

Ottica geometrica

L'ottica studia i fenomeni luminosi, cioè quelli provocati dall'emissione da parte di sorgenti di onde elettromagnetiche nello spettro del visibile (430-690 nm).

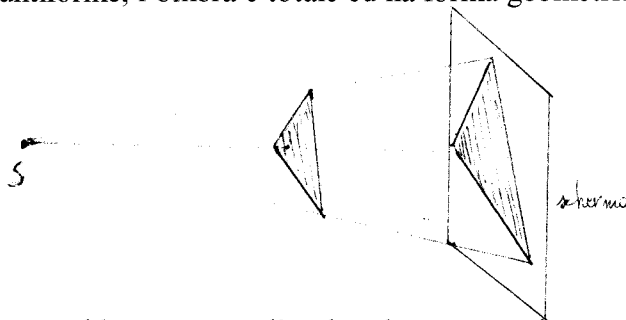
Alla fine dell'800 fu infatti assodato che la luce è un'onda elettromagnetica come le onde radio, i raggi X, le microonde. Per lo studio, però, di fenomeni quali la riflessione e la rifrazione e delle loro applicazioni pratiche (specchi e lenti) è più opportuno utilizzare un modello semplificato in cui si immagina che la propagazione della luce sia rettilinea. La sorgente luminosa emette "raggi luminosi" raffigurati come semirette. Ciò è assolutamente plausibile nello studio di fenomeni macroscopici; infatti, per esempio, le ombre generate da corpi opachi hanno forme simili all'oggetto, a suffragio della propagazione rettilinea.

Si dicono sorgenti primarie di luce tutti i corpi che emettono luce propria (sole, stelle, lampadine...); si dicono sorgenti secondarie tutti i corpi che, ricevendo radiazioni da una sorgente primaria la riemettono tutta o in parte (in pratica tutto ciò che è visibile).

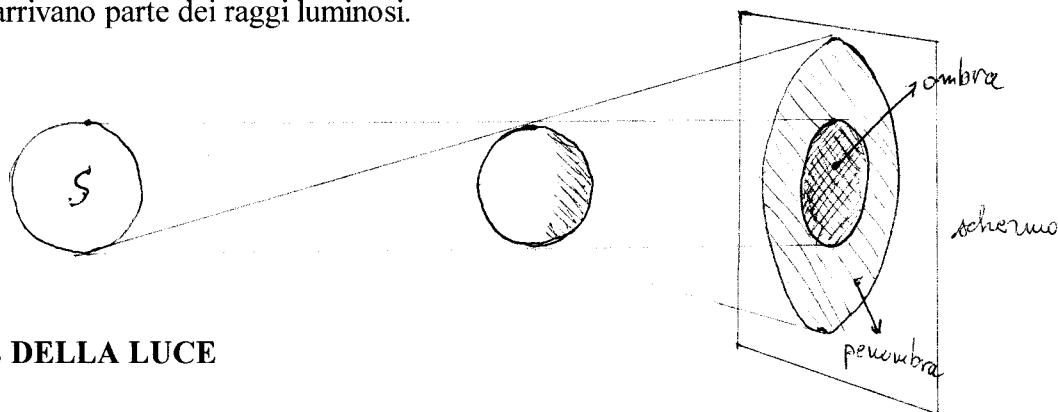
Si dice corpo opaco un corpo che non si lascia attraversare dalla luce; si dice trasparente un corpo che si lascia attraversare dalla luce. I corpi trasparenti si dividono in diafani, se consentono di distinguere i contorni degli oggetti, traslucidi se permettono di vedere i contorni solo in maniera imperfetta.

OMBRA E PENOMBRA

Se la sorgente è puntiforme, l'ombra è totale ed ha forma geometricamente simile all'oggetto opaco.



Se la sorgente è estesa si ha una zona d'ombra dove non arriva nessun raggio luminoso e una zona di penombra dove arrivano parte dei raggi luminosi.



RIFLESSIONE DELLA LUCE

Valgono le stesse leggi già scritte per le onde in generale.

Vale inoltre il principio di invertibilità del cammino luminoso: mandando un raggio di luce nella direzione del raggio riflesso, questo viene deviato nella direzione del raggio incidente originario.

