

## Le Aberrazioni Ottiche

Una delle sfide più importanti per il costruttore di telescopi e lenti è quello di ottenere un'immagine perfetta, che contenga la maggior parte di informazione utilizzabile e che riporti con la massima fedeltà l'oggetto osservato. Purtroppo realizzare a pieno questo proposito è impossibile, perché l'utilizzo di lenti e specchi comporta delle imprecisioni più o meno grandi (ma in genere mai del tutto eliminabili) sull'immagine osservata. Anche se la teoria matematica che resta alla base della trattazione di queste fonti di errore è piuttosto complicata, non è difficile farsi un'idea del nocciolo della questione.

Innanzitutto le aberrazioni (che in latino significherebbero “deviazioni”) sono imputabili a varie cause, quali la forma degli elementi ottici utilizzati, la loro composizione, la posizione della sorgente luminosa rispetto all'asse ottico dello strumento, e la sua forma.

**Aberrazione cromatica** è quella che affligge le lenti: nel passare da un mezzo ad un altro, la luce subisce una deviazione più o meno grande, che nel caso più semplice dipende dall'angolo di incidenza e da un parametro intrinseco dei due materiali, detto *indice di rifrazione*. A sua volta l'indice di rifrazione dipende anche dalla lunghezza d'onda della radiazione che viene rifratta, e quindi un fascio di luce bianca viene scomposto dalla lente nelle sue componenti principali, perché ciascun colore fondamentale subisce una deviazione leggermente diversa. Dunque più lenti del telescopio deve attraversare la luce (qualora queste non siano state collocate *ad hoc*), più disturbata sarà l'immagine finale (molto frequente ad esempio l'aspetto “ad arcobaleno” nei pianeti, se li si osserva con rifrattori o oculari di scarsa qualità: questo è appunto l'effetto dell'ab. cromatica).

Tuttavia questo disturbo può essere annullato abbastanza facilmente addossando più lenti tali da correggersi a vicenda, mantenendo compatto il fascio iniziale; la più comune di queste combinazioni ottiche è il *doppio acromatico*.

Esiste poi una serie molto più numerosa di aberrazioni che non dipendono dalla lunghezza d'onda (le aberrazioni monocromatiche) e affliggono in egual maniera lenti e specchi, ed in genere risultano tanto più marcate all'aumentare del rapporto focale (diametro dell'obiettivo su lunghezza focale).

**L'Aberrazione Sferica** è la più tipica aberrazione che coinvolge gli specchi; essa è dovuta al fatto che i raggi più vicini all'asse ottico e quelli più distanti non hanno una focale esattamente identica (infatti i raggi più lontani, detti *marginali*, debbono compiere un cammino leggermente più lungo), ed il risultato è che un fascio di raggi paralleli entranti nel telescopio non viene concentrato in un solo punto (come si vorrebbe) ma risulta distribuito su di una superficie piuttosto complicata detta *caustica*, disposta grosso modo a cavallo dell'asse ottico principale.

Due sono i valori che descrivono la caustica:

- a) l'aberrazione sferica *longitudinale* ( $l=kR^2/f$ , dove  $k$  è costante,  $R$  è l'apertura del fascio e  $f$  la focale dei raggi parassiali, quelli più vicini all'asse);
- b) l'aberrazione sferica *trasversale* ( $t=kR^3/f^2$ ).

Nel caso degli specchi questa aberrazione può essere corretta impiegando uno specchio parabolico (è il caso dei telescopi newtoniani) o una lastra correttrice opportunamente sagomata (è il caso del telescopio Schmidt), mentre per una singola lente non è mai possibile ottenere il completo annullamento (se non attraverso un processo costosissimo detto *asferizzazione*), mentre per un sistema più complesso è possibile azzerarla combinando opportunamente tra di loro più lenti.

Un sistema ottico privo di ab. sferica si dice *stigmatico*.

Può poi accadere che il fascio di raggi paralleli non sia perfettamente allineato con l'asse ottico principale (nella pratica accade però l'inverso: il fascio di raggi paralleli che entra nel tubo del telescopio si riflette su di uno specchio che non è perfettamente perpendicolare all'asse ottico): in questo caso osserviamo due tipi di aberrazioni abbastanza simili, dette **Coma** e **Astigmatismo**.

Si ha **Coma** (in latino “cometa”, nome che deriva dall’aspetto vagamente cometario della immagine distorta) quando il fascio di raggi paralleli è molto ampio, e l’inclinazione rispetto all’asse ottico non ha valore molto alto; l’immagine che si ottiene al livello dell’obiettivo è grossolanamente la combinazione di un cerchio e di un cono giustapposti, descritti dai due parametri:  $c_T$  (=coma tangenziale) e  $c_S$  (=coma sagittale), legate tra di loro dalla relazione  $c_T = 3 c_S$ .

