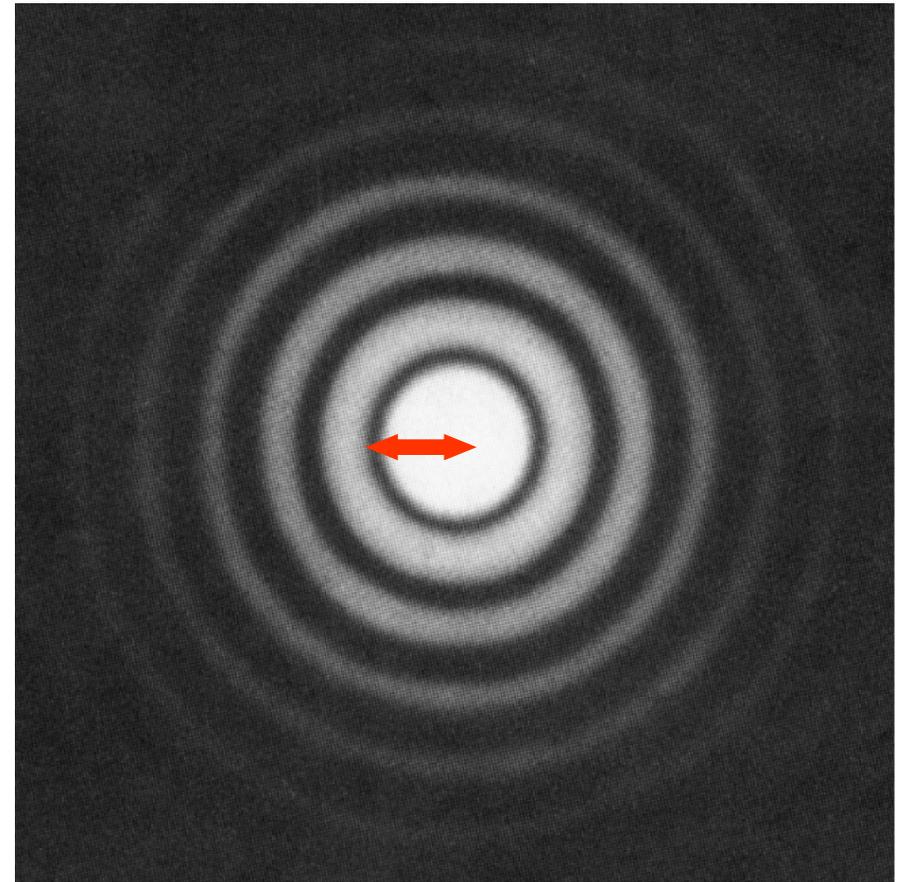
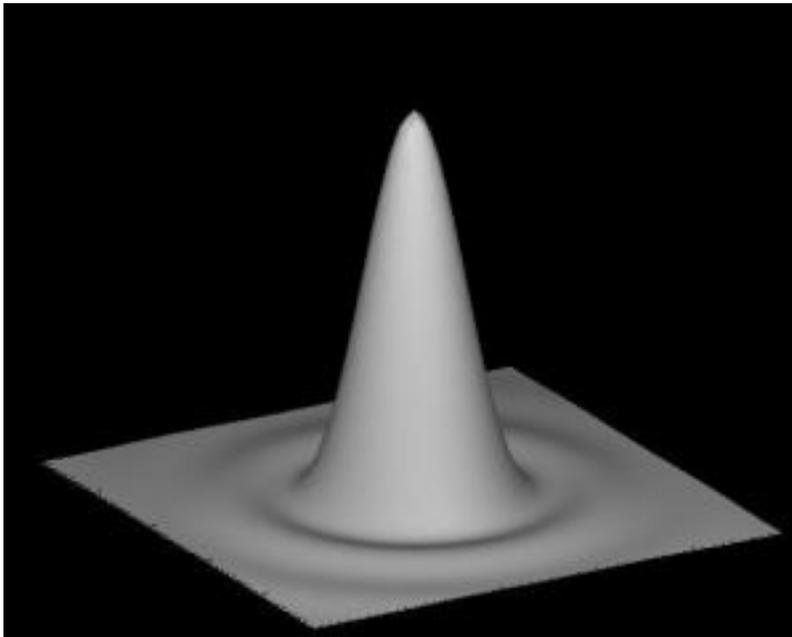