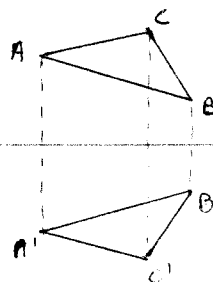
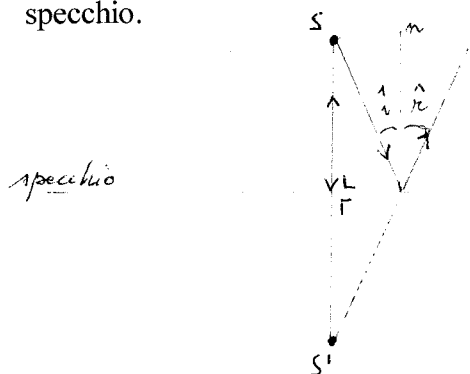
In pratica il raggio riflesso ripercorre a ritroso il cammino del raggio incidente.

Il fenomeno della riflessione si manifesta quando la luce incide su superfici riflettenti dette "specchi". A seconda della forma della superficie riflettente si possono avere specchi piani, sferici, parabolici...

Specchi piani

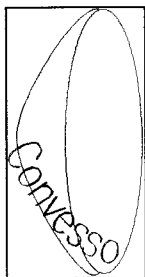
E' facile verificare, applicando le leggi della riflessione, che l'immagine di una sorgente puntiforme è nel punto simmetrico di S rispetto al piano dello specchio.

Se la sorgente è estesa, la sua immagine sarà la figura simmetrica dell'oggetto rispetto al piano dello specchio.

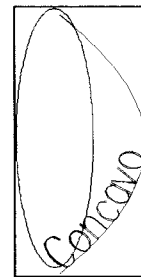


Gli specchi piani forniscono immagini virtuali le quali non sono date dall'incontro dei raggi riflessi, ma dall'incontro dei loro prolungamenti. Inoltre le immagini sono sempre di dimensione uguale a quella dell'oggetto.

Specchi sferici



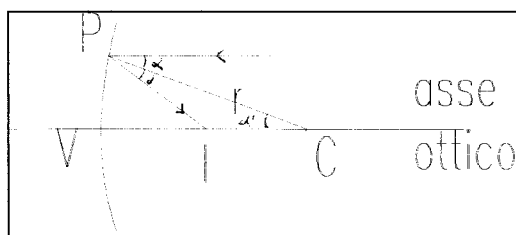
Negli specchi sferici la superficie riflettente è una calotta sferica. Se la superficie riflettente è all'interno, lo specchio si dice concavo, se è all'esterno, si dice convesso. Nel nostro studio prendiamo in considerazione calotte sferiche di raggio molto grande, quindi specchi poco curvi. Si parla di specchi di piccola apertura, essendo l'apertura l'angolo sotteso dal centro della sfera sulla calotta.



Negli specchi sferici tutti i raggi paralleli all'asse ottico si riflettono in un punto detto fuoco.

V = vertice; C = centro; F = fuoco.

Vogliamo dimostrare che, per piccole aperture, $\overline{VF} = \frac{1}{2} \overline{VC}$, cioè $f = \frac{1}{2} r$. La distanza focale è la metà del raggio.



$$\overline{VC} = \overline{PC} = r;$$

$$\overline{VF} = \frac{1}{2} \overline{VC};$$

$$f = \frac{1}{2} r;$$

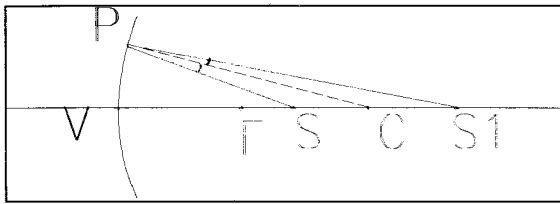
\overline{PC} è la normale allo specchio nel punto P. Gli angoli α sono congruenti per le leggi della riflessione; inoltre $\alpha = \alpha'$, perché alterni interni. Quindi PFC è isoscele, $\overline{PF} = \overline{FC}$. Per l'ipotesi di partenza secondo cui lo specchio ha raggio estremamente grande, si può considerare $\overline{PF} \approx \overline{VF}$; quindi $\overline{VF} =$

\overline{FC} , cioè il fuoco sta a metà tra centro e vertice.

Equazione dei punti coniugati.

S = oggetto luminoso; S₁ = immagine.

$\overline{VF} = f =$ distanza focale; $\overline{VS} = p =$ distanza dell'oggetto dal vertice; $\overline{VC} = r =$ raggio dello specchio;
 $\overline{VS}_1 = q =$ distanza dell'immagine dal vertice dello specchio.



