



# Telescopi Ottici

Suzanne Melo, Camilla De Rossi, Marco Galimberti

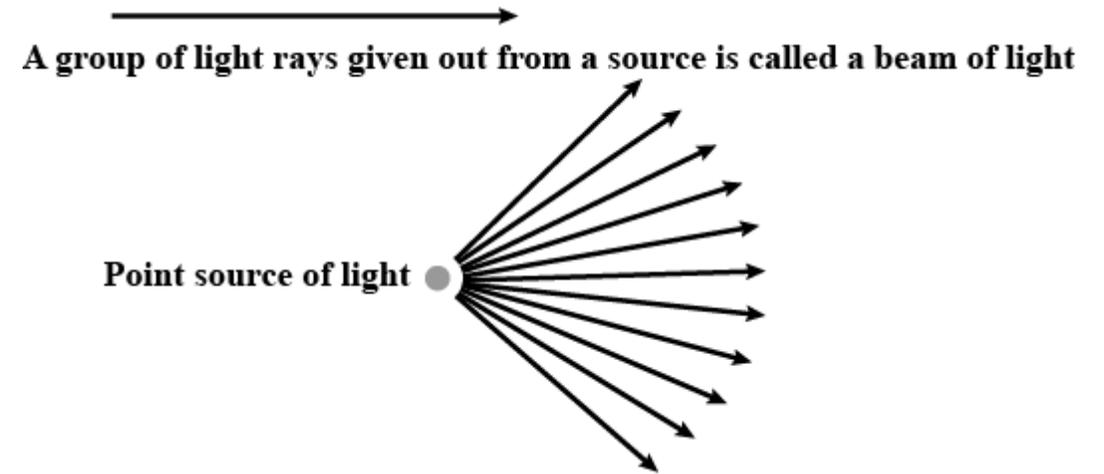
Per il Gruppo di Ottica

# Outline

- Il raggio di luce;
- La legge della riflessione e rifrazione;
- Riflessione totale interna;
- Lastra a facce piane;
- Lenti sottili;
- Formazione delle immagini e casistiche;
- Sistemi di lenti;
- Le aberrazioni;
- Simulazioni con Matlab;
- Esperimento «costruzione di un telescopio ottico».

# Raggio e Fascio di luce

- Raggio: Il "percorso" lungo il quale viaggia la luce è chiamato raggio. I raggi sono rappresentati da linee rette con frecce dirette verso la direzione di viaggio della luce;
- Fascio: Un insieme di raggi è chiamato fascio. Un fascio è parallelo quando i suoi raggi sono paralleli, è divergente quando i suoi raggi si disperdono da un punto e è convergente quando i suoi raggi si incontrano in un punto.



# Riflessione della luce

- È il fenomeno fisico per il quale un raggio luminoso che intercetti una superficie levigata (detta specchio) viene deviato secondo le seguenti due leggi:
  - il raggio incidente, quello riflesso e la normale alla superficie riflettente, nel punto d'incidenza, giacciono sullo stesso piano;
  - l'angolo d'incidenza è uguale all'angolo di riflessione:  $r = i$ .

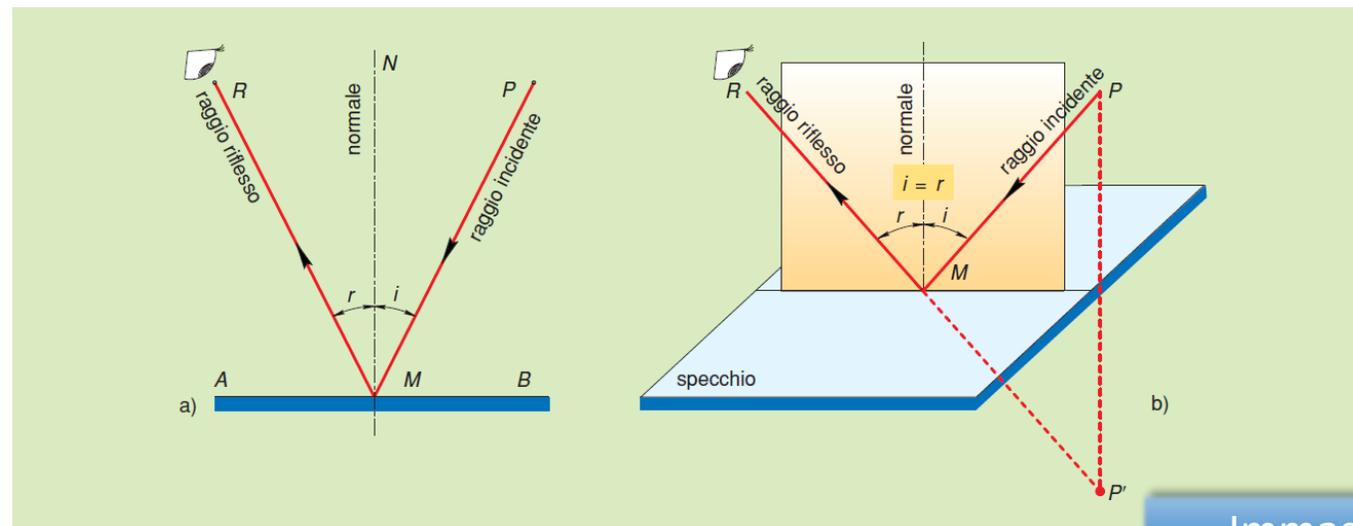
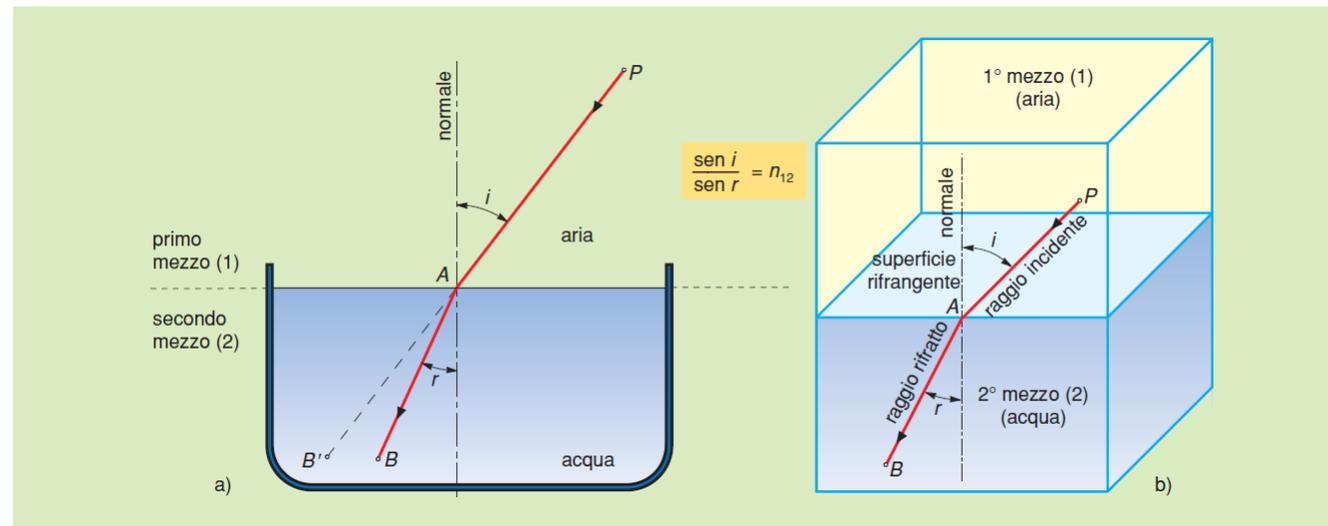