Figura di diffrazione da apertura circolare

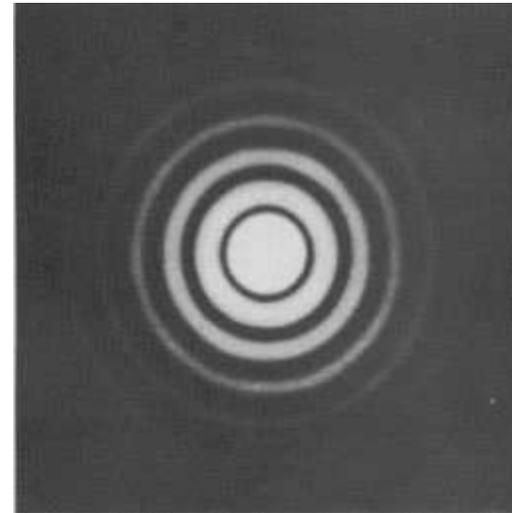


Prima frangia scura

$$\text{sen } \theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

La diffrazione pone un serio limite al potere risolutivo degli strumenti ottici ed il criterio di Rayleigh fornisce un limite inferiore al potere risolutivo di un obiettivo: due punti vengono visti separati se la loro distanza angolare risulta maggiore di $1.22 \lambda / D$.

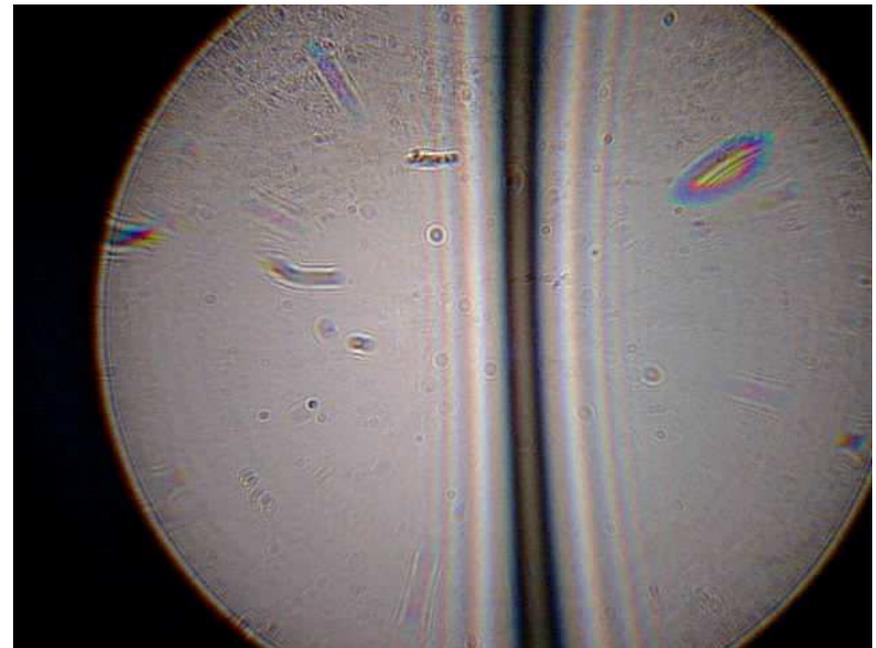
Si può aumentare la risoluzione delle immagini diminuendo λ .
Per questo motivo sono stati inventati i microscopi a raggi X e i microscopi elettronici



