

Elementi di ottica

L'ottica si occupa dello studio dei percorsi dei raggi luminosi e dei fenomeni legati alla propagazione della luce in generale.

Lo studio dell'ottica nella fisica moderna si basa sul fatto che la luce è costituita da onde elettromagnetiche di varie lunghezze d'onda. Luce di diverse lunghezze d'onda appare, nella visione, come luce di vari colori. La luce di una sola lunghezza d'onda viene detta *monocromatica*.

La propagazione delle onde luminose può essere studiata per mezzo delle equazioni di Maxwell. Tuttavia, nella maggior parte dei casi è possibile usare un insieme di semplici regole per descrivere il comportamento della luce, anche in sistemi molto complessi.

Nel caso in cui gli oggetti tra i quali si trova a propagarsi la luce siano molto più grandi della *lunghezza d'onda* λ (0.4-0.6 μm), si usano le regole dell'*ottica geometrica*.

Nel caso contrario è necessario tenere conto del fenomeno della *diffrazione*.

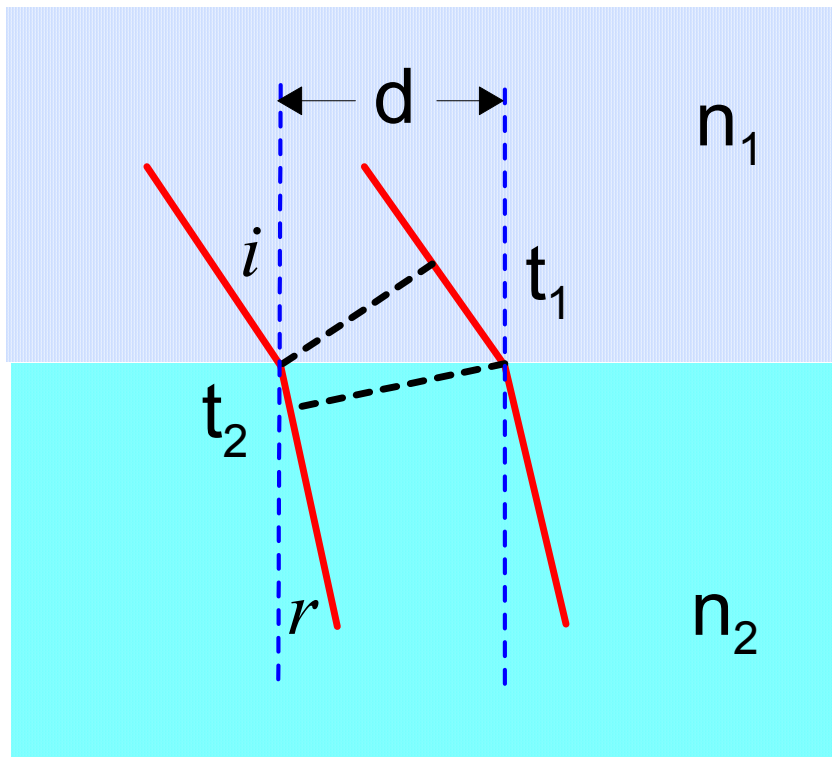
L'ottica geometrica descrive la propagazione della luce in situazioni in cui le sue caratteristiche ondulatorie possano essere incluse in semplici regole che li conglobino.

Le regole di base sono le seguenti:

- 1) La propagazione della luce avviene per raggi lungo delle rette.
- 2) La propagazione della luce avviene ad una velocità che dipende dal mezzo secondo la regola, $v_c = c/n$, dove n è detto *indice di rifrazione*.

La seconda regola ha la conseguenza di deviare I raggi luminosi che passano da un mezzo all'altro. Questo è il fenomeno della

rifrazione.



La luce si propaga dal mezzo 1 al mezzo 2, in modo che I tempi di percorrenza t_1 e t_2 siano uguali.