Considero \widehat{PSS}_1 ; \overline{PC} è bisettrice, valendo le leggi della riflessione; quindi si avrà, per il teorema della bisettrice: $\frac{\overline{PS}}{\overline{SC}} = \frac{\overline{PS}_1}{\overline{CS}_1}$. Per l'ipotesi di piccola apertura:

$\overline{PS}_1 \approx \overline{VS}_1$; $\overline{PS} \approx \overline{VS}$; quindi $\frac{\overline{VS}_1}{\overline{CS}_1} = \frac{\overline{VS}}{\overline{SC}}$; sostituendo

ottengo: $\frac{q}{q-r} = \frac{p}{r-p}$; $qp - pr = qr - qp$; $qr + rp = 2qp$; $\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} \right)$ $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$.

Ingrandimento.

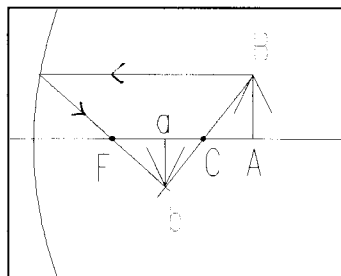
Si definisce ingrandimento il rapporto $G = \frac{i}{o}$ dove i è la dimensione dell'immagine, mentre o è la dimensione dell'oggetto. Si può dimostrare che l'ingrandimento è dato dalle formule $G = \frac{f}{p-f}$ oppure

$G = \frac{q-f}{f}$. (per esercizio)

Specchi concavi e immagini riflesse.

Per disegnare l'immagine di un oggetto, si traccia il raggio parallelo all'asse ottico che si riflette nel fuoco e quello passante per il centro che si riflette su se stesso.

Caso 1

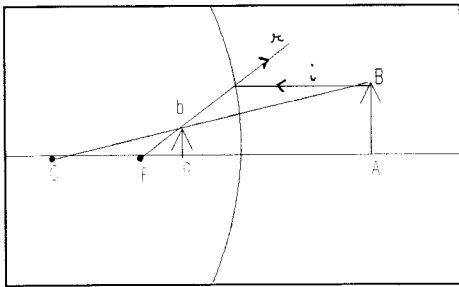


$p > r$, allora $f < q < r$

AB è l'oggetto, ab è l'immagine.

L'immagine è reale, capovolta e rimpicciolita e: $f < q < r$.

Specchi convessi ed immagini riflesse.

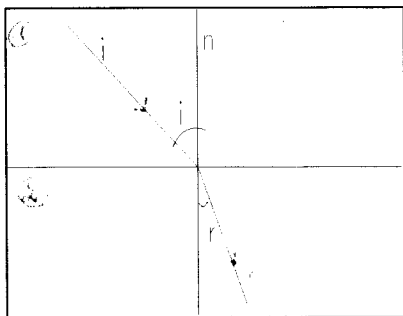


Il fuoco è un fuoco virtuale ($f < 0$) in cui vanno solo i prolungamenti dei raggi, non i raggi stessi. L'immagine è sempre virtuale, diritta e rimpicciolita. E' il caso dello specchio in cui vedo immagini rimpicciolite.

Rifrazione della luce.

DEFINIZIONE Si definisce angolo di rifrazione \hat{r} , quello formato dal raggio rifratto con la normale alla superficie di separazione dei due mezzi.

$\lambda_1 \nu = v_1$;
 $\lambda_2 \nu = v_2$; facendo il rapporto si ottiene: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$;



1. Raggio incidente, raggio rifratto e normale alla superficie di separazione dei due mezzi, appartengono ad uno stesso piano.
2. L'angolo di incidenza e di rifrazione sono legati dalla relazione:

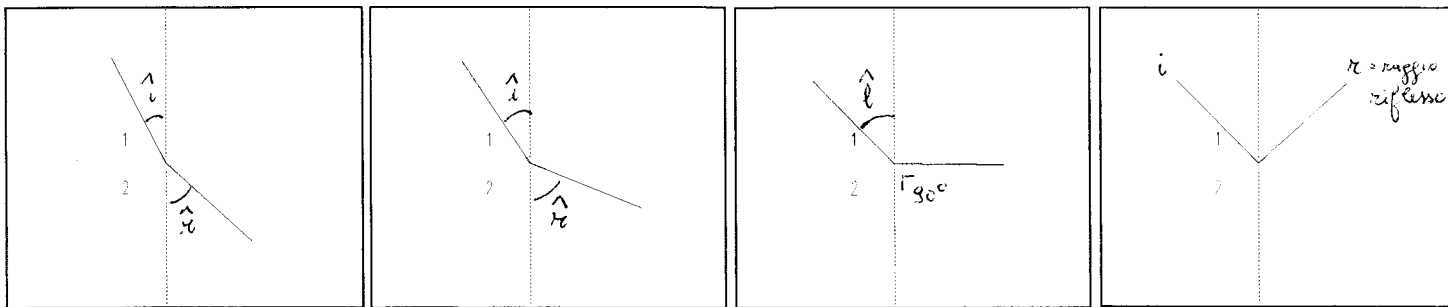
$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}; \text{ dove } n_{1,2} \text{ è l'indice di rifrazione del secondo mezzo rispetto al primo.}$$

Se $n_{1,2} > 1 \Rightarrow \hat{i} > \hat{r}$ allora il secondo mezzo è più rifrangente del primo.