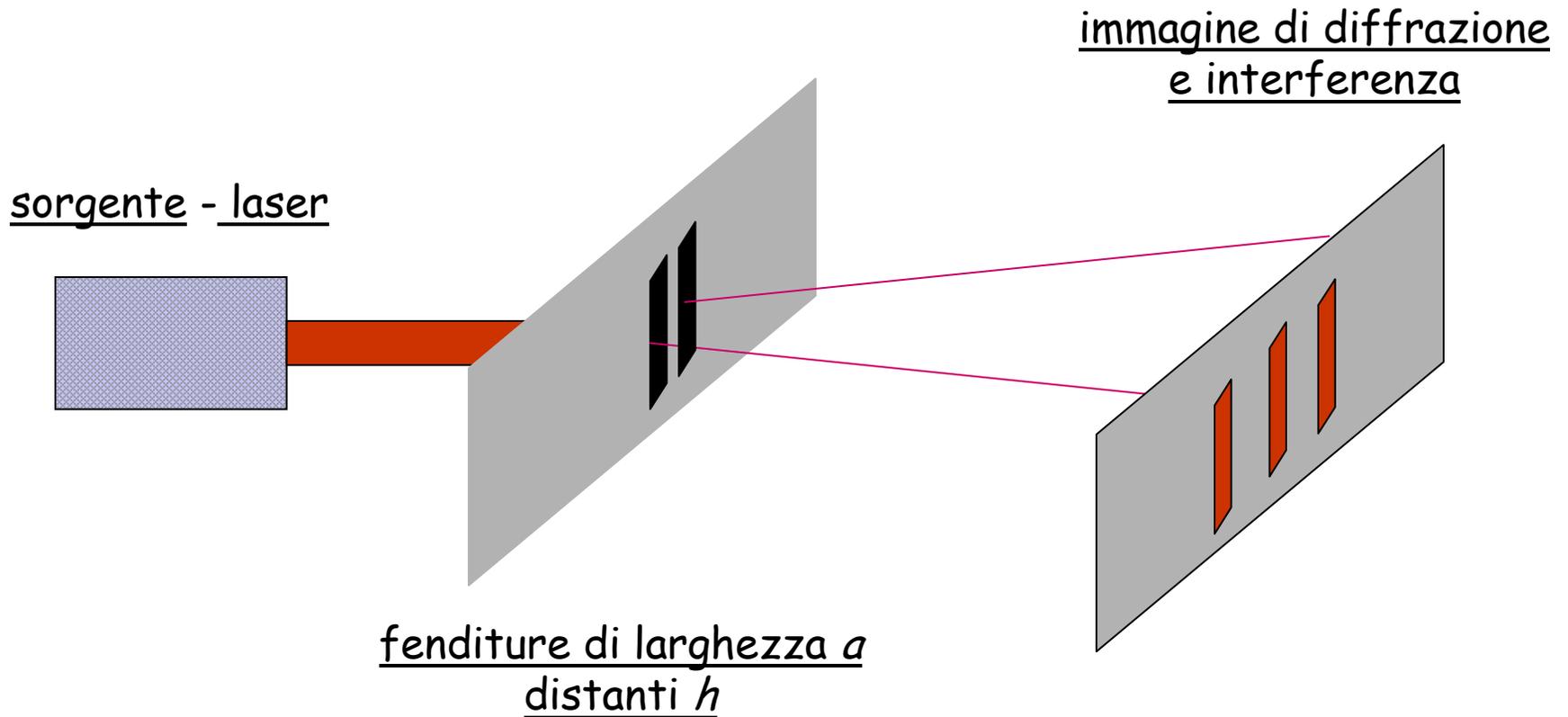
Per l'occhio umano, D vale circa 4 mm, e per $\lambda \approx 560$ nm, il potere risolutivo è circa 0.2 mrad

Diffrazione da un filo

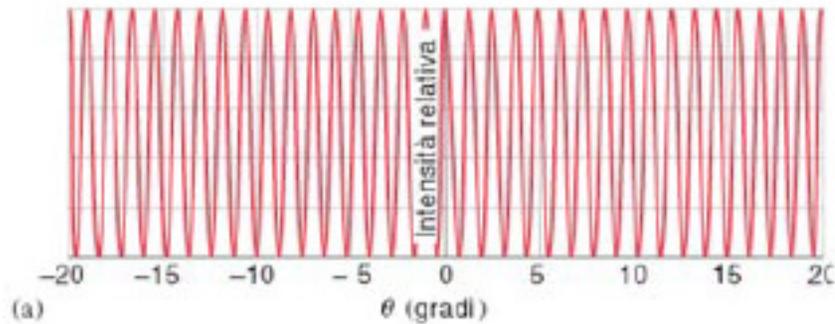
La figura di diffrazione di un filo è identica a quella che si ha nella fenditura (*principio di Babinet o degli schermi complementari: se ritaglio da uno schermo un foro di forma arbitraria, il foro e il pezzo ritagliato producono la stessa figura di diffrazione*)



