

Natura ondulatoria della luce: la diffrazione

Il fenomeno della diffrazione ha luogo ogni volta che l'onda incontra un' ostacolo.

La porzione d'onda che interagisce con l'ostacolo risulta deformata e di conseguenza la traiettoria seguita da ciascuna porzione di fronte d'onda non può essere più rettilinea.

La diffrazione della luce corrisponde a raggi di luce non più rettilinei: le approssimazioni dell'ottica geometrica non sono più valide.

Natura ondulatoria della luce: la diffrazione

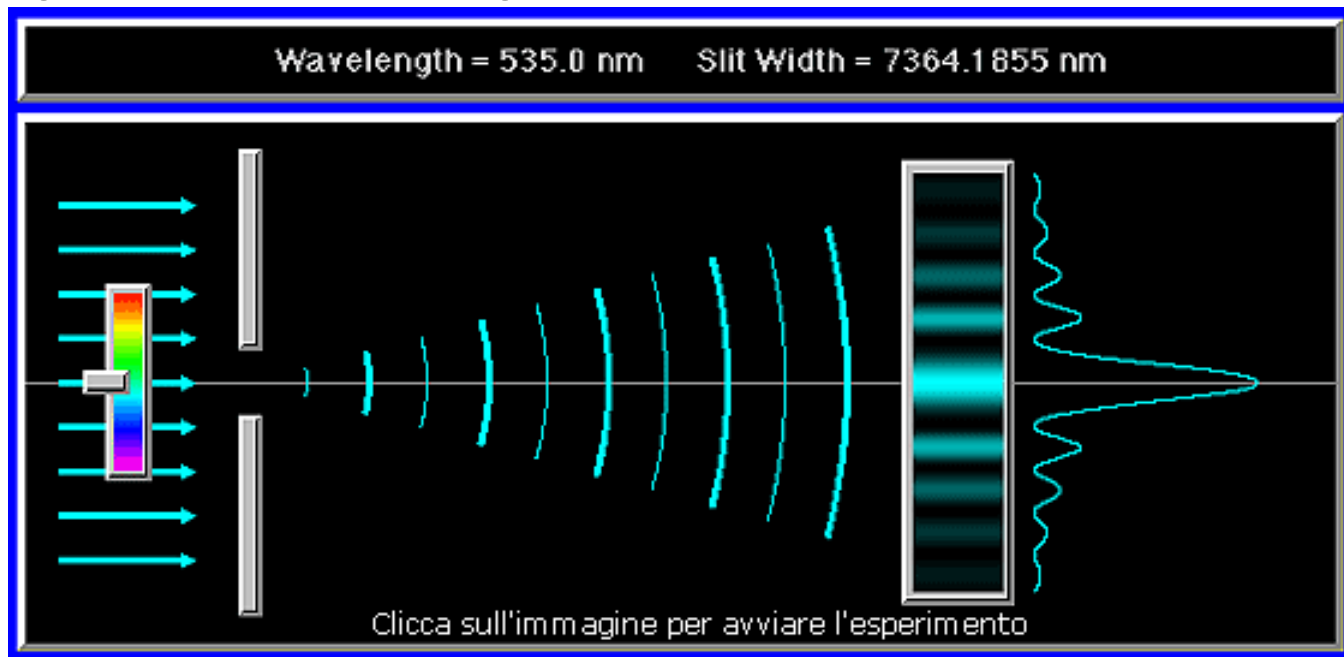
Nell'ottica geometrica, oltre ad uno schermo opaco, appare un'area illuminata proiezione cilindrica dell'apertura; altrove c'è ombra (assenza di luce).

Nell'esperienza quotidiana tale fenomeno si manifesta ogni qual volta le dimensioni dell'ostacolo sono grandi rispetto alla lunghezza d'onda.