Dette poi c e v le velocità di propagazione della luce nel vuoto e in un mezzo di propagazione qualsiasi, n è l'indice di rifrazione assoluto, si ha la relazione: $n = \frac{c}{v}$ e quindi $n_1 = \frac{c}{v_1}$; $n_2 = \frac{c}{v_2}$.

Infine, dato che risulta $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$; si avrà $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{c}{v_1}}{\frac{c}{v_2}}$ e poi $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{1,2}$.

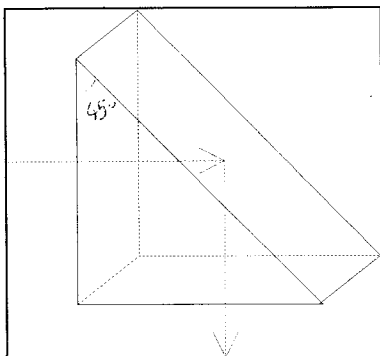
Angolo limite.



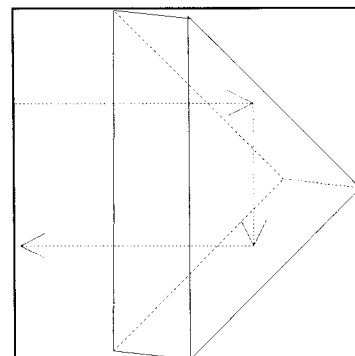
Considerando due mezzi di cui il primo più rifrangente del secondo e aumentando l'angolo di incidenza progressivamente, si raggiunge un angolo \hat{l} per cui l'angolo di rifrazione è di 90° , quindi si ha solamente più la riflessione: questo angolo \hat{l} è detto angolo limite.

Quindi se $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = n_{1,2}$, possiamo allora dire $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } 90^\circ} = n_{1,2}$; da cui otterremo: $\text{sen } \hat{i} = \frac{n_2}{n_1} = n_{1,2}$
(vetro - aria $\rightarrow \hat{e} \sim 42^\circ$)

Prisma a riflessione totale.



Consideriamo un prisma di vetro a sezione di triangolo rettangolo isoscele e con facce piane e levigate. Si presenteranno due casi particolari.

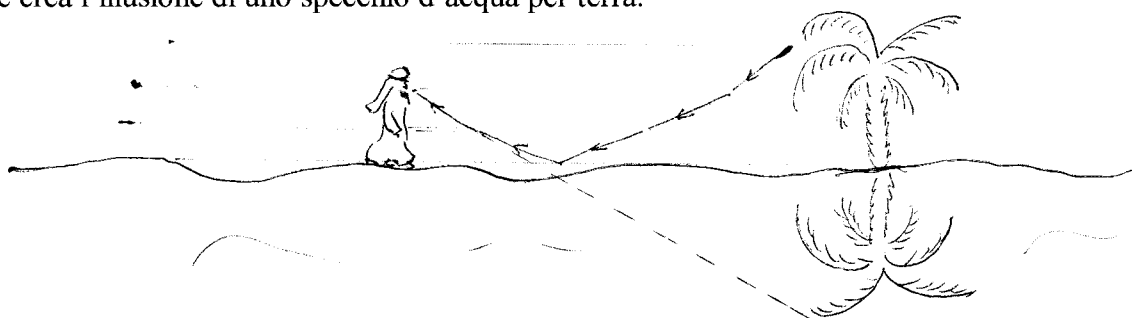


In ognuno dei due casi si ha solamente riflessione e non rifrazione; i due prismi funzionano come specchi. Prismi di questo tipo sono utilizzati per esempio nei periscopi dei sommergibili.