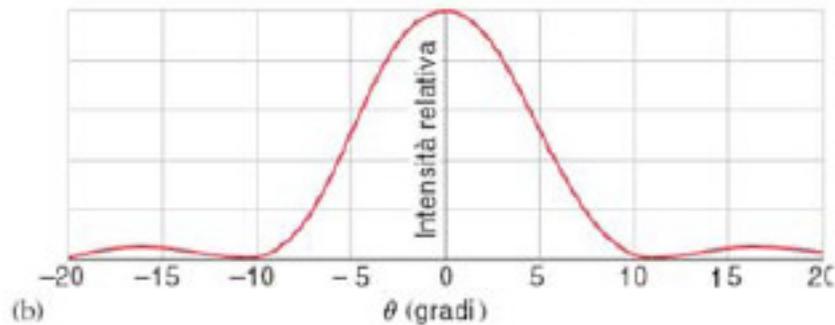
Diffrazione da due fenditure



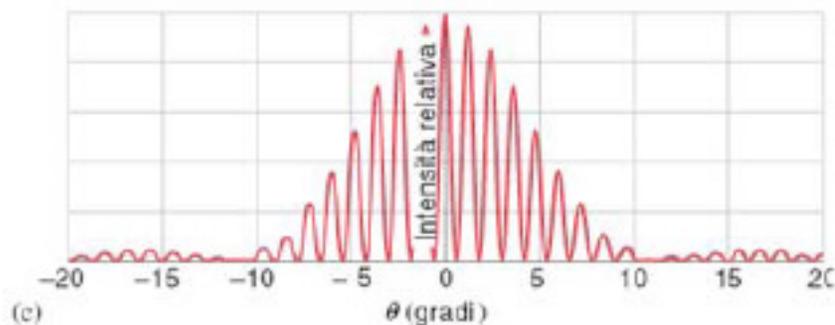
Distribuzione dell'intensita' delle frange di interferenza prodotte da due fenditure parallele



Solo interferenza
 $a \ll \lambda$

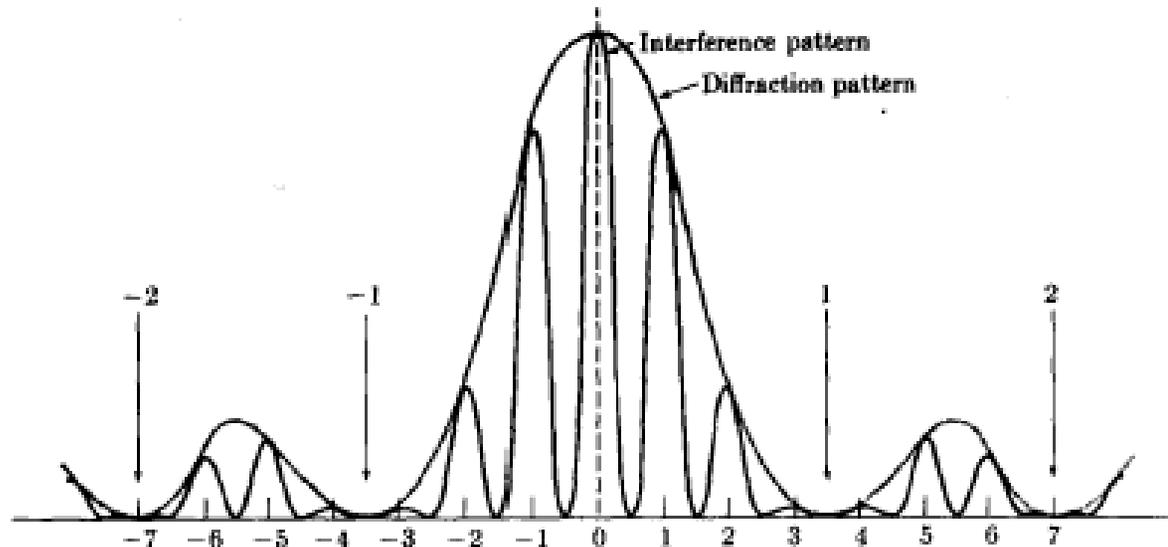


Una sola fenditura



Due fenditure con
 a paragonabile a λ





Distribuzione dell'intensità delle frange di interferenza prodotte da due fenditure parallele

