

Risultati degli studi di Maxwell
sulle onde elettromagnetiche:

la loro velocità di propagazione è pari a quella della luce
le leggi che ne regolano la riflessione, la rifrazione,
l'interferenza sono identiche a quelle delle onde
luminose



**Le onde luminose sono onde elettromagnetiche
di frequenze tali da essere percepite dall'occhio umano**



La teoria ondulatoria prevale su quella corpuscolare

Ma all'inizio del novecento
**nuovi fenomeni di interazione tra radiazione
elettromagnetica e materia**, che possono essere
spiegati considerando la luce costituita da corpuscoli
privi di massa che si muovono con velocità c ,
evidenziano la natura corpuscolare della luce

La meccanica quantistica supera la contraddizione
ipotizzando un **dualismo onda–corpuscolo**

**Ottica classica:
studio dei fenomeni collegati
con la natura ondulatoria della luce**

OTTICA GEOMETRICA

Introduzione del concetto di

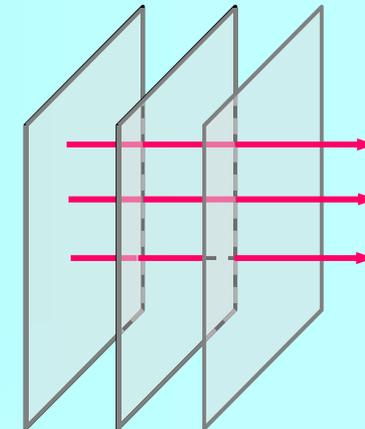
**raggio di luce = percorso rettilineo
lungo cui si propaga l'energia luminosa**

In un mezzo omogeneo ed isotropo:

raggio di luce \equiv direzione di propagazione dell'onda
fronti d'onda \perp ai raggi

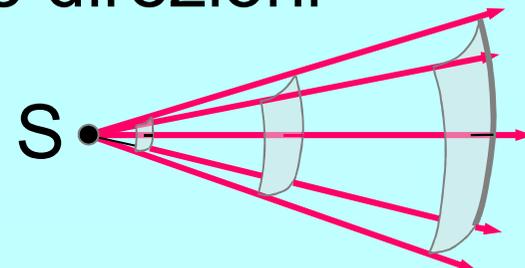
Per le onde piane:

i raggi sono paralleli fra loro



Per le onde sferiche:

i raggi escono dalla sorgente in tutte le direzioni



È possibile isolare un raggio di luce ?

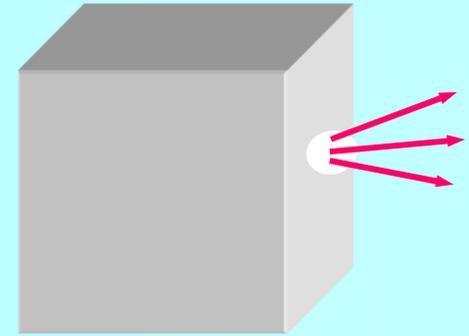
Scatola opaca con un foro di diametro a che racchiude una sorgente luminosa

Riducendo a si riduce la sezione del fascio di luce emergente →

al limite si può pensare di ottenere un raggio di luce

Ma sperimentalmente si nota che

per a confrontabile con la lunghezza d'onda λ della radiazione si ha una dispersione del fascio di luce:
fenomeno della diffrazione



Il raggio di luce è utilizzabile per dimensioni lineari degli ostacoli posti sul percorso della luce grandi rispetto a λ



**Limite di validità dell'ottica geometrica:
le sue leggi sono corrette
in assenza di fenomeni di diffrazione**

Leggi della riflessione e della rifrazione

AO raggio di luce monocromatica **incidente**
su una superficie piana di separazione tra due mezzi
1 e 2 trasparenti, omogenei ed isotropi

Piano di incidenza = Piano individuato dal raggio
incidente e dalla normale alla superficie di separazione
nel punto di incidenza