MIRAGGIO

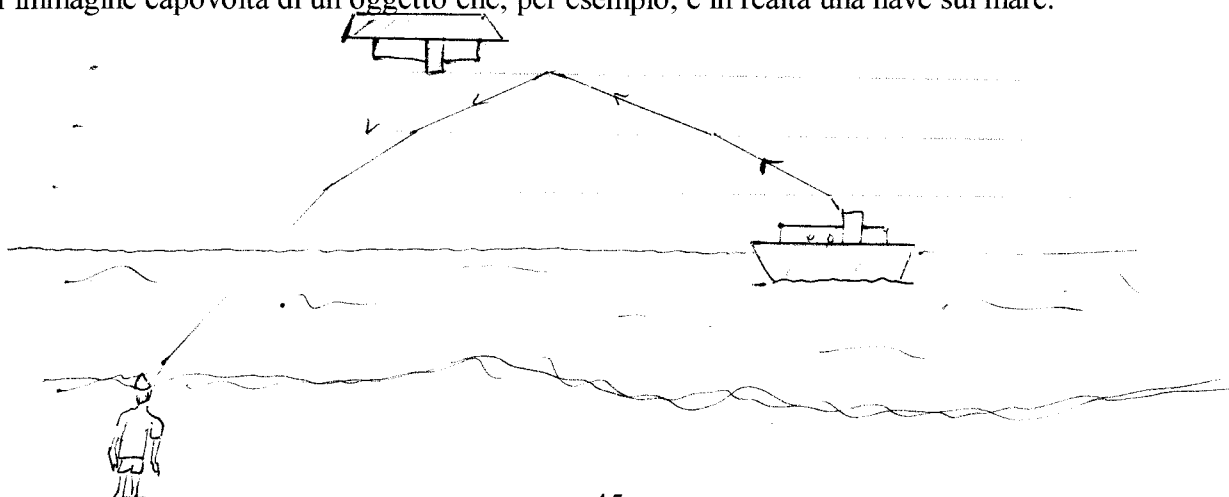
Il fenomeno del miraggio ha luogo quando gli strati d'aria vicini al terreno sono più caldi di quelli superiori. Essendo la densità dell'aria sempre più bassa in prossimità del terreno, i raggi, attraversando gli strati d'aria, ad un certo punto raggiungono l'angolo limite e vengono riflessi verso l'alto.

L'osservatore vede quindi, oltre all'immagine effettiva dell'oggetto, anche una sua immagine capovolta che crea l'illusione di uno specchio d'acqua per terra.



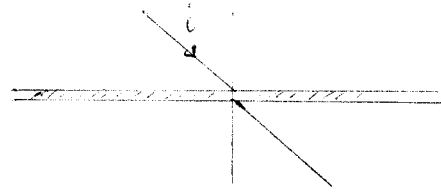
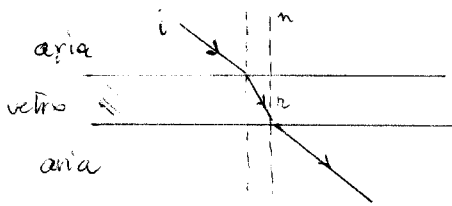
FATA MORGANA

E' una situazione analoga alla precedente ma in cui gli strati d'aria inferiori sono più freddi quindi più densi di quelli superiori. Il fenomeno della riflessione totale fa quindi sì che l'osservatore veda in cielo l'immagine capovolta di un oggetto che, per esempio, è in realtà una nave sul mare.



RIFRAZIONE ATTRAVERSO UNA LASTRA A FACCE PIANE E PARALLELE

Il raggio emergente dalla seconda faccia è parallelo al raggio incidente sulla prima faccia.



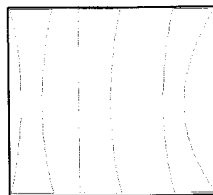
Se la lastra è molto sottile si può quindi ipotizzare che il raggio emergente sia la prosecuzione del raggio incidente.

Lenti

Una lente è un mezzo trasparente limitato da due facce di cui almeno una è curva. A seconda delle loro caratteristiche le lenti si classificano in:



Biconvessa
Piano convessa
Menisco convergente



Biconcava
Piano concava
Menisco divergente

Ogni lente, avendo due facce con curvature diverse, avrà due raggi diversi: viceversa i due fuochi della lente si trovano a uguali distanze dal centro della lente; per la costruzione delle immagini si utilizzano la distanza focale e la doppia distanza focale.