l =distanza del n -esimo massimo di interferenza rispetto al massimo centrale

Y =distanza del k -esimo minimo di diffrazione rispetto al massimo centrale

L =distanza fenditure-schermo

a =ampiezza delle fenditure

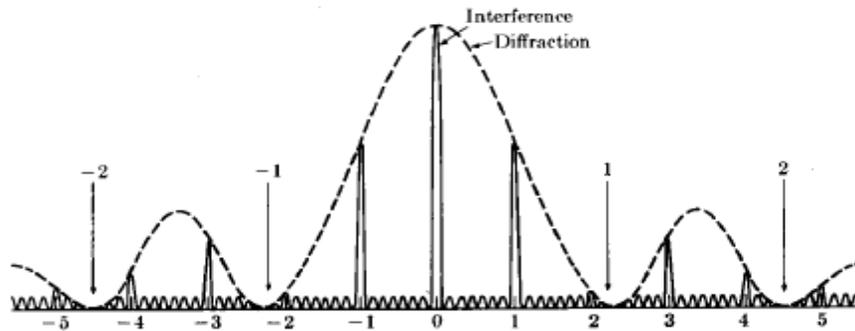
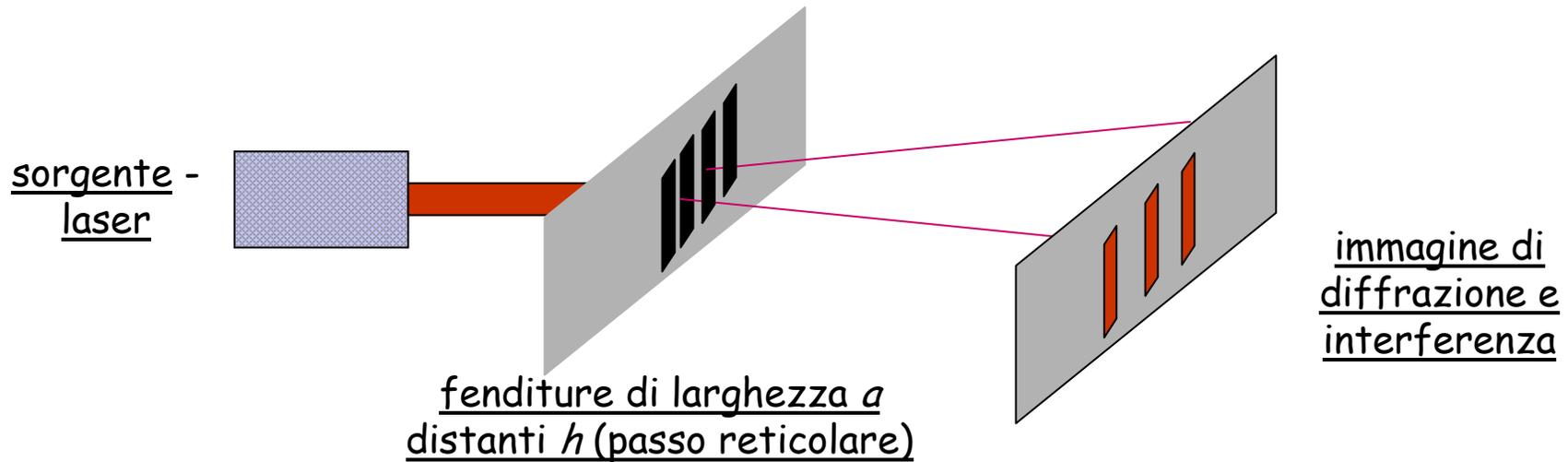
h =separazione fra le fenditure