Immagine virtuale

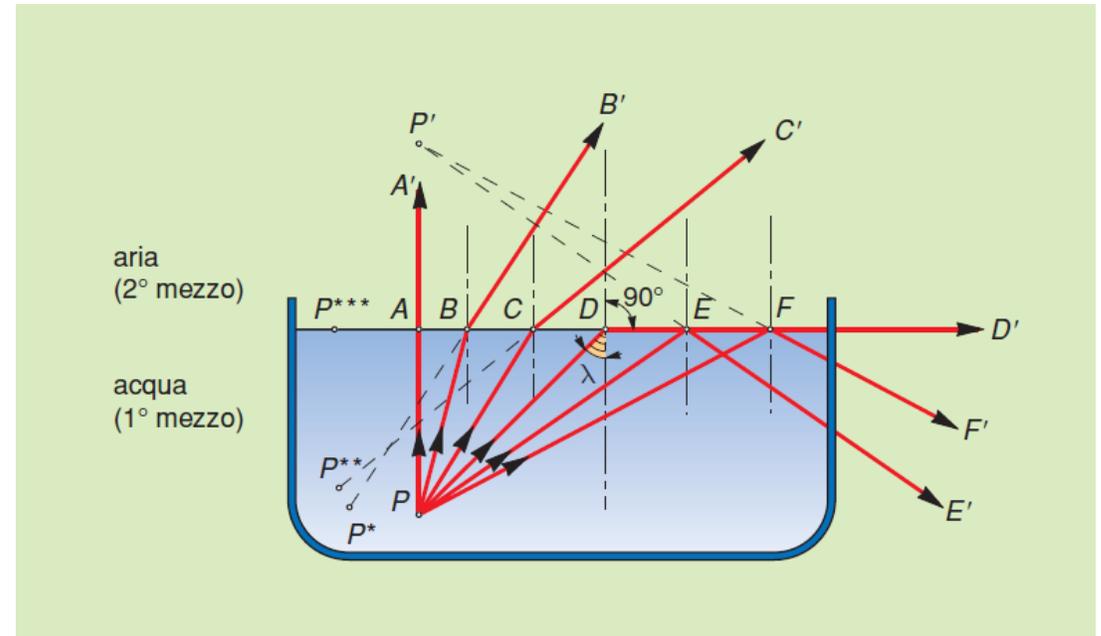
# Rifrazione della luce

- È il fenomeno fisico che si verifica tutte le volte che un raggio luminoso passa da un mezzo traslucido a un altro di diversa densità, seguendo le leggi seguenti:
  - il raggio incidente, la normale alla superficie rifrangente e il raggio rifratto giacciono sullo stesso piano;
  - il rapporto tra il seno dell'angolo  $i$  d'incidenza e il seno dell'angolo  $r$  di rifrazione, è costante e si chiama indice di rifrazione relativo:  $n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r}$ .



# Angolo limite e riflessione interna totale

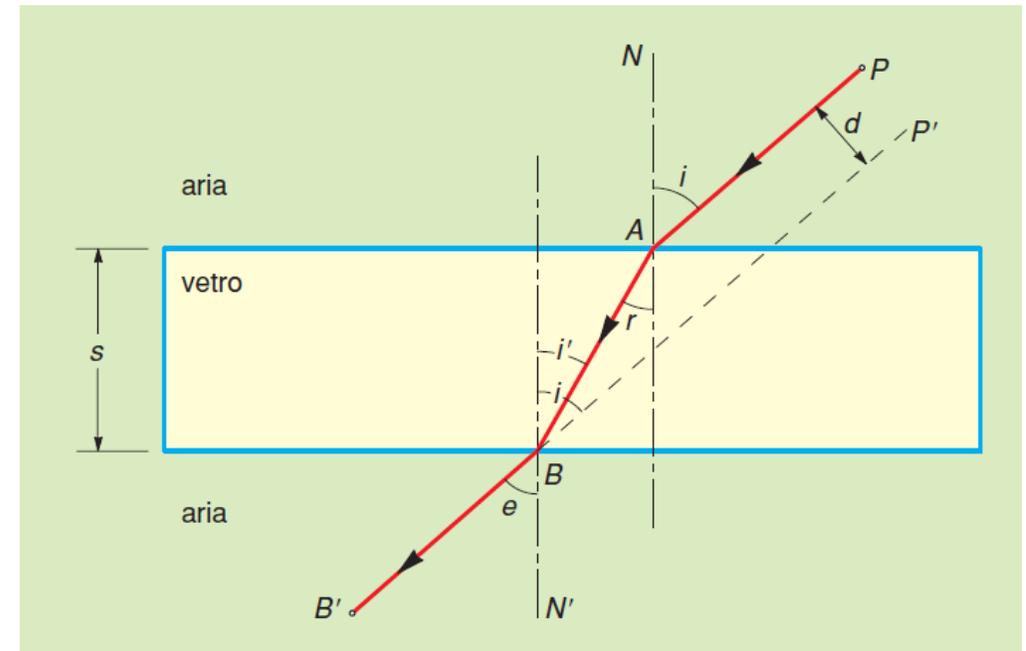
- L'angolo limite è quell'angolo d'incidenza  $\lambda$  a cui corrisponde un angolo di rifrazione di  $90^\circ$ . Se l'angolo d'incidenza è minore di  $\lambda$  si ha la rifrazione; se l'angolo d'incidenza è maggiore di  $\lambda$  il raggio non esce dal primo mezzo e si ha la riflessione.



# Rifrazione attraverso una lastra a facce piane e parallele

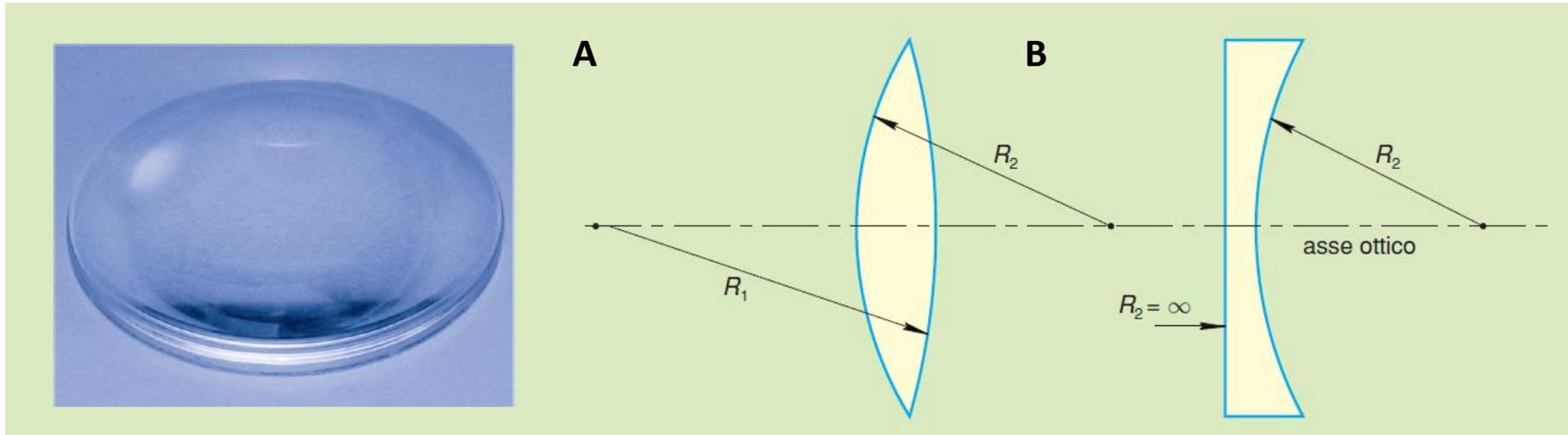
- Il raggio luminoso emergente dalla lastra risulta traslato (dunque parallelo al raggio incidente) di una quantità  $d$  fornita dalla seguente espressione, essendo  $i$  l'angolo d'incidenza (espresso in radianti),  $n$  l'indice di rifrazione relativo ed  $s$  lo spessore della lastra:

$$d = s \frac{n - 1}{n} i^{rad}$$



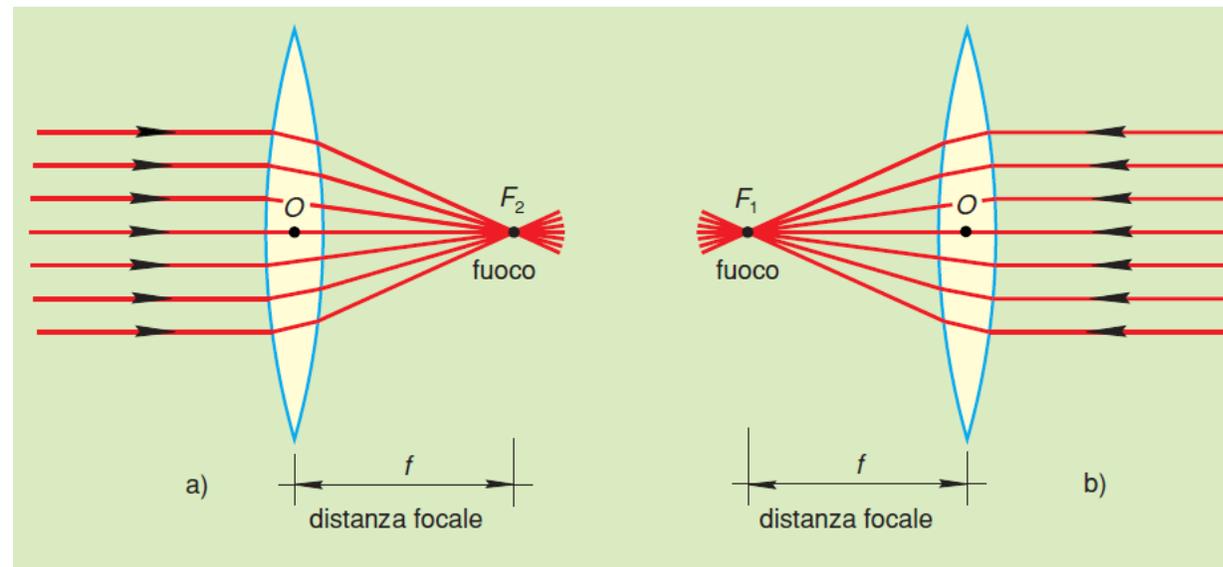
# Lenti sferiche

- **Lenti convergenti (A).** Sono caratterizzate da un maggior spessore della parte centrale rispetto alle parti periferiche. Il loro nome deriva dalla proprietà che esse possiedono di far *convergere in un punto* un fascio di raggi luminosi paralleli.
- **Lenti divergenti (B).** Presentano uno spessore maggiore ai bordi e sono più sottili al centro. Quando un fascio di raggi luminosi paralleli le intercetta provocano la **dispersione** dello stesso fascio.



# Le lenti sottili

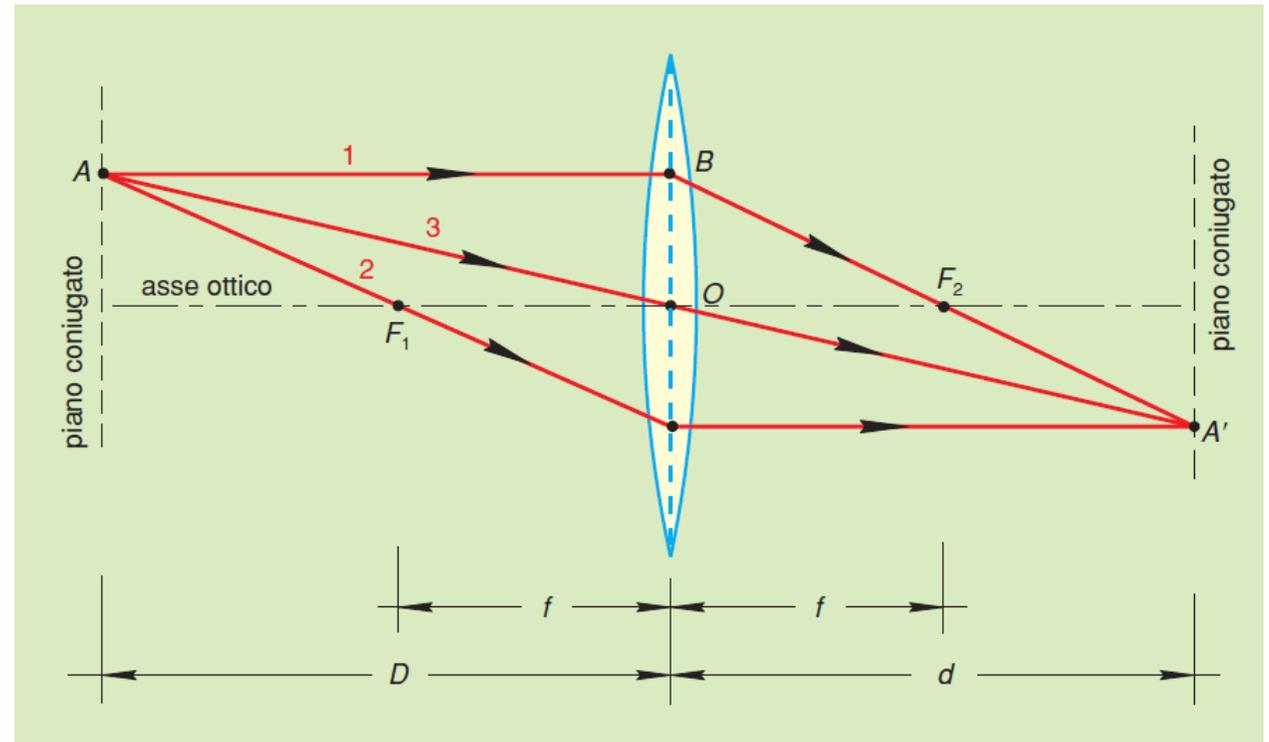
- Si definisce **centro ottico**  $O$  di una lente sottile il punto che è individuato dall'intersezione della lente con l'asse ottico. Esso **non provoca nessuna deviazione** a qualunque raggio luminoso che lo intercetti.



# Formazione dell'immagine

Per definire la **posizione** dell'immagine  
Al possiamo considerare *almeno due* dei  
tre seguenti raggi luminosi, scelti tra gli  
infiniti che escono da  $A$ :

- il raggio  $AB$  *parallelo all'asse ottico* (1),  
che è deviato dalla lente in modo da  
passare per il secondo fuoco  $F_2$  della  
lente;
- il raggio  $AF_1$  diretto sul *primo fuoco*  
della lente (2), che, quando intercetta  
la lente, viene deviato in modo da  
emergere parallelo all'asse ottico;
- il raggio  $AO$  che attraversa il *centro*  
*ottico* della lente (3); come tutti i raggi  
che passano per questo punto, esso  
prosegue senza subire alcuna  
deviazione.