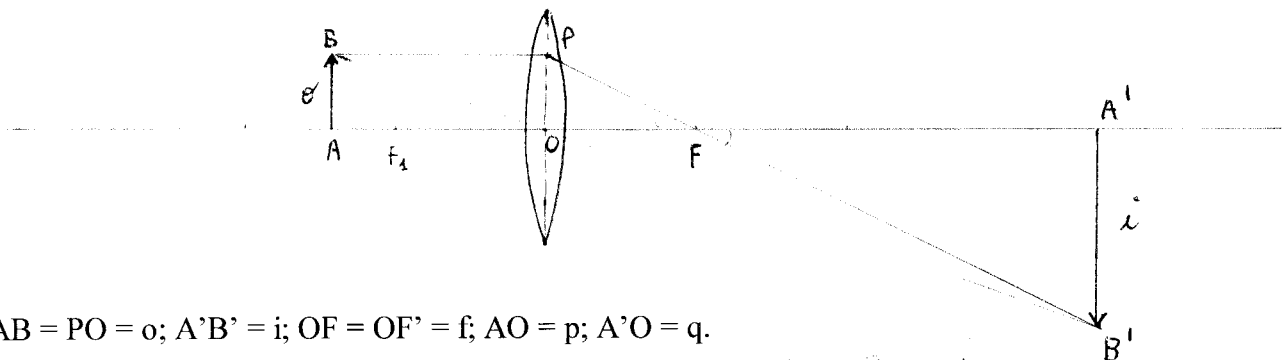
Per la trattazione seguente consideriamo lenti sottili, cioè di piccola apertura; ipotizziamo che i raggi luminosi siano molto vicini all'asse ottico e poco inclinati rispetto ad esso ed inoltre che siano raggi di luce monocromatica.

Se la lente è sottile, tutti i raggi passanti per il centro ottico O non sono deviati.

Nelle lenti convergenti i raggi paralleli all'asse ottico vengono rifratti nel fuoco.

Nelle lenti divergenti i raggi paralleli all'asse ottico vengono rifratti in modo che i loro prolungamenti si rifrangano nel fuoco virtuale.

EQUAZIONE DEI PUNTI CONIUGATI



$AB = PO = o$; $A'B' = i$; $OF = OF' = f$; $AO = p$; $A'O = q$.

I triangoli POB e $OB'A'$ sono simili, quindi: $\frac{o}{i} = \frac{p}{q}$.

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

I triangoli POF e A'FB' sono simili, quindi: $\frac{o}{i} = \frac{f}{q-f}$

Uguagliando si ha: $\frac{p}{q} = \frac{f}{q-f}$ e moltiplicando: $pq - pf = qf$; dividendo tutto per pqf , si ottiene:

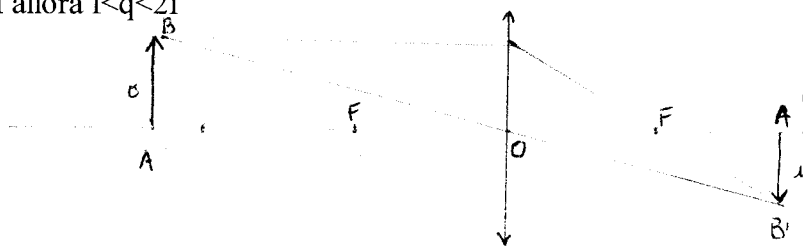
$\frac{1}{f} - \frac{1}{q} = \frac{1}{p}$ e infine $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$, cioè l'equazione dei punti coniugati.

L'ingrandimento è ancora il rapporto: $G = \frac{i}{o} = \frac{q}{p} = \frac{q-f}{f} = \frac{f}{p-f}$.

COSTRUZIONE DI IMMAGINI FORNITE DA UNALENTE CONVERGENTE

Caso 1

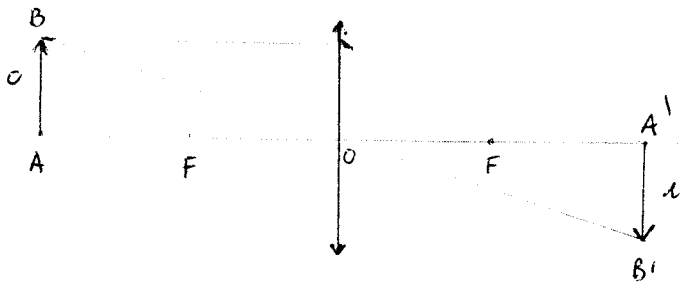
$p > 2f$ allora $f < q < 2f$



L'immagine è reale, capovolta, rimpicciolita.