λ =lunghezza d'onda della luce

$$l = \frac{nL\lambda}{h}$$

$$y = \frac{kL\lambda}{a}$$

Diffrazione da un reticolo



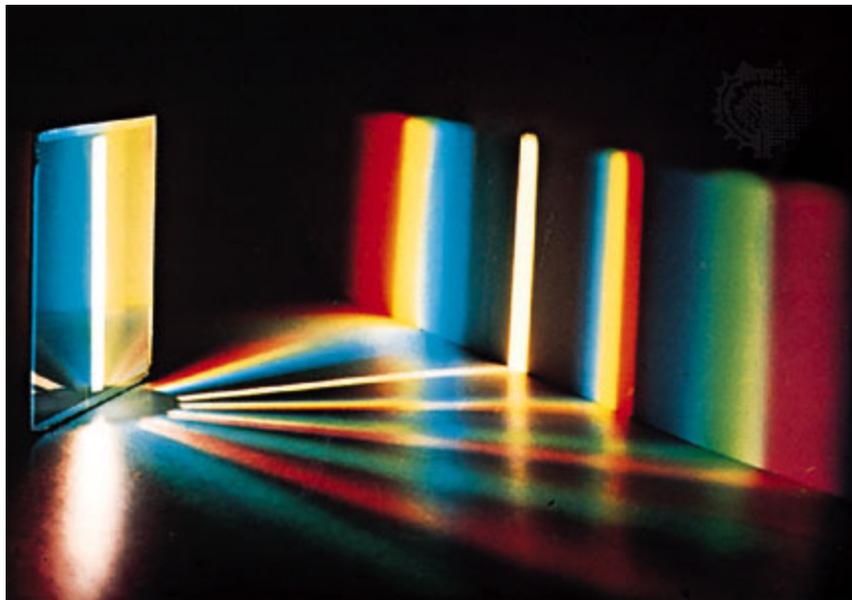
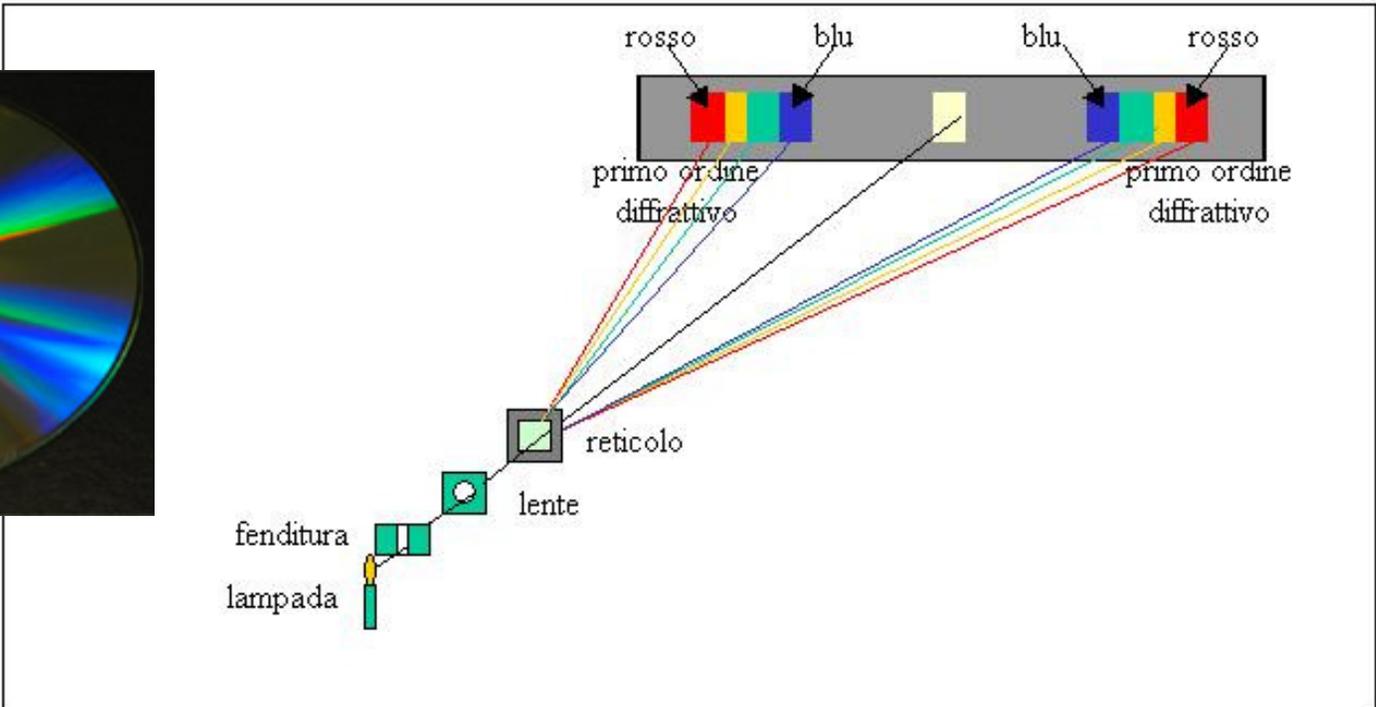
Distribuzione dell'intensita'