Globalmente l’effetto di coma è direttamente proporzionale alla quantità  $\alpha R^2$ , dove  $\alpha$  è l’inclinazione del fascio ed  $R$  è la massima distanza tra i punti del fascio di luce, e l’asse ottico.

La coma può essere eliminata in vari modi (oltre che naturalmente assicurando la perfetta perpendicolarità dello specchio o della lente rispetto all’asse ottico): collocando un diaframma all’apertura del telescopio, o lavorando le superfici di lenti e specchi; tuttavia è raro riuscire ad ottenere un sistema completamente privo di ab. sferica e coma (nel qual caso il sistema sarebbe chiamato *aplanatico*).

L’**Astigmatismo** si ha invece quando l’effetto di inclinazione prevale su quello di apertura del fascio (la proporzionalità è qui infatti secondo  $\alpha^2 R$ ); il risultato è che sul piano focale è impossibile trovare un unico punto in cui l’energia luminosa si concentra: al contrario la luce si distribuisce lungo due coni a sezione ellittica e con i semiassi maggiori sfasati di 90 gradi, osservabili alternativamente in posizione extra ed intra-focale. L’intersezione di questi due coni è comunque il punto di migliore concentrazione della luce, ed è pertanto chiamato *circolo di minor confusione*. Non c’è una grossa correlazione tra astigmatismo e forma della lente o dello specchio, solitamente è possibile minimizzare il disturbo con l’inserimento di un diaframma in entrata e con una spaziatura opportuna tra le lenti o gli specchi, in modo da rendere i due coni coincidenti e maggiormente simmetrica la zona di fuoco.

Stretta parente dell’astig. è la **Curvatura di Campo** (che ha infatti la stessa dipendenza da  $\alpha$  ed  $R$ ), che si verifica quando un oggetto esteso è a distanza non infinita dal sistema ottico; raggi con diverse inclinazioni vengono rifratti o riflessi dal sistema ottico originando superfici di diverse curvature, che intersecandosi all’altezza del fuoco restituiscono un’immagine particolarmente confusa. Le diverse immagini possono essere fatte coincidere attraverso opportuni accorgimenti riguardanti il profilo del sistema ottico (ottimo esempio è ad esempio lo Schmidt), tuttavia è impossibile ottenere un’immagine completamente esente sia dall’astigmatismo sia dal campo curvo, i due effetti sono complementari.

Nemmeno l’interposizione di diaframmi lungo il cammino ottico è esente da disturbi: se i diaframmi sono collocati troppo vicini alle lenti e agli specchi (operazione che come già visto farebbe passare soltanto i raggi parassiali, i meno soggetti ad aberrazioni) si causa il fenomeno della **Distorsione**, sia con oggetti estesi che puntiformi, che deforma il campo di vista variandone l’ingrandimento trasversale verso i bordi (“stiracchiandoli” cioè verso il centro o al contrario allargandoli). Tale aberrazione, che può essere limitata attraverso l’utilizzo di un sistema più complesso di diaframmi e lenti, dipende esclusivamente dall’inclinazione dei raggi (cresce cioè secondo  $\alpha^3$ ).

Concludendo, un sistema ottico ideale dovrebbe soddisfare a due requisiti principali:

- dovrebbe essere **stigmatico**, cioè dovrebbe far corrispondere ad un punto oggetto uno ed un solo punto immagine (non dove cioè moltiplicare l’immagine osservata né rendere impossibile la perfetta foceggiatura);
- dovrebbe essere **ortoscopico** cioè non deformare in alcun modo il campo osservato, in partenza piatto.

Tale obiettivo dovrebbe passare per la minimizzazione di almeno 6 termini relativi alle aberrazioni sopracitate ed è a tutti gli effetti impossibile.

Tuttavia è fattibile realizzare dei buoni compromessi soprattutto tenendo in considerazione le diverse necessità di osservazione, ad esempio:

- le dimensioni lineari dell'oggetto da osservare;
- la risoluzione dello strumento, la qualità del seeing (sarebbe infatti superfluo interessarsi di aberrazioni che comportino errori inferiori alla massima risoluzione possibile);
- il budget e la tecnologia di supporto disponibili, dal momento che alcune delle migliori tecniche di correzione alle aberrazioni sono anche molto costose.

*N.B. La trattazione che ho cercato di spiegare e la terminologia (oltre che i pochi formalismi matematici) derivano dalla teoria detta di Seidel al Terzo Ordine (cioè semplificata); non è l'unica trattazione possibile, né la più accurata, dunque è possibilissimo imbattersi in classificazioni e formule diverse da queste, per quanto equivalenti nella sostanza.*

*Franco Vazza*