Caso 2

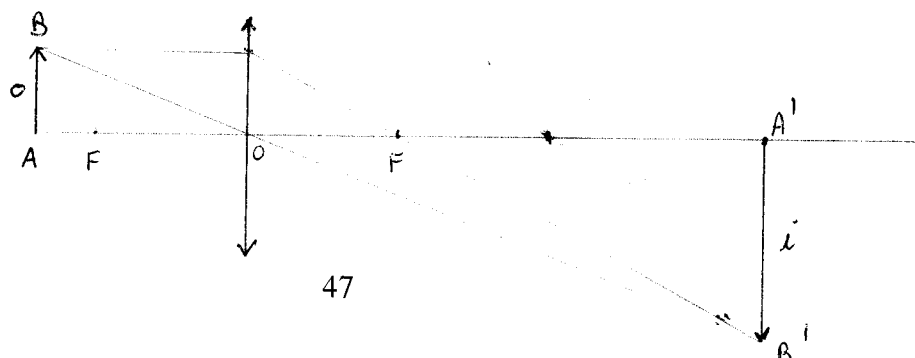
$p = 2f$ allora $q = 2f$



L'immagine è reale, capovolta, di uguale dimensione.

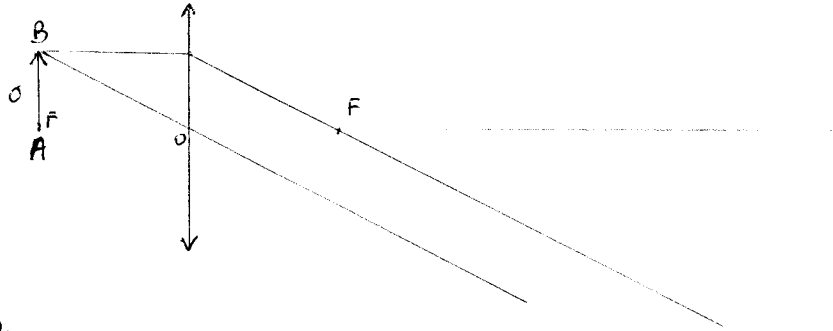
Caso 3

$f < p < 2f$ allora $q > 2f$



Caso 4

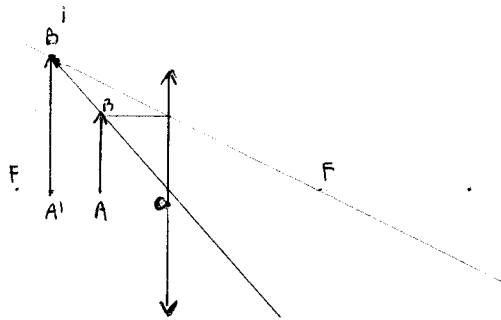
$p = f$ allora $q = \infty$



L'immagine si forma all'infinito.

Caso 5

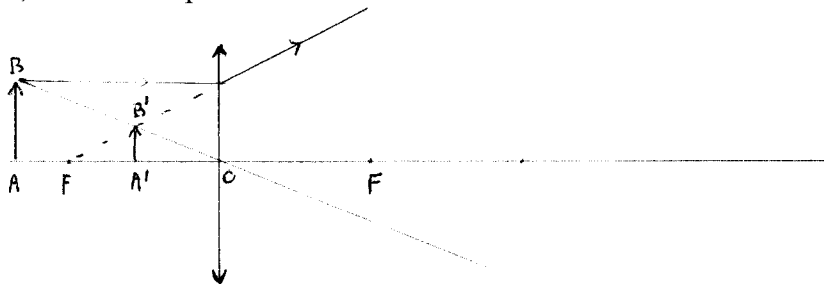
$p < f$ allora $q < 0$



L'immagine è virtuale, diritta, ingrandita. La lente funziona come lente di ingrandimento.

COSTRUZIONE DI IMMAGINI FORNITE DA UNALENTE DIVERGENTE

Il fuoco della lente divergente è virtuale ($f < 0$). Qualunque sia la posizione dell'oggetto, si ottiene sempre un'immagine virtuale, diritta e rimpicciolita.



POTERE DIOTTRICO O POTENZA DI UNALENTE

E' il reciproco dell' q focale misurata in metri. ($1/m =$ diottria)