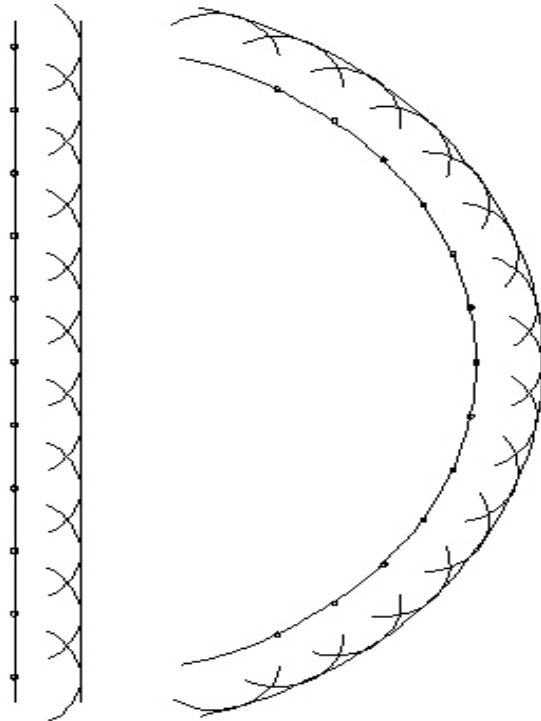


Natura ondulatoria della luce: la diffrazione

Se le dimensioni dell'ostacolo diventano paragonabili o *inferiori* alla lunghezza d'onda e ci si allontana molto dietro l'ostacolo, su uno schermo si distinguono frange luminose nella zona d'ombra, frange scure nella zona di luce per luce monocromatica; nel caso di sorgente bianca le frange risultano iridescenti.



Il principio di Huyegens – Fresnel



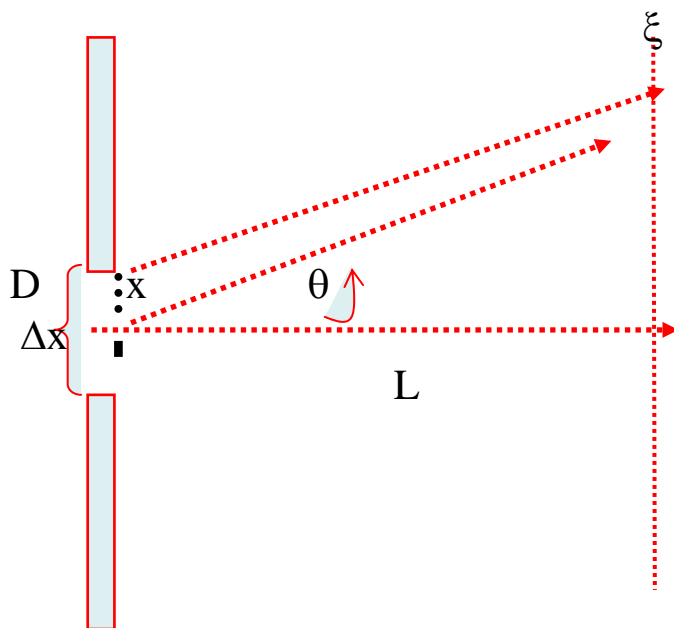
Il principio di Huyegens – Fresnel permette di capire il fenomeno di diffrazione.

Per costruire il nuovo fronte d'onda al di là dell'ostacolo, si considerano le onde emisferiche emesse dalle sorgenti elementari di cui ciascun fronte d'onda, per ipotesi, risulta costituito.

Le onde emisferiche sono emesse in fase

L'onda riesce ad aggirare l'ostacolo penetrando nella regione d'ombra, mentre la presenza di termini interferenziali giustifica la alternanza di massimi e di minimi d'intensità.

La diffrazione (1)



Per calcolare l'intensità in un punto all'infinito bisogna considerare i contributi dovuti a ciascun elemento della fenditura.

Poiché tutte le sorgenti elementari sono in fase tra loro, anche i campi sono in fase tra loro.