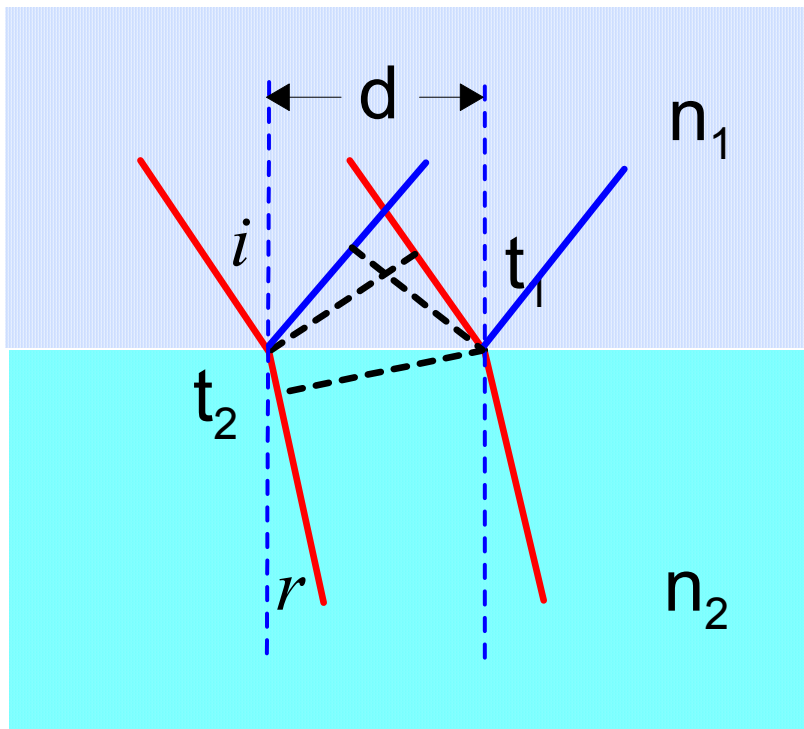
Il risultato si può esprimere con le seguenti relazioni:

$$t_1 = t_2 \quad \frac{l_1}{v_1} = \frac{l_2}{v_2}$$

$$t_1 = d \sin(i) \frac{n_1}{c} \quad t_2 = d \sin(r) \frac{n_2}{c}$$

$$\frac{\sin(i)}{\sin(r)} = \frac{n_2}{n_1}$$

L'ultima relazione riportata è la legge della rifrazione che viene utilizzata per descrivere la totalità dei sistemi ottici in cui il fenomeno della diffrazione sia trascurabile.

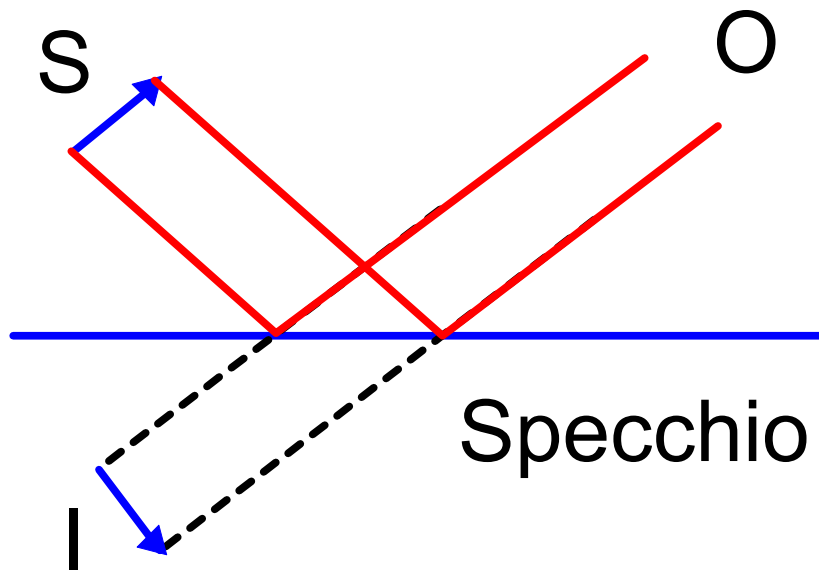


In realtà, ogni volta che un raggio di luce passa da un mezzo all'altro, una parte della luce viene riflessa nel mezzo di provenienza.

Con lo stesso sistema impiegato per i raggi che passano da un mezzo all'altro, si vede immediatamente che il raggio viene riflesso con lo stesso angolo con cui incide sulla superficie di separazione. Infatti la legge della rifrazione stabilisce l'eguaglianza fra gli angoli di incidenza i e di riflessione r .