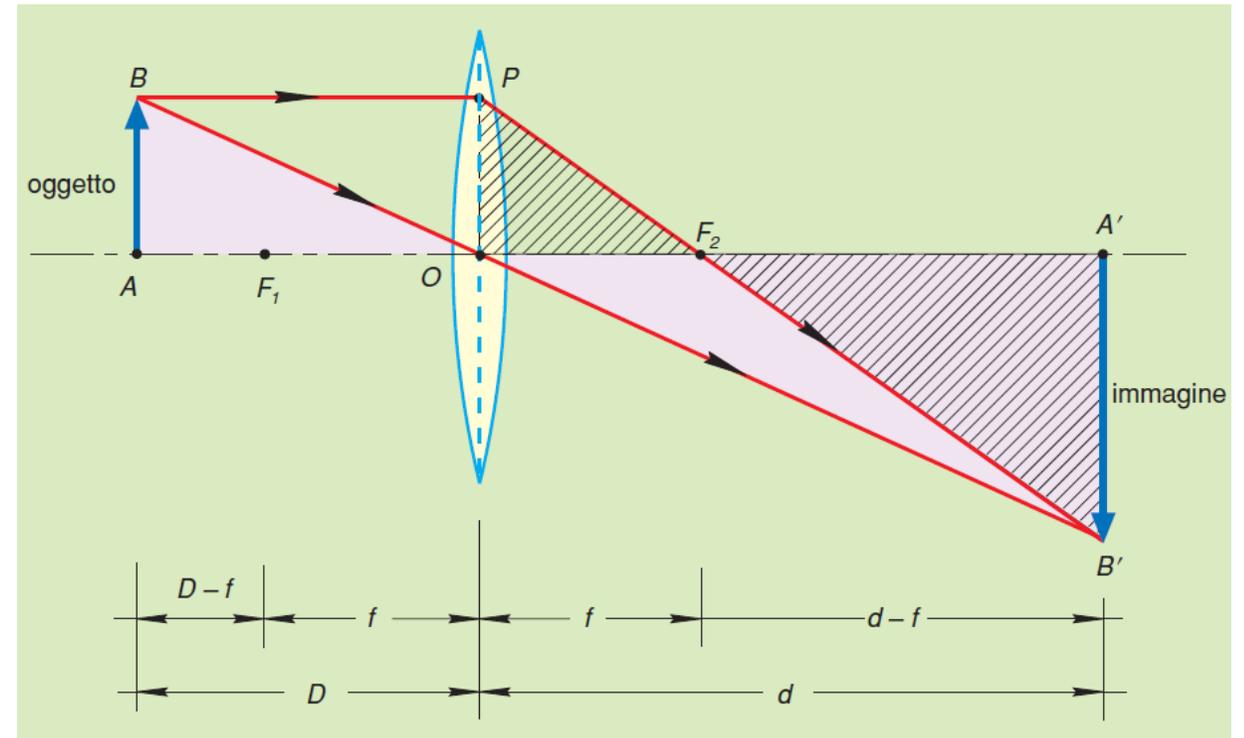
# Equazione delle lenti sottili

- Le lenti sottili provocano la rifrazione della luce seguendo la seguente legge:

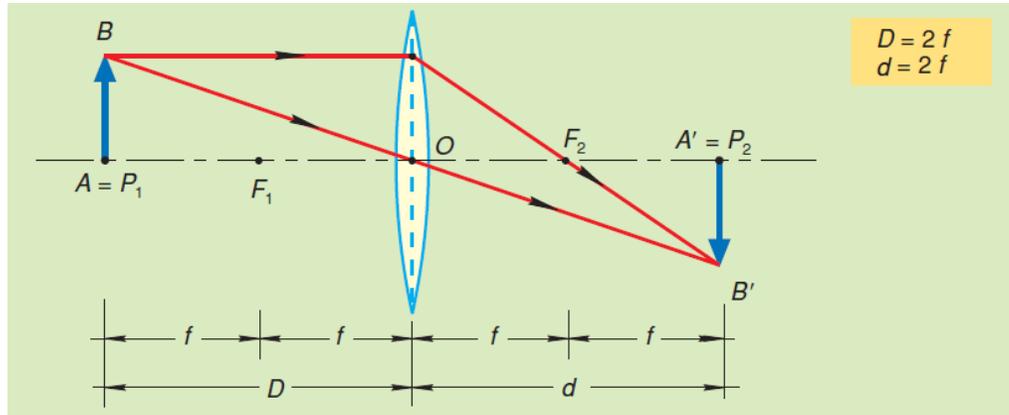
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}$$

in cui  $f$  è la distanza focale,  $D$  è la distanza dell'oggetto dalla lente e  $d$  la distanza dell'immagine dalla lente.

- Il rapporto  $1 / f$  viene chiamato **potere diottrico** della lente. La sua unità di misura è pertanto m<sup>-1</sup>. Essa, in oculistica, viene chiamata **diottria**. Ad esempio, una lente con distanza focale  $f = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$ , ha un potere diottrico di  $1 / 0,20 = 5$  diottrie. Il potere diottrico si considera *positivo* per le lenti convergenti, *negativo* per quelle divergenti.

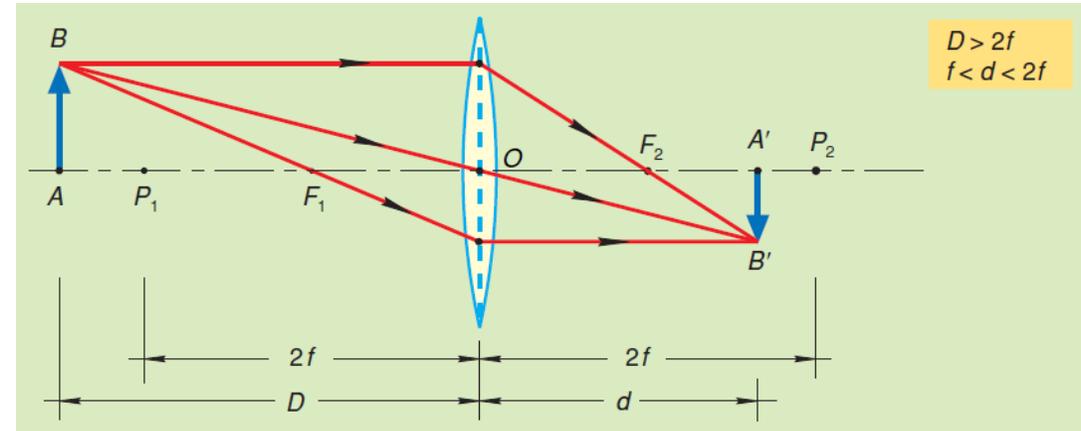


# Casistiche: lenti convergenti sottili



- **Oggetto posto sul doppio della distanza focale:**

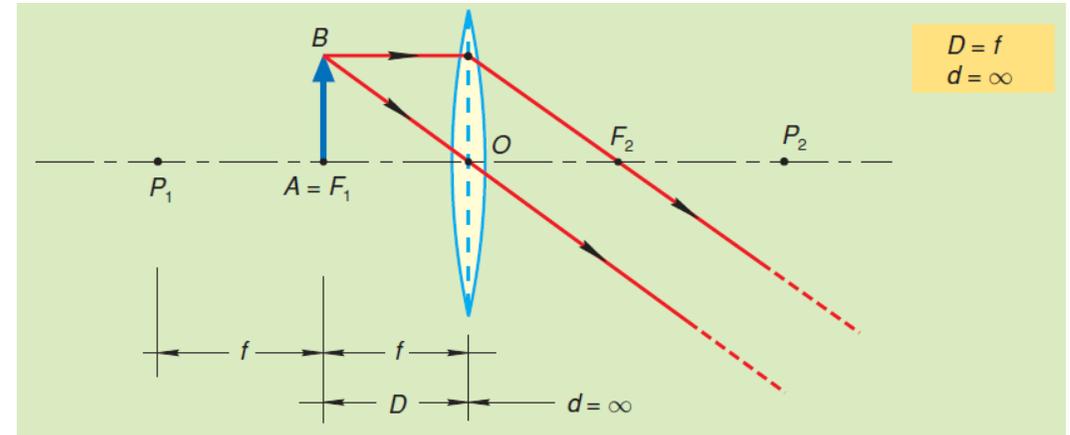
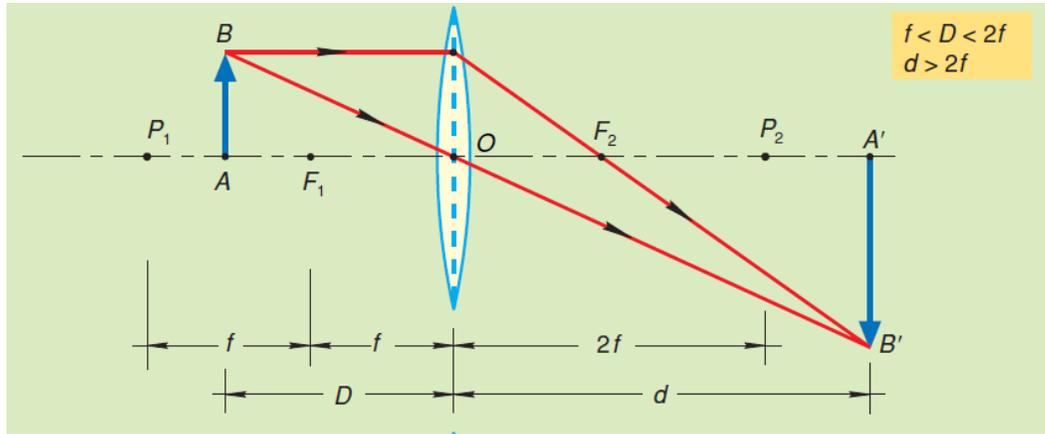
L'oggetto  $AB$  si trova a una distanza  $2f$  dalla lente, la sua immagine  $A'B'$  si trova alla stessa distanza  $2f$  dalla lente, ha la stessa dimensione ed è reale e capovolta.