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

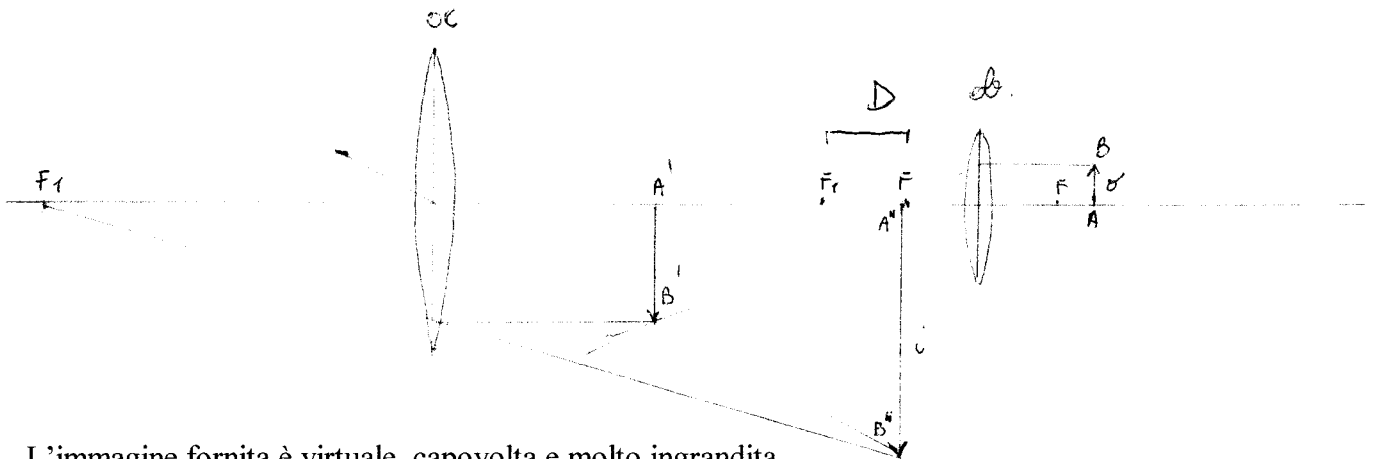
Equazione dei costruttori di lenti:
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

dove r_1 ed r_2 sono i raggi di curvatura delle due facce e n è l'indice di rifrazione del materiale costituente la lente.

MICROSCOPIO

È uno strumento ottico che serve per vedere oggetti molto piccoli.

Consta di due lenti convergenti, una detta obiettivo, di altissima potenza (focale dell'ordine del mm), una detta oculare (focale dell'ordine del cm). Le due lenti sono coassiali e montate all'estremità di un tubo metallico in modo che i loro fuochi si trovino ad una distanza D detta "lunghezza ottica" (circa 16 cm).



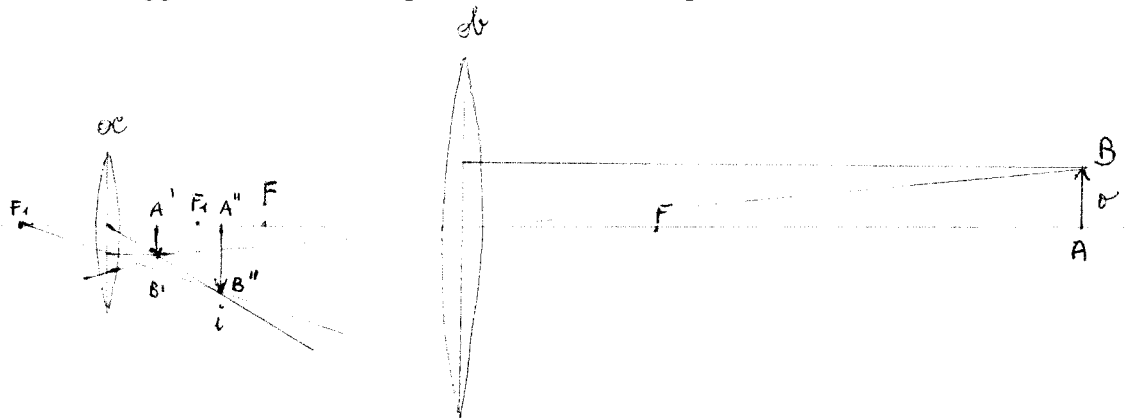
L'immagine fornita è virtuale, capovolta e molto ingrandita.

L'ingrandimento fornito dal microscopio è uguale al prodotto degli ingrandimenti delle due lenti:

$$G = G_{OB} \cdot G_{OC} = \frac{D \cdot 0,25}{f_{OB} \cdot f_{OC}}, \text{ dove } 0,25 \text{ è la misura in metri detta "distanza della visione distinta".}$$

CANNOCCHIALE ASTRONOMIC

Serve per vedere oggetti lontani. Constata di due lenti convergenti, l'obiettivo e l'oculare. L'obiettivo ha distanza focale molto maggiore dell'oculare, qualche metro contro qualche centimetro.



L'ingrandimento non è reale, ma è un ingrandimento angolare che equivale all'avvicinamento

dell'oggetto. Esso è dato dal rapporto: $G = \frac{f_{OB}}{f_{OC}}$.

L'immagine è virtuale e capovolta. Per ottenere immagini diritte, ad esempio nei cannocchiali terrestri, si utilizza una terza lente detta raddrizzatore.