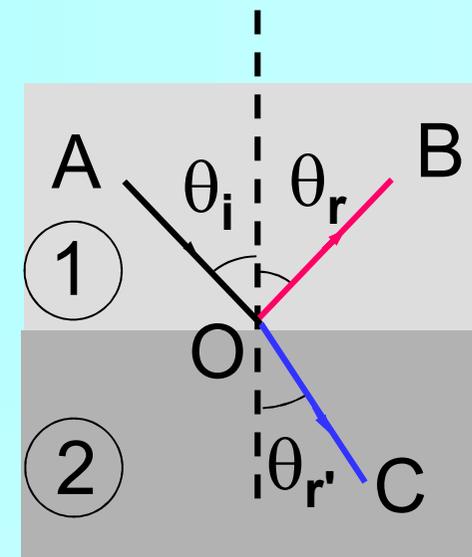
Si hanno due raggi:

OB raggio riflesso

si propaga nel mezzo da cui
proviene il raggio incidente

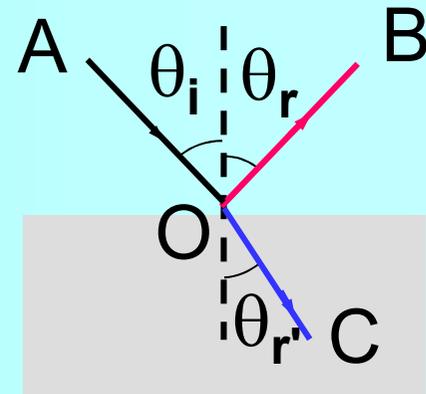
OC raggio rifratto o trasmesso

si propaga nel secondo mezzo



Per la riflessione:

- il raggio riflesso giace nel piano di incidenza
- raggio incidente e raggio riflesso si trovano da parte opposta rispetto alla normale
- $\theta_i = \theta_r$



Per la rifrazione:

- il raggio rifratto giace nel piano di incidenza
- raggio incidente e raggio rifratto si trovano da parte opposta rispetto alla normale

- $$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r'} = n_{21} \quad (\text{legge di Snell})$$

n_{21} indice di rifrazione relativo del secondo mezzo rispetto al primo

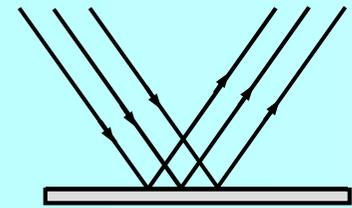
Principio di **invertibilità**:

invertendo il verso di propagazione della luce si scambiano soltanto i ruoli del raggio incidente e del raggio riflesso o rifratto

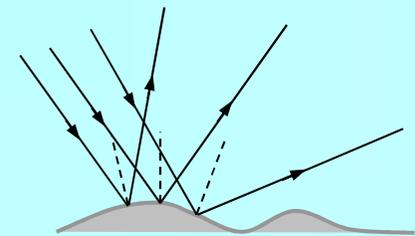
Le leggi della riflessione e rifrazione si estendono al caso di superfici regolari non piane

Si ha

riflessione **speculare** per superfici con irregolarità di dimensioni piccole rispetto alla lunghezza d'onda della luce



riflessione **diffusa** per superfici con irregolarità di dimensioni confrontabili con la lunghezza d'onda



Principio di Huygens

Collegamento tra Ottica geometrica e Ottica ondulatoria

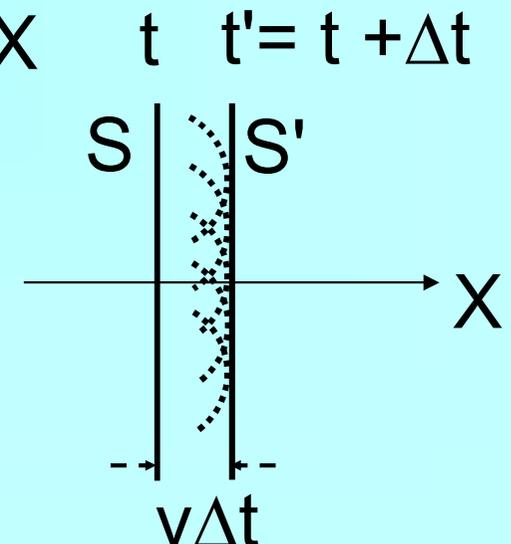
fronte d'onda all'istante t

ogni punto di S sorgente di onde sferiche secondarie
che si propagano con la stessa velocità di fase
dell'onda primaria

' fronte d'onda ad un istante $t' = t + \Delta t$

' superficie tangente alle onde secondarie sferiche
tale istante

Onda piana che si propaga lungo l'asse X



Limiti del principio di Huygens:

- per costruire il nuovo fronte d'onda non si tiene conto delle onde sferiche secondarie che si propagano all'indietro
- Il meccanismo è caratteristico di onde meccaniche che si propagano in un mezzo materiale, le cui particelle oscillando diventano centri delle onde sferiche secondarie

Superamento mediante il **principio di Huygens–Fresnel**

ogni elemento dS di un fronte d'onda S si può considerare come sorgente di onde sferiche secondarie la cui ampiezza varia con la direzione di propagazione dell'onda

θ angolo tra la normale a dS e la direzione di propagazione

l'ampiezza è massima per $\theta = 0$
nulla per $\theta \geq \pi/2$

Teorema di Kirchhoff: giustificazione formale
del principio di Huygens–Fresnel

$$\psi(P, t) = \iint_S d\psi(P, t) = \iint_S g(\theta) \frac{f(t - r/v)}{r} dS$$

$$d\psi(P, t) = g(\theta) \frac{f(t - r/v)}{r} dS$$

contributo di dS alla perturbazione nel punto P

$g(\theta)$, fattore direzionale, fa variare l'ampiezza
delle onde sferiche con l'angolo θ

È possibile dedurre le legge della riflessione e della rifrazione dal Principio di Huygens

Per la legge della rifrazione

$$\frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

dove $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$

v_1 velocità di propagazione dell'onda nel mezzo 1

v_2 velocità di propagazione dell'onda nel mezzo 2

Indice assoluto di rifrazione di un mezzo =
indice di rifrazione di tale mezzo rispetto al vuoto

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

Notando che

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{c} \frac{c}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Si può riscrivere la legge di Snell

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r'$$

Se $n_1 < n_2$ $\theta_r' < \theta_i$

Si può verificare che la lunghezza d'onda di un'onda sinusoidale cambia mentre la sua frequenza rimane invariata:

T periodo

nel mezzo 1

$$\lambda_1 = v_1 T$$

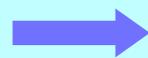
nel mezzo 2

$$\lambda_2 = v_2 T$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2 T}{v_1 T} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Per il vuoto e un mezzo di indice di rifrazione n

$$\frac{\lambda_n}{\lambda} = \frac{1}{n}$$



$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}$$

Riflessione totale

Se si passa da un mezzo ad un altro più rifrangente:

$$n_1 < n_2 \rightarrow \theta_{r'} < \theta_i$$

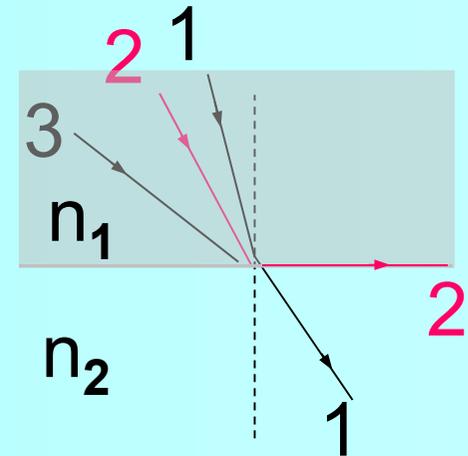
il raggio rifratto si avvicina alla normale

$$\text{Viceversa se } n_1 > n_2 \rightarrow \theta_i < \theta_{r'}$$

Se θ_i aumenta, aumenta $\theta_{r'}$

In corrispondenza di un angolo limite θ_L si ha

$$\theta_{r'} = \frac{\pi}{2} \rightarrow \text{sen}\theta_{r'} = 1 \rightarrow \text{sen}\theta_L = \frac{n_2}{n_1}$$



Per $\theta_i > \theta_L$

$$\text{sen}\theta_{r'} = \frac{n_1}{n_2} \text{sen}\theta_i > \frac{n_1}{n_2} \text{sen}\theta_L = 1 \quad \rightarrow$$

$\text{sen}\theta_{r'} > 1$ condizione impossibile \rightarrow

non si ha più un raggio rifratto:

fenomeno della **riflessione totale**

Sulla riflessione totale si basa il funzionamento delle fibre ottiche



mediante le quali è possibile trasmettere la luce anche a distanze notevoli con piccole perdite di energia

Guide di luce = insieme di molte fibre ottiche