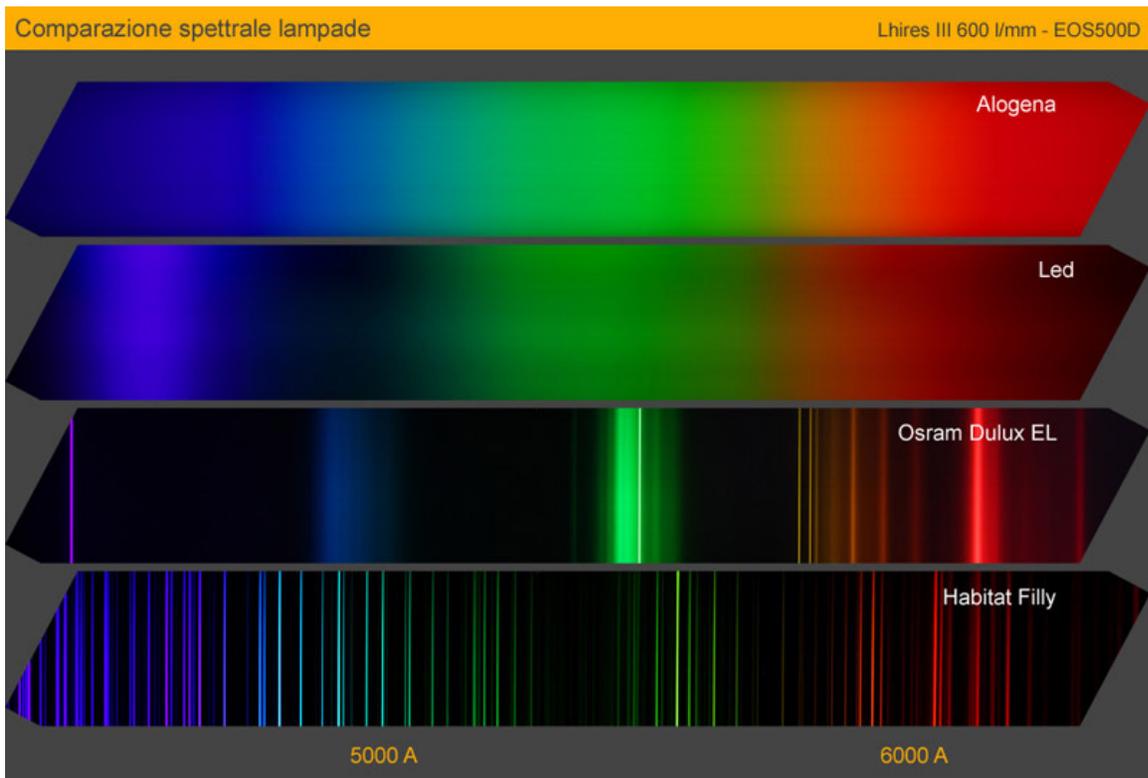
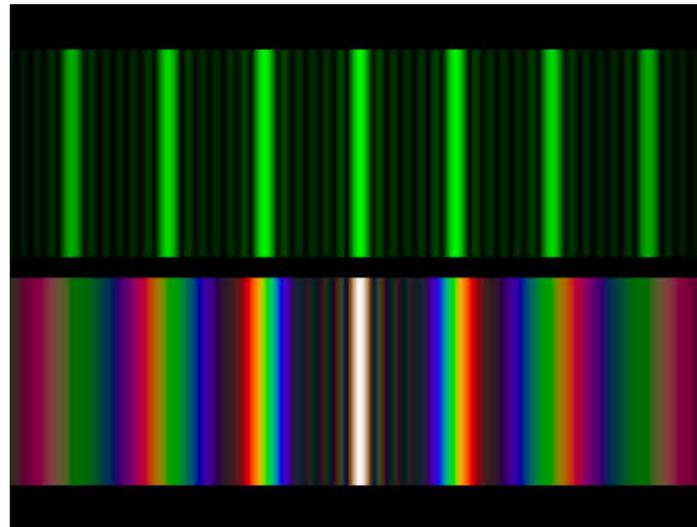
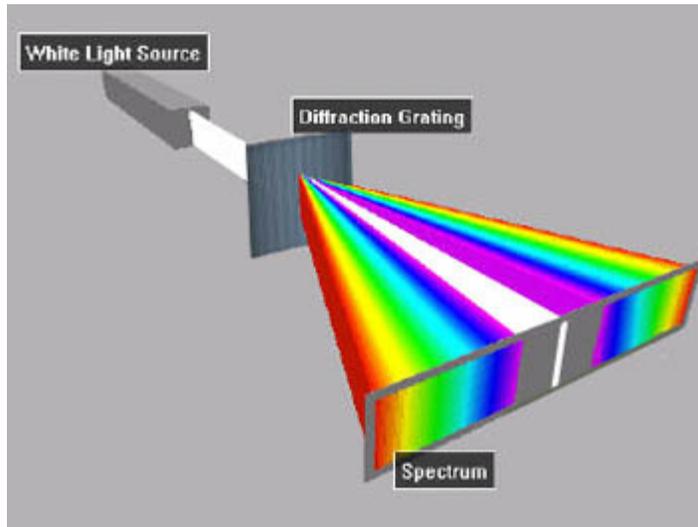
l =distanza del n -esimo massimo rispetto al massimo centrale