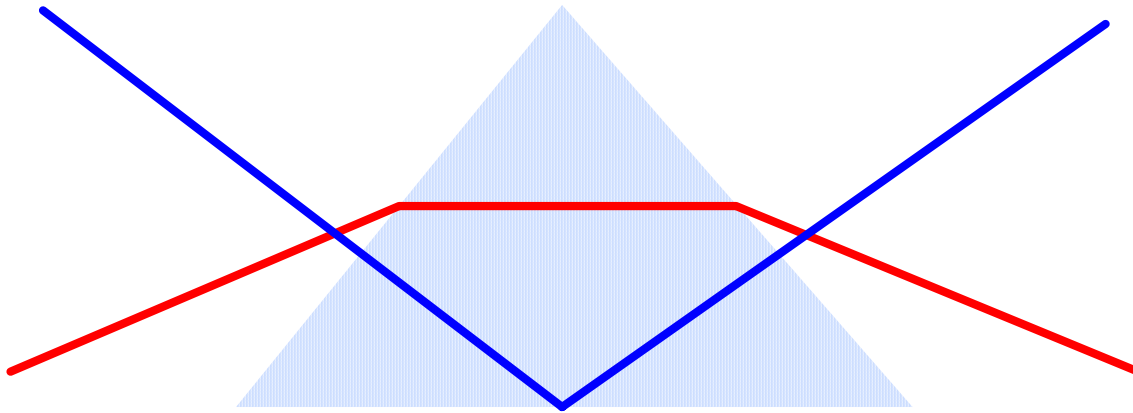
I sistemi ottici sono in genere costituiti da vari componenti che sfruttano la legge della riflessione (specchi) e la legge della rifrazione (*prismi e lenti*).

Lo specchio è costituito da una superficie, piana o curva con una forma appropriata, coperta da un apposito strato di un materiale che abbia una buona riflettività. In questo modo i raggi luminosi riproducono un'immagine come se la sorgente si trovasse in un'altra posizione.



La sorgente S produce un'immagine I (*virtuale*) che viene osservata dall'osservatore O.

Il prisma è costituito da un materiale trasparente di indice di rifrazione n .



Due possibili traiettorie dei raggi nel prisma sono riportate nella figura.

La linea rossa segue la legge della rifrazione, assumendo che $n > 1$ ($n = 1$, indice di rifrazione del vuoto).

La linea blu evidenzia il fenomeno della riflessione totale.

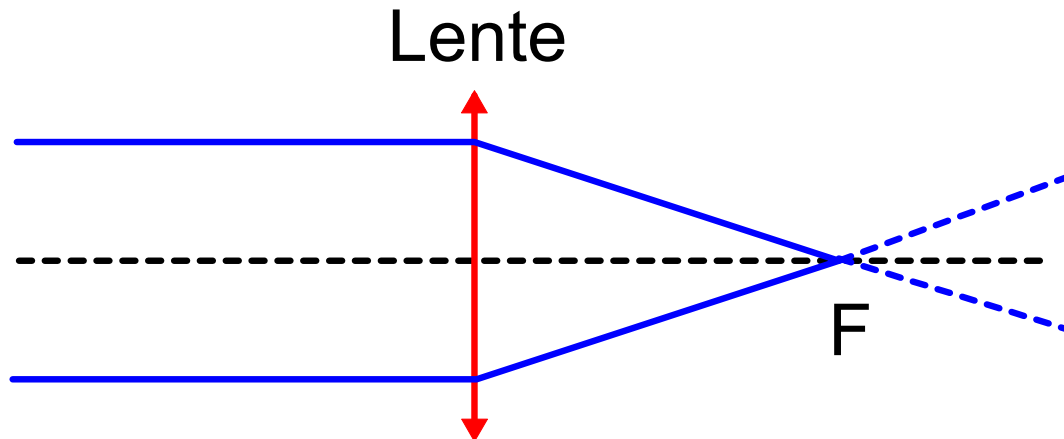
Infatti la legge della rifrazione mostra che il fenomeno avviene solo se:

$$\sin(i) = n \sin(r) \quad \sin(r) < \frac{1}{n}$$

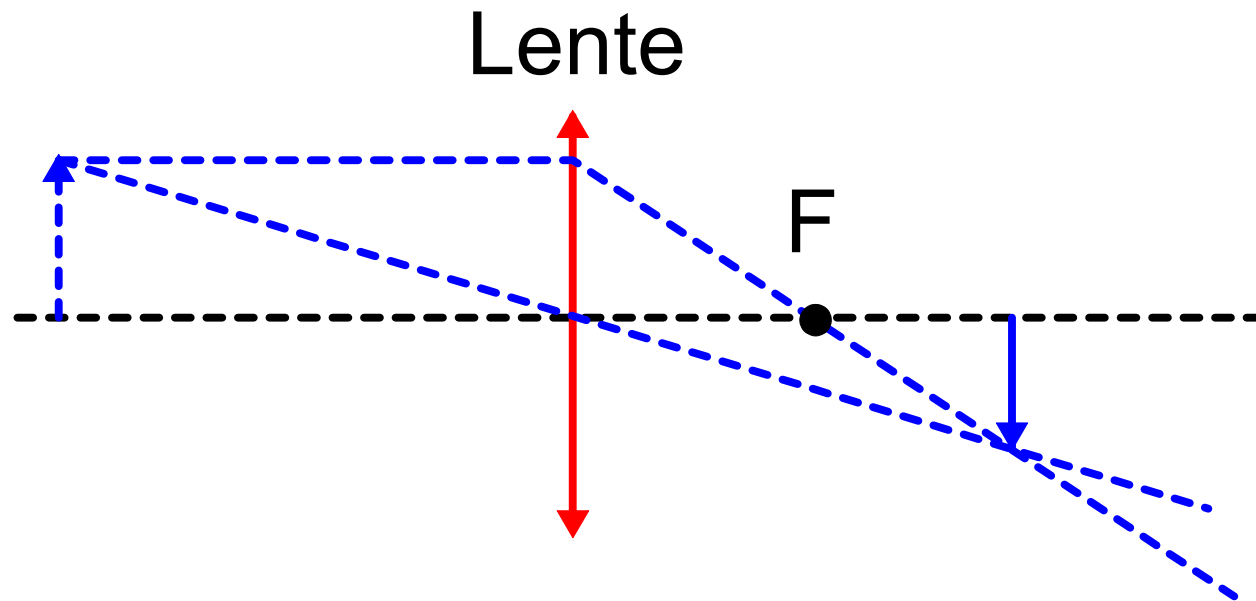
Se si passa da un mezzo ad indice di rifrazione alto ad uno di indice di rifrazione basso, l'angolo di incidenza deve essere minore di un angolo limite, altrimenti la luce rimane confinata nel mezzo ad indice di rifrazione alto.

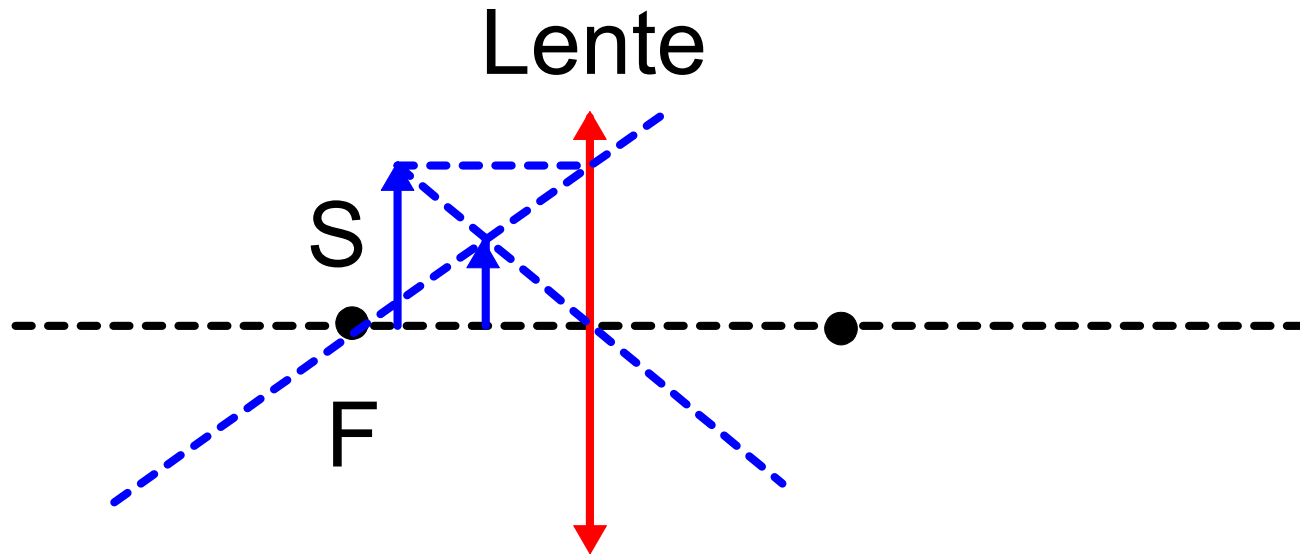
Una lente (sottile) è costituita da materiale trasparente che è confinato fra una superficie piana ed una sferica o due superfici sferiche. L'insieme degli effetti di rifrazione nella lente dà luogo a due processi principali:

- 1) Un fascio di raggi paralleli che incide su una lente, al di là di essa converge in un unico punto detto *fuoco della lente*.



La lente è in grado di formare delle immagini di dimensioni minore o maggiori della sorgente che le ha prodotte. Le immagini possono formarsi dalla stessa parte della sorgente (*immagine virtuale*) o dalla parte opposta (*immagine reale*).





La costruzione geometrica può essere condensata
in due formule molto semplici:

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

$$g = \frac{f}{p - f}$$

La prima formula definisce la posizione della sorgente (p) rispetto alla lente e la posizione dell'immagine (q) rispetto alla lente, ma dall'altra parte, in termini della *distanza focale* (f) che è la distanza del fuoco dalla lente. La seconda formula definisce l'*ingrandimento* della lente, cioè il rapporto fra le dimensioni dell'immagine rispetto alla sorgente.

Effetto Doppler

Christian Doppler 29 novembre 1803 – 17 marzo 1853

L'effetto consiste nel cambio di frequenza dal punto di vista di un osservatore in moto rispetto ad una sorgente di onde. Esso è legato al fatto che i massimi dell'onda non si trovano alla stessa distanza quando l'osservatore è in moto rispetto alla sorgente.

Il caso più semplice è quello delle *onde acustiche*.
Le onde acustiche sono variazioni periodiche di
densità del mezzo in cui si propagano.

Un caso particolare è quello delle *onde
elettromagnetiche* che si muovono alla *velocità
della luce* e che sono costituite dai campi elettrici e
magnetici accoppiati che si propagano anche nel
vuoto.

È interessante notare che i due tipi di onde si comportano in modo diverso in quanto nel primo caso (e in tutti quelli simili) le onde hanno una velocità fissata rispetto al mezzo. In questo caso, se v_s e v_r sono le velocità della sorgente e del ricevitore si ha, per la frequenza f osservata dal ricevitore:

$$f = f_o \left(1 + \frac{v_r - v_s}{c + v_s} \right)$$

Nella relazione v_r è positiva se il ricevitore si muove verso la sorgente, viceversa v_s è positiva se la sorgente si allontana dal ricevitore.

Nel caso delle onde elettromagnetiche il comportamento è leggermente diverso in quanto la velocità della luce si comporta come se fosse infinita. La relazione diventa leggermente diversa:

$$f = f_o \left(1 + \frac{v_r - v_s}{c} \right)$$

Questa relazione è molto simile alla precedente nel senso che si hanno effetti simili.

L'effetto Doppler, sia per le onde acustiche che per le onde elettromagnetiche è interessante in quanto consente delle interessanti applicazioni. In tutti i casi la misura di frequenza permette la determinazione della velocità relativa fra osservatore e sorgente. La differenza sta nel fatto che la velocità delle onde acustiche in aria, ad esempio, è circa 330 m/s, mentre quella delle onde elettromagnetiche è circa 300.000.000 m/s.