Diventa quindi significativa la differenza di cammino Δl pari a $x \sin \theta$, a cui corrisponde una differenza di fase $\Delta \varphi$ pari a $k x \sin \theta$.

La diffrazione (2)

Considerando l'intensità media come l'integrale medio nel tempo del quadrato del campo in un punto dovuto a tutta la fenditura si ottiene:

$$I(\theta) = I_{\max} \frac{\sin^2 \Phi}{\Phi^2}$$

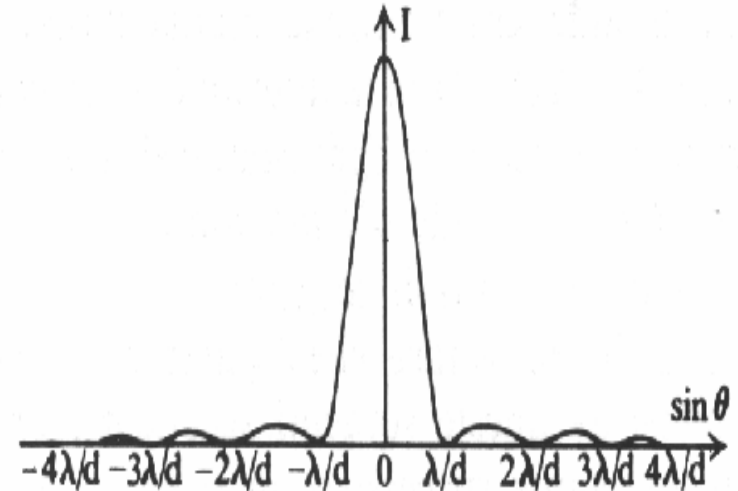
essendo $\Phi = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$

essendo $\sin \theta \approx \xi/L$ e $\Phi \approx \frac{\pi d \xi}{\lambda L}$

La diffrazione (3)

+ — L'andamento della intensità I in funzione dell'angolo Φ e quindi di ξ è indicato dalla figura qui a fianco.

$$I(\theta) = I_{\max} \frac{(\sin(\pi d \xi / \lambda L))^2}{(\pi d \xi / \lambda L)^2}$$



$$\text{Se } \Phi = \pm \pi \Rightarrow \xi \approx \lambda L / d$$

$$\text{Se } \Phi = \pm n \pi \Rightarrow \xi \approx n \lambda L / d \quad \text{posizione dei minimi}$$

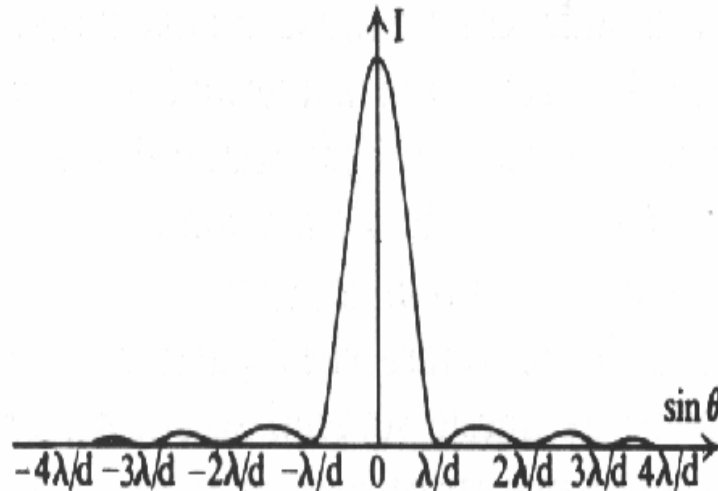
$$\text{Se } \Phi = \pm (m + 1/2) \pi \Rightarrow \text{posizione dei massimi laterali}$$

Diffrazione di una fenditura

Per la dipendenza dal quadrato di $1/\Phi$, i minimi laterali hanno intensità molto più bassa del massimo: la maggior parte dell'onda diffratta è compresa nel massimo centrale.