- **Oggetto posto oltre il doppio della distanza focale :**

L'oggetto  $AB$  è alla sinistra di  $P_1$ , dunque dista dalla lente più del doppio della distanza focale ( $2f$ ). L'immagine  $A'B'$  si forma oltre il fuoco  $F_2$ , ma a una distanza minore di  $2f$ , quindi prima di  $P_2$ . Essa è reale, capovolta e rimpicciolita.

# Casistiche: lenti convergenti sottili



- **Oggetto posto tra il fuoco e il doppio della distanza focale :**

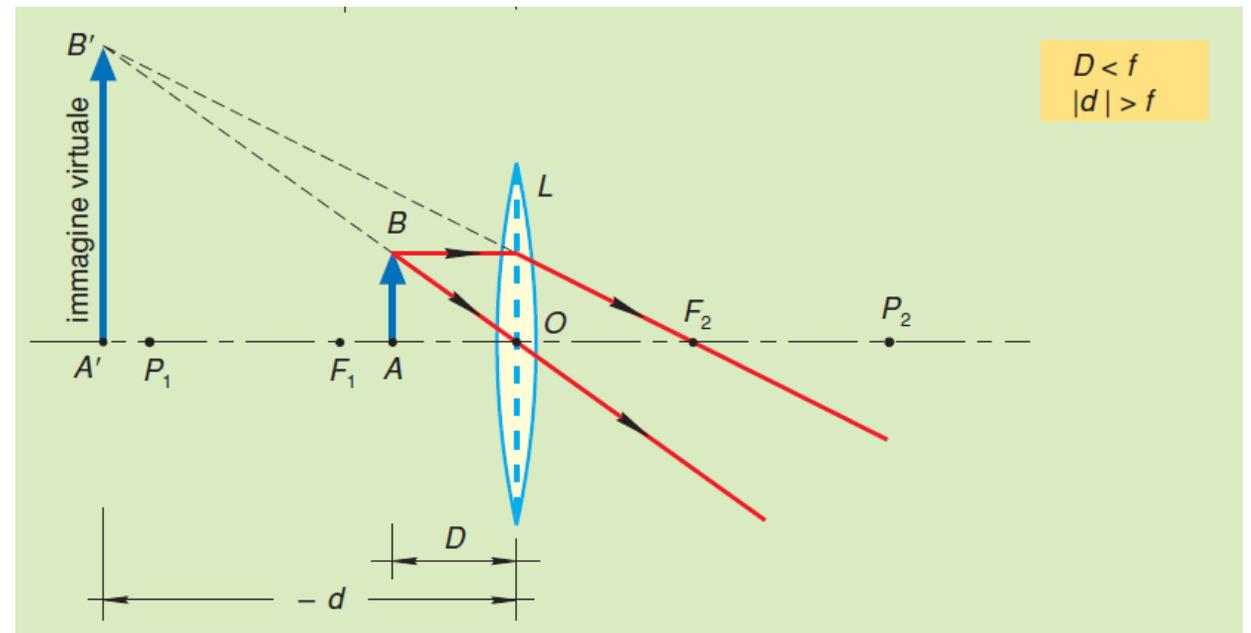
L'oggetto  $AB$  si trova tra il fuoco  $F_1$  e il punto  $P_1$ , quindi a una distanza dalla lente compresa tra  $f$  e  $2f$ . L'immagine  $A'B'$  è reale, capovolta, ingrandita e si forma oltre il punto  $P_2$ , quindi oltre il doppio della distanza focale.

- **Oggetto posto sul fuoco:**

Collocando l'oggetto  $AB$  sul fuoco  $F_1$ , l'immagine non si forma. I raggi emergenti sono paralleli, quindi non convergenti su un punto.

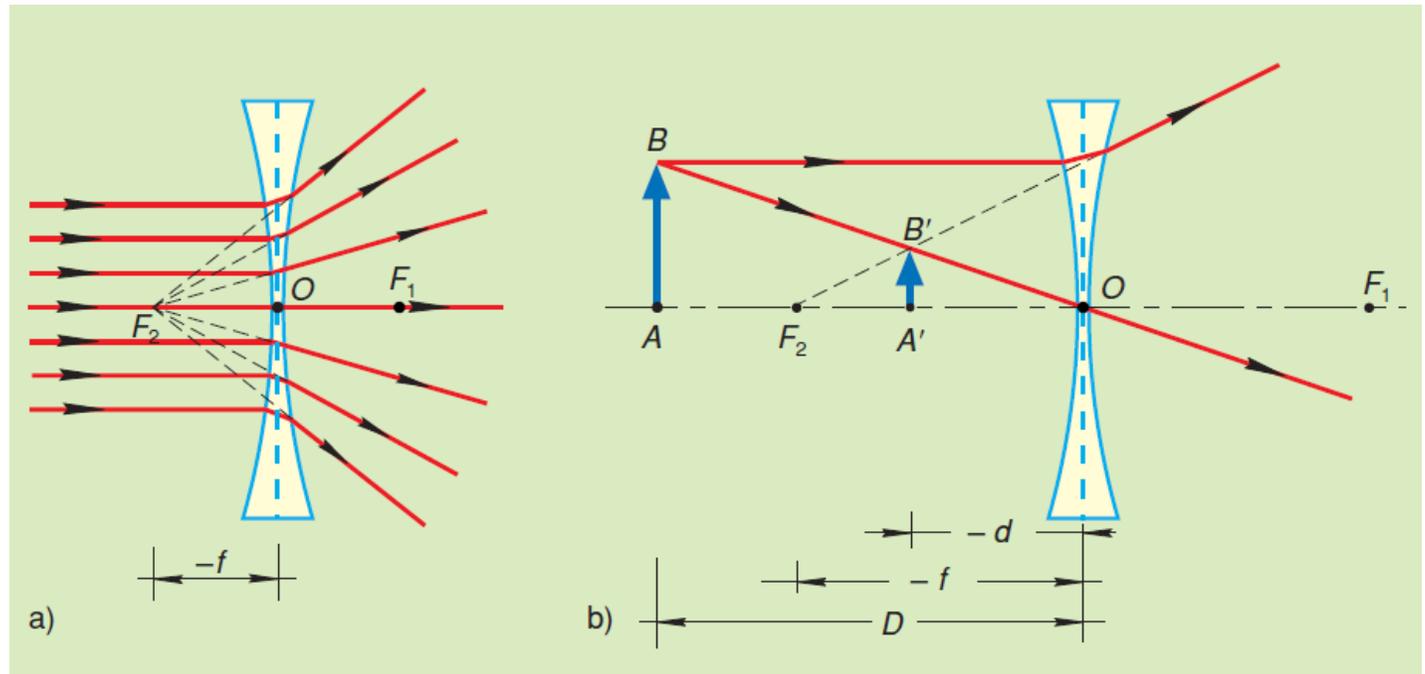
# Casistiche: lenti convergenti sottili

- **Oggetto posto tra il fuoco e la lente:**
- L'oggetto  $AB$  si trova tra il fuoco  $F_1$  e la lente, quindi a una distanza dalla lente minore di  $f$ . Il raggio parallelo all'asse ottico e quello passante per il centro  $O$  divergono al di là della lente, mentre i loro prolungamenti si incontrano dietro l'oggetto nel punto  $B'$ . L'immagine  $A'B'$  è virtuale, diritta, ingrandita, e la distanza dalla lente alla quale si forma è considerata negativa.



