

## Appendice D

### Cenni di ottica geometrica

La costruzione delle immagini attraverso un sistema ottico viene eseguita attraverso le tecniche dell'ottica geometrica che tengono conto delle leggi della rifrazione e riflessione. Come esempio studiamo il caso della formazione dell'immagine attraverso una lente convergente nell'ipotesi di lente sottile.

Considerata una lente sottile biconvessa simmetrica (Fig. D.1), definiamo il **piano della lente** come il piano parallelo ai bordi rotondi della lente, e che la divide in due parti di simile forma, eventualmente con curvature diverse, circa simmetriche rispetto al piano stesso. Definiamo altresì l'**asse ottico** come la retta perpendicolare al piano della lente che passa per il centro della lente stessa. Indichiamo il semispazio a sinistra della lente come spazio-oggetti e quello alla destra della lente come spazio-immagini. Si indichi con  $f$  la **lunghezza focale** della lente (o più brevemente la focale), che corrisponde alla distanza a cui la lente farà convergere in un unico punto, il **fuoco**, un fascio di raggi paralleli tra loro e paralleli all'asse ottico.

Il valore della distanza focale può essere calcolato con l'*equazione dell'ottico*:

$$\frac{1}{f_\lambda} = \left( \frac{n_\lambda}{n'_\lambda} - 1 \right) \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{(n_\lambda - 1)d}{n_\lambda R_1 R_2} \right] \quad (\text{D.1})$$

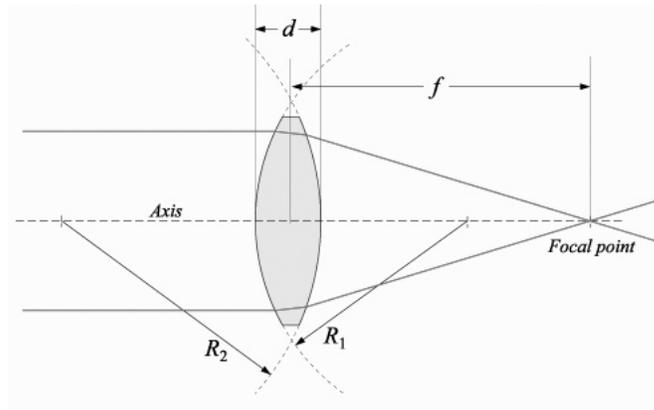
dove:

- $n_\lambda$  è l'indice di rifrazione del materiale con cui è costituita la lente;
- $n'_\lambda$  è l'indice di rifrazione dell'ambiente in cui la lente è immersa;
- $R_1$  e  $R_2$  sono i raggi di curvatura delle due superfici della lente, rispettivamente di quella dalla parte dello spazio-oggetti e di quella dello spazio-immagini;
- $d$  è la distanza tra i vertici delle due superfici o spessore della lente.

Si noti che gli indici di rifrazione dipendono dalla lunghezza d'onda, il che causa effetti di aberrazione cromatica (vedi testo).

Se  $d$  è piccolo rispetto a  $R_1$  e  $R_2$ , si ha la condizione di lente sottile:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n}{n'} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (\text{D.2})$$



**Fig. D.1** Lente biconvessa; sono indicati l'asse ottico, il punto focale nello spazio delle immagini a destra della lente e i raggi di curvatura  $R_1$  e  $R_2$  delle due superfici convesse;  $f$  è la distanza focale,  $d$  lo spessore della lente

Oltre al fuoco nello spazio-immagini esiste un fuoco anche nello spazio-oggetti simmetrico rispetto al piano della lente.

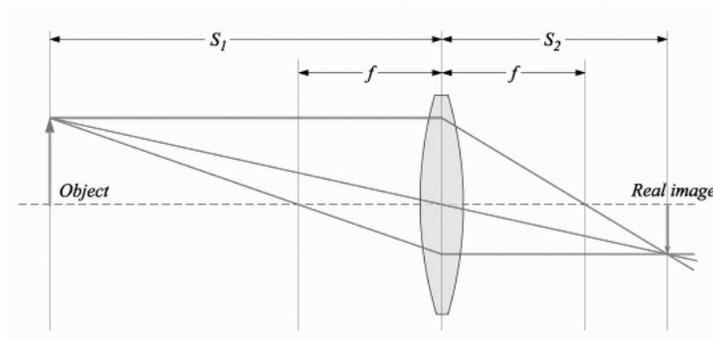
Nell'ipotesi di lente sottile valgono le seguenti tre regole per tracciare i raggi tra oggetto e immagine:

1. i raggi che passano per il centro della lente proseguono senza cambiare direzione;
2. i raggi che entrano nella lente paralleli all'asse ottico, vengono convogliati da questa nel punto focale dello spazio-immagini;
3. i raggi che passano per il punto focale dello spazio-oggetti vengono trasformati dalla lente in raggi paralleli all'asse ottico.

Prendiamo come oggetto una freccia posta a distanza  $S_1$  dal centro di una lente convergente di lunghezza focale  $f$  con  $S_1 > f$ ; sia la freccia perpendicolare all'asse ottico con la coda sull'asse. Per disegnare l'immagine in questa semplice configurazione basta tracciare due raggi provenienti dalla punta della freccia (Fig. D.2):

- un raggio che segue un cammino parallelo all'asse ottico e che viene rifratto dalla lente nel fuoco dalla parte opposta dell'oggetto;
- un raggio che passa direttamente attraverso al centro della lente e che non viene deflesso.

Nel caso in figura è indicato anche il raggio uscente dalla punta della freccia e che attraversando il fuoco nello spazio-oggetti esce dalla lente parallelo all'asse ottico. L'intersezione dei raggi rappresenta la punta della freccia-immagine (capovolta). Qualunque altro raggio uscente dalla punta della freccia-oggetto e che passi attraverso la lente viene concentrato in tale punto. La coda della freccia sta sull'asse ottico a distanza  $S_2$  dal centro della lente, e l'immagine è perpendicolare all'asse ottico. Con semplici proporzionalità tra gli angoli simili nello schema di figura, si ricava la relazione:



**Fig. D.2** Formazione dell'immagine in una lente convergente biconvessa simmetrica con il tracciamento di raggi

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} = \frac{1}{f}. \quad (\text{D.3})$$

Nel caso di sorgenti astronomiche  $S_1 \rightarrow \infty$ , per cui l'immagine si forma su piano focale. In tal caso per definire la punta della freccia-oggetto è sufficiente tracciare il raggio non deflesso passante per il centro della lente e indicarne l'intersezione con il piano focale.

Sistemi ottici complessi, che sfruttino riflessioni su specchi e lenti correttive come discusse nel testo, richiedono calcoli estesi, anche per tener conto delle irregolarità. Esistono opportuni programmi numerici di tracciamento dei raggi (**ray tracing**) che permettono di ricavare le immagini attraverso un qualunque sistema ottico; essi sono utilizzati in astronomia per definire nel modo migliore le caratteristiche dei sistemi ottici dei telescopi a seconda delle esigenze osservative.