Al crescere del valore di d l'angolo ξ diminuisce e la direzione della luce diffratta coincide con quella incidente.

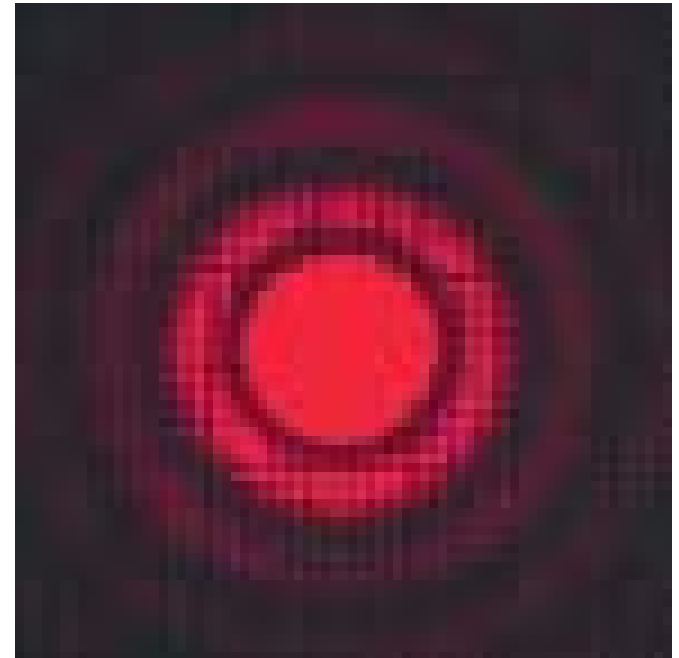
$$\xi \approx \lambda \frac{L}{d}$$



Diffrazione di una fenditura

Consideriamo la figura di diffrazione generata su uno schermo a distanza fissa L e variamo la dimensione della fenditura d .

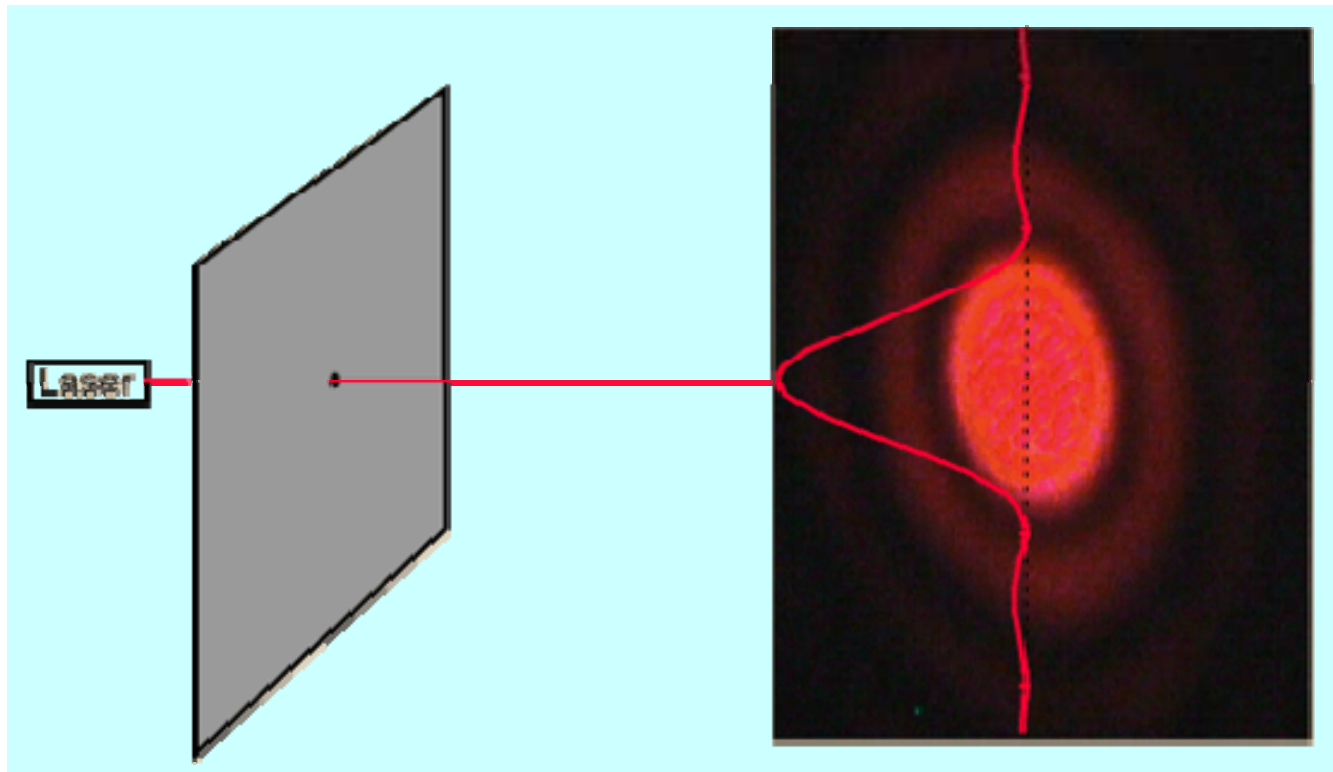
Se la fenditura è larga (**d grande**) le figure di diffrazione sono molto piccole (ξ_{\min} è **piccolo**).