# Le lenti sottili divergenti

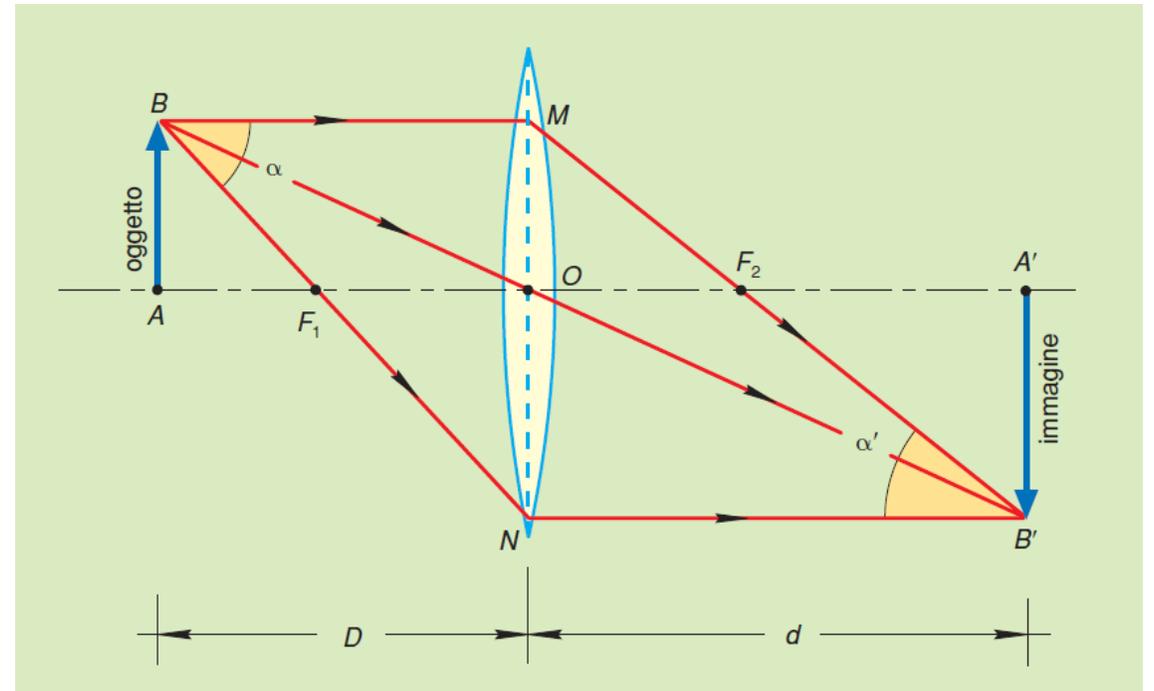
- Mentre una lente convergente fa convergere un fascio di raggi paralleli all'asse ottico, dopo la rifrazione, nel fuoco, una lente divergente, nelle stesse condizioni, **disperde** il fascio di raggi paralleli, allontanandoli dall'asse ottico. I prolungamenti di questi raggi, tuttavia, si intersecano nel fuoco  $F_2$  che si trova dalla stessa parte da cui proviene il fascio di raggi paralleli.
- Nella costruzione dell'immagine di un oggetto fornita da una lente divergente, si usano le stesse *regole* appena viste per le lenti convergenti. Comunque sia, occorre subito dire che, per qualunque posizione dell'oggetto rispetto alla lente, le lenti divergenti forniscono sempre e comunque un'immagine **virtuale**, **diritta** e **rimpicciolita**.



# Ingrandimento lineare di una lente sottile

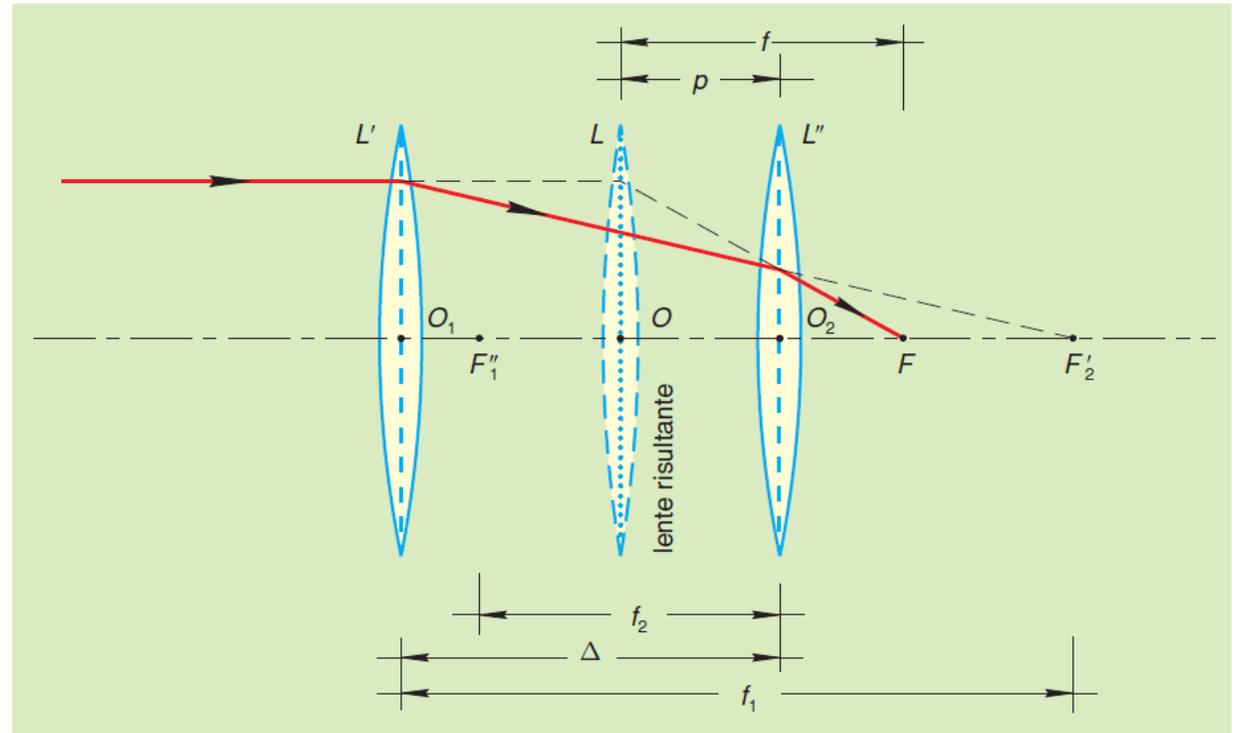
- Viene indicato con  $I_l$  ed è il rapporto tra la grandezza dell'immagine e quella corrispondente dell'oggetto, quindi:  $I_l = A'B'/AB$ . Esso viene calcolato con la seguente espressione:

$$I_l = \frac{f}{D - f}$$



# Sistemi di lenti

- In generale, negli strumenti ottici le lenti non vengono impiegate singolarmente, ma *accoppiate* ad altre di diverse caratteristiche che hanno in comune il medesimo *asse ottico*, e che, pertanto, prendono il nome di **sistemi ottici centrati**, al fine di ottenere determinati risultati.
- La lente risultante produce effetti equivalenti a quelli generati dal corrispondente sistema ottico centrato.