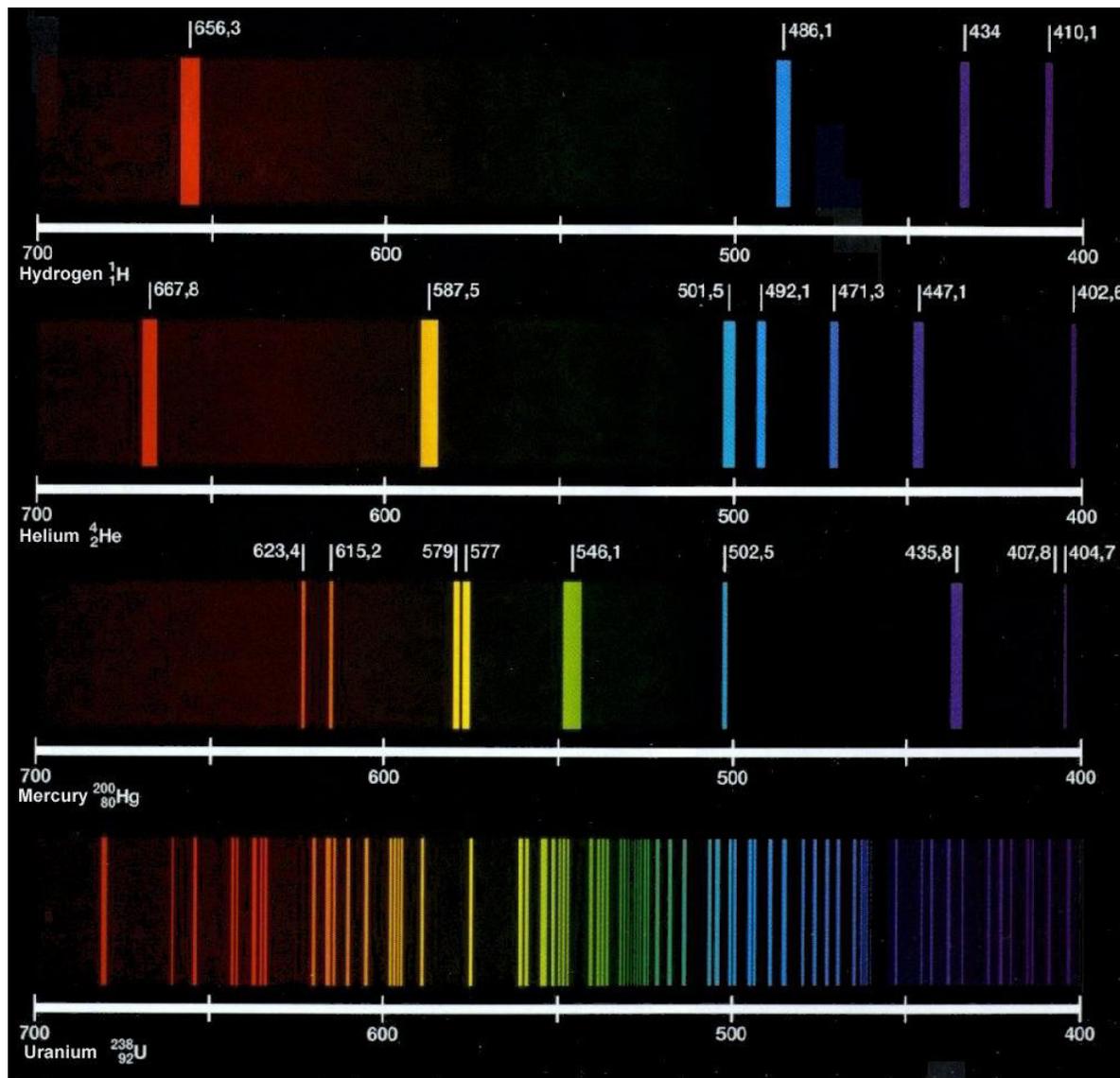
L =distanza fenditura-schermo

λ =lunghezza d'onda della luce

$$l = \frac{nL\lambda}{h}$$







l'analisi chimica per via spettroscopica