Stringendo la fenditura appare la **figura di interferenza** che si allarga al crescere di ξ_{\min} pari a $\lambda L/d$.

Luce policromatica

Se $d \sim \lambda$ la fenditura si comporta come una sorgente elementare che irradia luce su tutte le direzioni.



Luce policromatica

Se la luce è composta da componenti monocromatiche di diversa lunghezza d'onda, ognuna genera la propria figura di interferenza.

La posizione del massimo centrale è indipendente da λ , quindi coincide con quello di tutte le componenti.

Le posizioni del primo minimo e di tutti gli estremi successivi dipendono da λ e sono quindi distinte.

La frangia centrale risulta bianca, quelle laterali sono iridescenti (con la componente rossa lateralmente più esterna).

Diffrazione di una apertura circolare

La figura di diffrazione ha un massimo centrale molto intenso, circondato da anelli scuri e chiari di intensità decrescente.

L'ascissa ξ rappresenta la distanza dal centro; la figura risulta però più dilatata verso l'esterno.

Il valore minimo di ξ corrisponde al raggio entro cui cade tutta l'energia trasmessa dall'apertura (dischetto di diffrazione).

Centri casuali di diffrazione

In questo caso, i centri sono tutti uguali, ma posti casualmente a distanza maggiore di l incidente: *sistema non continuo*.

I centri si comportano in modo del tutto incoerente l'uno rispetto all'altro: *fenomeno di diffusione della luce*.

L'intensità della luce diffratta da un insieme di centri identici distribuiti a caso ha la stessa forma di un unico centro moltiplicata al fattore N , numero di centri.

Colore del cielo

La diffusione della luce da centri incoerenti spiega il colore azzurro del cielo.

Nella parte più alta dell'atmosfera (a circa 100 km) le molecole dell'aria sono a distanza maggiore della lunghezza della luce visibile, dell'ordine di grandezza $0.5 \mu\text{m}$.

Quando la luce investe questo strato d'atmosfera, le molecole si comportano come centri incoerenti l'uno dall'altro.