Distanza focale e distanza della lente risultante:

$$f = \frac{f_1 * f_2}{f_1 + f_2 - \Delta} \quad p = \frac{f_2 * \Delta}{f_1 + f_2 - \Delta}$$

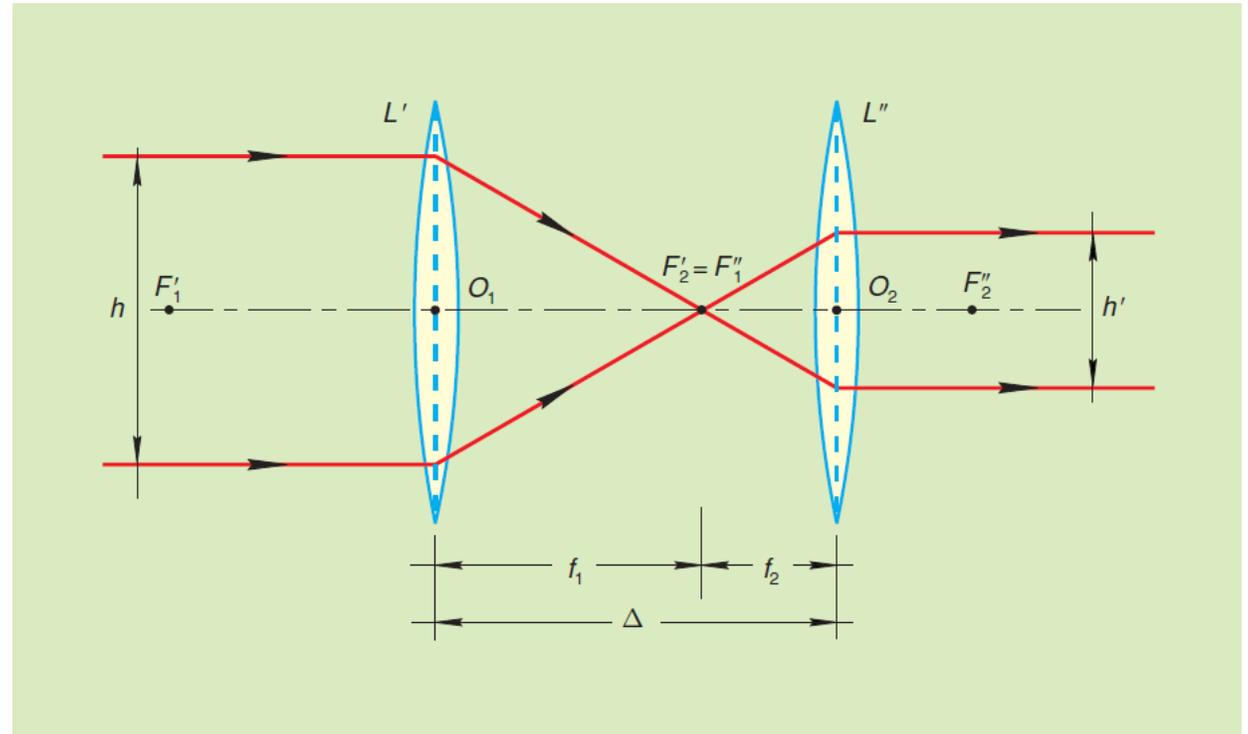
# Sistemi di lenti

- La distanza focale  $f$  della lente risultante può essere *positiva* o *negativa*, dando luogo rispettivamente a sistemi *convergenti* o *divergenti*. Anche la distanza  $p$  può essere *positiva* o *negativa*; in quest'ultimo caso significa che la lente si trova alla destra della lente  $L''$ . Il valore e il segno della distanza  $p$  definiscono la posizione della lente risultante  $L$ ; essa può essere compresa tra le lenti del sistema, ma può essere anche esterna a esse.
- Se il sistema di lenti è composto da più di due lenti, si calcolano inizialmente gli elementi della lente risultante delle *prime due* lenti, successivamente si calcola la risultante tra questa e la terza lente e si prosegue in modo analogo fino a considerare tutte le lenti.

# Particolari sistemi di lenti

- Quando un sistema di lenti sottili è detto afocale?

Quando il secondo fuoco della prima lente coincide con il primo fuoco della seconda quindi  $D = f_1 + f_2$  da cui  $f = 3$ . Questo sistema viene detto telescopico, e un fascio di raggi incidenti paralleli all'asse di diametro  $h$  è trasformato in un fascio di raggi emergenti, ancora paralleli allo stesso asse, ma di diametro  $h'$ .

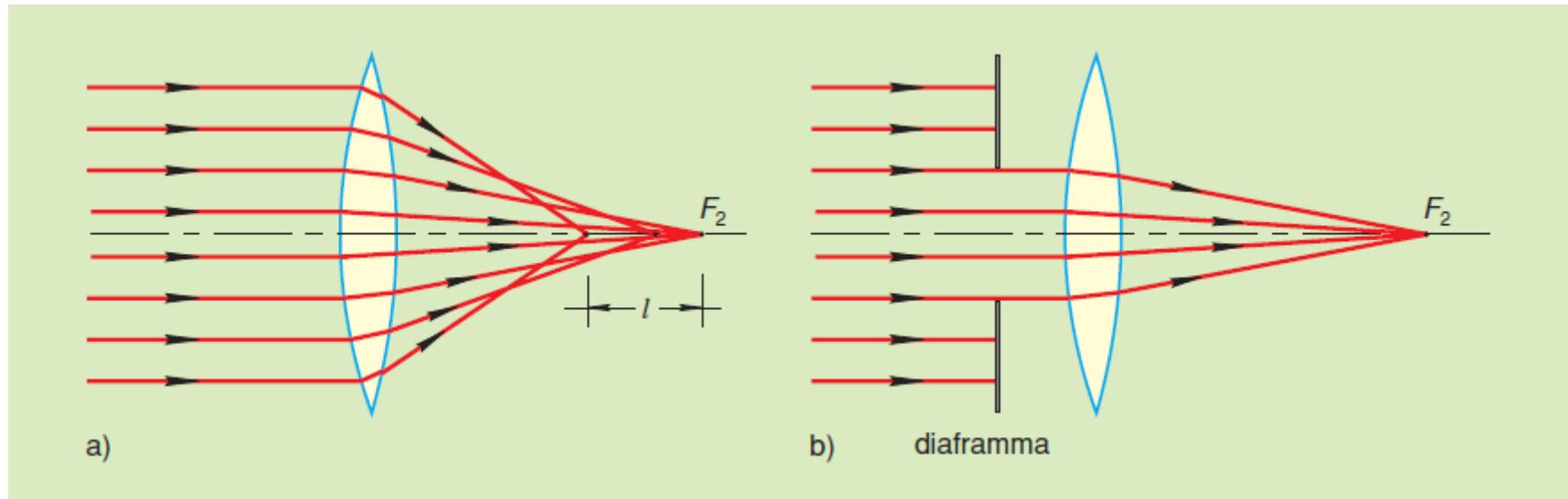


# Le aberrazioni

- Per il mancato rispetto di alcune ipotesi alla base delle lenti sottili (spessore non trascurabile, luce non monocromatica), le immagini formate da una singola lente non sono esattamente quelle che ci si aspetterebbe dalle valutazioni teoriche, ma presentano dei difetti e delle deformazioni dette aberrazioni. Esse sono inevitabili se si usa una singola lente, mentre si possono ridurre sostanzialmente adottando opportuni sistemi di lenti.
- Le aberrazioni sono inevitabili se si usa una singola lente, mentre si possono ridurre sostanzialmente adottando opportuni **sistemi di lenti**, come avviene ad esempio per gli obiettivi dei cannocchiali o delle macchine fotografiche.