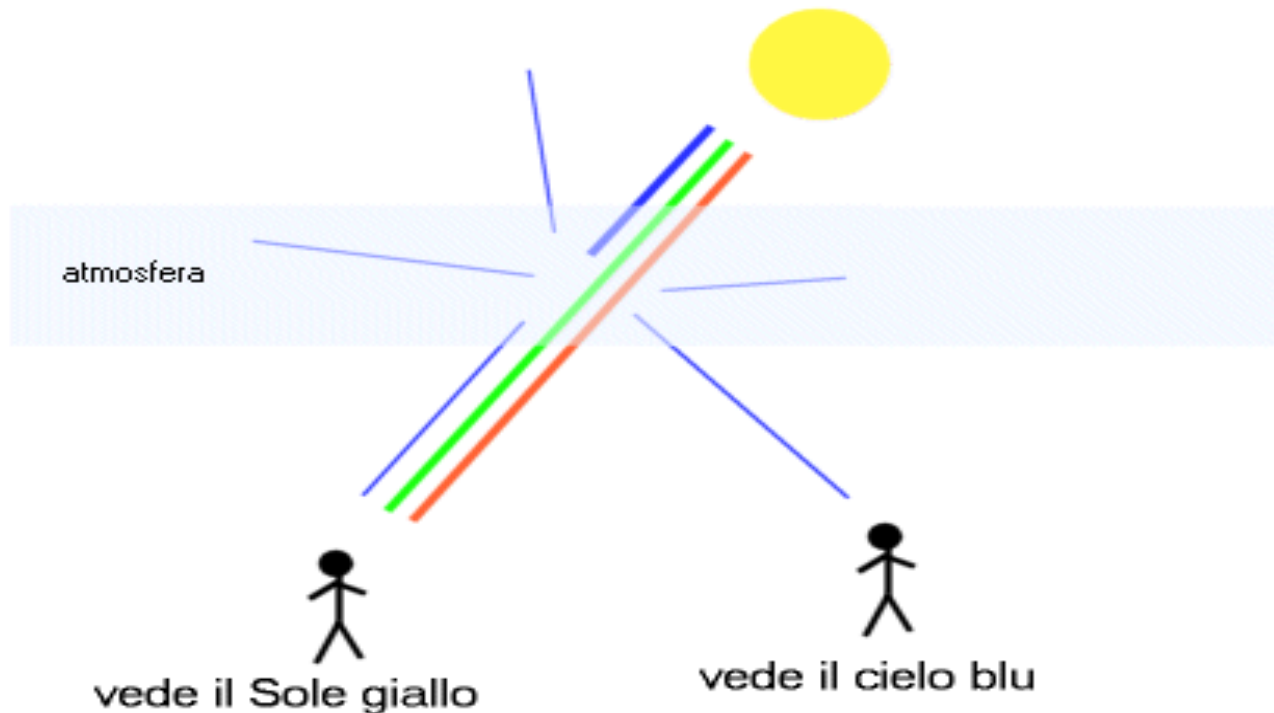
Se una molecola del gas atmosferico (caratterizzato da una propria frequenza ω_0 di oscillazione nel campo dell'ultravioletto) viene colpita da una luce di frequenza ω , viene accelerata con una accelerazione proporzionale a ω^2 e l'ampiezza del campo elettrico diffuso è proporzionale all'accelerazione e quindi a ω^2 .

Colore del cielo

L'intensità dell'onda diffusa è proporzionale ad ω^4 .

Poiché:

$$\begin{array}{lll} \nu_{\text{blu}} & \sim & 1.7 \nu_{\text{rosso}} \\ \omega_{\text{blu}}^4 & \sim & (1.7)^4 \omega_{\text{rosso}}^4 \\ I_{\text{blu}} & \sim & 10 I_{\text{rosso}} \end{array}$$



Colore del cielo

A quote più basse la distanza tra i centri diminuisce e i centri si comportano in modo più coerente.

A livello del mare la distanza è circa dell'ordine dei nm e la diffusione incoerente è legata alla presenza di polveri, fumo in sospensione.

Al tramonto si osserva luce non diffusa dall'atmosfera.