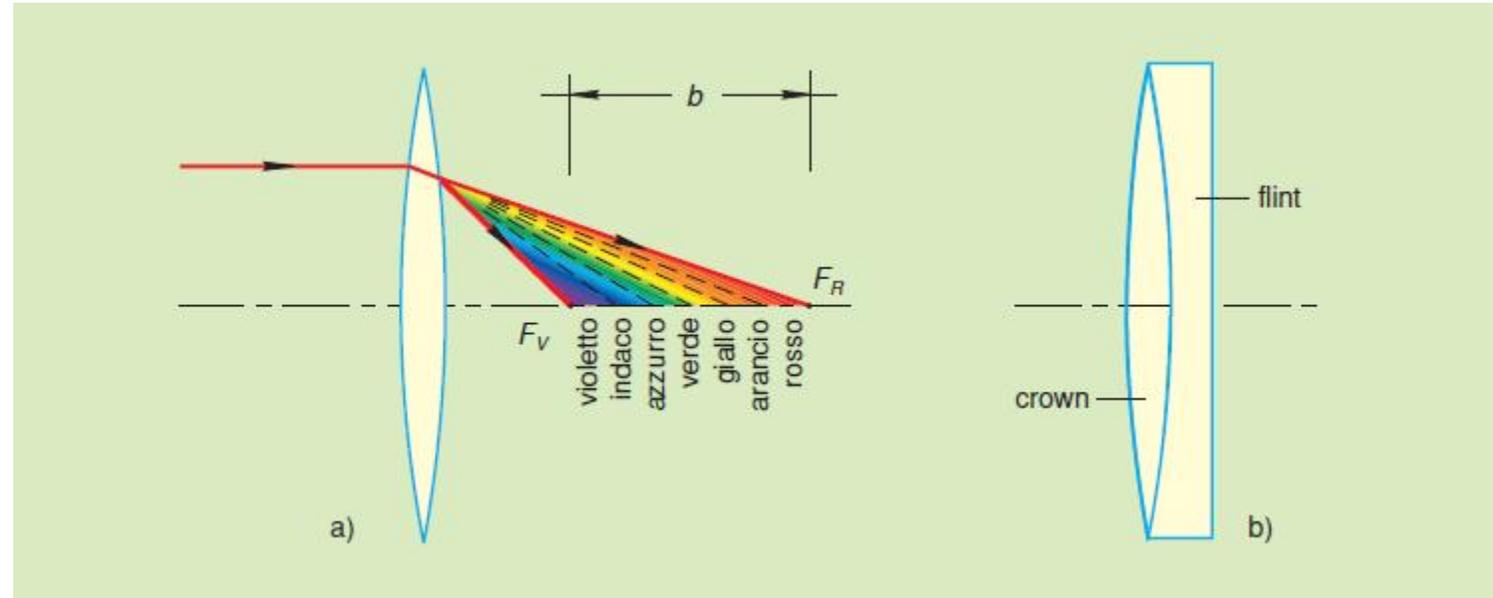
# Aberrazioni sferiche

- L'aberrazione sferica si produce quando i raggi paralleli all'asse non convergono sul fuoco ( $a$ ). L'inserimento di un diaframma riduce il difetto ( $b$ ).



# Aberrazioni cromatiche

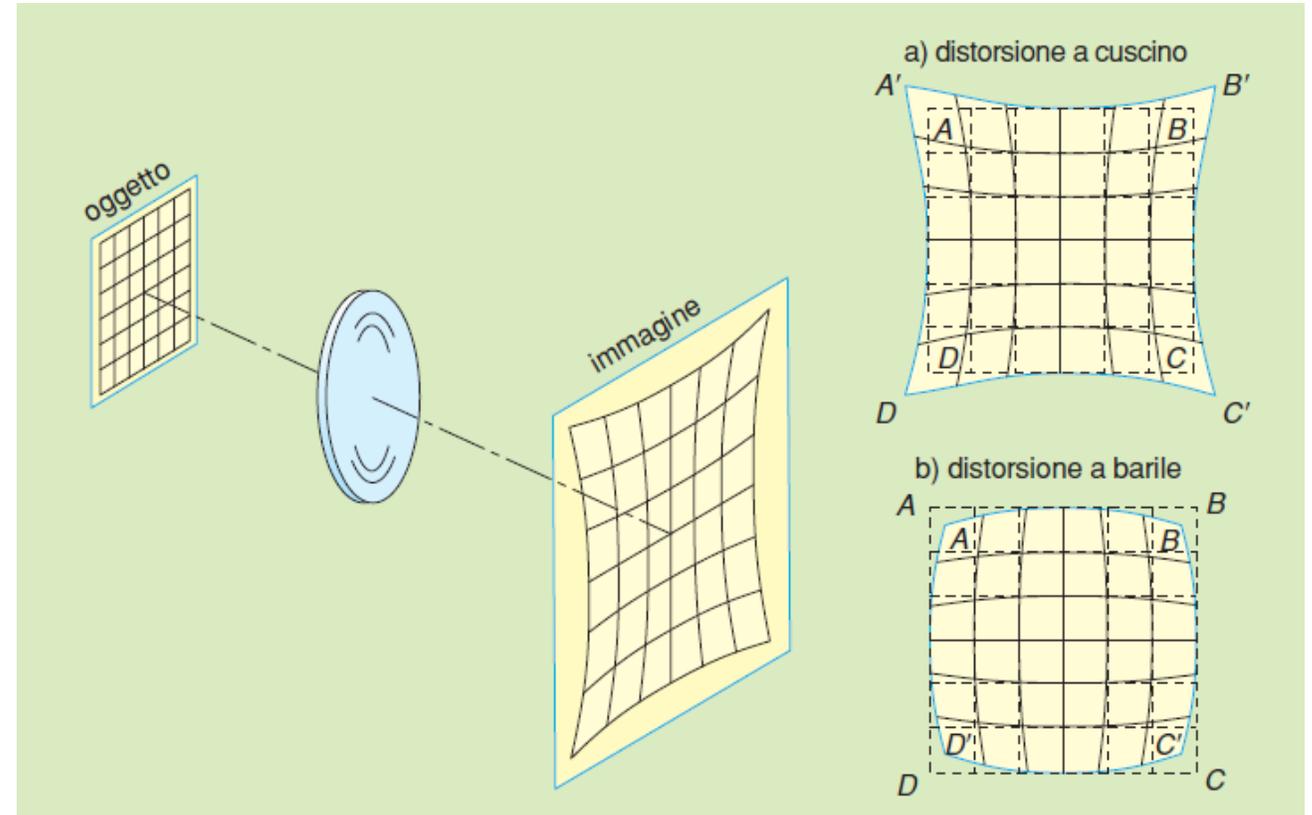
- L'indice di rifrazione di un materiale trasparente varia poi in corrispondenza alle diverse radiazioni che compongono la luce naturale (solare), quindi a ogni radiazione monocromatica corrisponderà un **fuoco diverso**.



L'aberrazione cromatica genera diversi fuochi per i diversi colori della luce solare (a). L'uso di un sistema di due lenti a contatto, una divergente e una convergente, con diversi indici di rifrazione, costituisce un sistema detto acromatico, in grado di eliminare o ridurre questo difetto (b).

# Distorsioni

- La distorsione di fatto provoca una **deformazione** dell'immagine dell'oggetto.
- Per correggere questo grave difetto, si usano speciali accoppiamenti di lenti chiamati **sistemi ortoscopici**. La distorsione è particolarmente grave per gli *obiettivi fotografici*, soprattutto se questi devono servire per rilievi **fotogrammetrici**.



Ora giochiamo...

<https://simbucket.com/lensesandmirrors/>

# Matlab – Design di un telescopio

- Aprire il programma «telescope» con il software Matlab;
- Capire il suo obiettivo e studiare le funzioni;
- Modificare i parametri per visualizzare l'impatto di ogni uno sul risultato finale;
- Acquisire familiarità con il software per utilizzarlo nel disegno del telescopio che sarà richiesto nell'attività laboratoriale.

# Esperimento in Lab

- Costruzione di un telescopio ottico:
  - Individuare i componenti: laser, lenti, strumenti di misurazione...
  - Misurare il fascio che esce dal laser: il fascio è collimato?
  - Fare il design del telescopio che si intende costruire;
  - Individuare le lenti che servono alla costruzione del telescopio;
  - Misurare il fascio che esce dal telescopio: è compatibile con le simulazioni e calcoli teorici?
  - Discussione dei risultati e scambio di impressioni sull'attività proposta.