

# L'utilità degli strumenti ottici

di Daniele Gasparri

Per osservare il cielo, anche se il nostro occhio è capace di darci infinite soddisfazioni, abbiamo bisogno di strumenti, in genere binocoli e telescopi, capaci di farci vedere oltre i limiti dell'occhio.

Per le osservazioni amatoriali, gli strumenti a disposizione dell'astronomo dilettante sono i due già citati, mentre per applicazioni professionali abbiamo delle varianti molto interessanti e particolari; il caso più eclatante sono i radiotelescopi, composti da una grande parabola, o distese enormi di antenne, in grado di osservare il cielo nelle onde radio.

Qualunque sia il vostro strumento di osservazione e indipendentemente se voi siate semplici amatori o veri e propri astronomi i, gli strumenti di osservazione hanno sempre lo stesso scopo: mostrare oggetti invisibili ad occhio nudo per migliorare la nostra conoscenza dello spazio e, se necessario, ingrandire tali oggetti per studiarne la loro struttura.

Binocoli e telescopi sono composti entrambi da un gruppo di lenti o specchi (nel caso dei telescopi, non esistono binocoli fatti da specchi!) che hanno due compiti fondamentali: mostrare oggetti deboli, così deboli da non essere visibili ad occhio nudo e dettagli più piccoli di quelli che l'occhio può risolvere. L'ingrandimento, come vedremo meglio, non è una caratteristica fondamentale degli strumenti, ma solo il mezzo necessario per sfruttare il loro potere risolutivo.

Quando si considera uno strumento per le osservazioni astronomiche, ma anche terrestri, sono 2 le componenti da tenere in considerazione, almeno per quanto riguarda la parte ottica:

1) La qualità delle ottiche; in astronomia la qualità si paga e un'ottica buona può costare oltre il doppio di una mediocre o sufficiente.

Uno strumento con ottiche di scarsa qualità è totalmente inutilizzabile, per questo bisogna prestare molta attenzione alla qualità e al prezzo: diffidate sempre da offerte apparentemente vantaggiose. Questo argomento sarà discusso meglio in altre pagine.

2) Diametro dell'obiettivo: questo, e non l'ingrandimento raggiungibile, è il vero dato sulla potenza di qualsiasi strumento ottico. Il diametro di un telescopio è direttamente collegato alla minima luminosità stellare visibile e al potere risolutivo, cioè alla capacità di distinguere due oggetti vicini.

Per capire fino in fondo come il diametro sia il vero criterio di scelta di uno strumento, e di come l'ingrandimento in realtà conti solo marginalmente, dobbiamo fare una breve analisi, partendo dal nostro occhio e dalla luce che proviene dalle stelle o dagli oggetti di tutti i giorni.

Consideriamo una stella posta a qualche anno luce di distanza, molto simile al nostro Sole, in modo da conoscere esattamente l'energia luminosa emessa ogni secondo, cioè la sua luminosità. Dal suo disco parte la luce che si propaga sfericamente in tutto lo spazio; una piccola porzione di questa luce raggiunge la Terra e "illumina" metà della sua superficie. Sappiamo quanta energia emette ogni secondo tale stella e sappiamo che alla distanza della Terra questa energia è distribuita su una sfera che ha per raggio la distanza della stella, così ad esempio ogni centimetro quadrato di superficie terrestre riceve una certa quantità di energia per ogni secondo; se moltiplichiamo per la sezione d'urto della Terra, cioè la superficie di una circonferenza che ha per raggio il raggio terrestre (cioè la superficie netta che intercetta la luce), troviamo l'energia totale che la Terra riceve dalla Stella; aumentando la superficie aumentiamo l'energia totale che otteniamo, viceversa diminuendo la superficie di raccolta della luce, riceviamo meno energia. Questa è la base sulla quale funziona ogni strumento ottico, compreso il nostro occhio; esso ha infatti una lente, il cristallino, che ha il compito di raccogliere e far confluire la luce che vi incide su un punto interno sulla nostra retina; tale luce viene poi inviata al cervello e da esso elaborata per darci la visione che tutti gli esseri umani hanno. La luce raccolta dal cristallino passa attraverso un'apertura, detta pupilla che per persone giovani e adattate al buio arriva ad un diametro di 0,7-0,8 cm. Quindi l'energia raccolta dall'occhio è l'energia ricevuta ogni secondo per ogni centimetro quadrato, moltiplicata la superficie di raccolta, che è una circonferenza di raggio 0.4mm.

Se l'energia che l'occhio riceve ogni secondo è inferiore al suo limite di sensibilità, allora noi non saremo in grado di vedere tale sorgente luminosa. Per riuscire a vedere tale sorgente, dobbiamo fare in modo che l'energia che colpisce la retina sia superiore al limite di sensibilità dell'occhio.

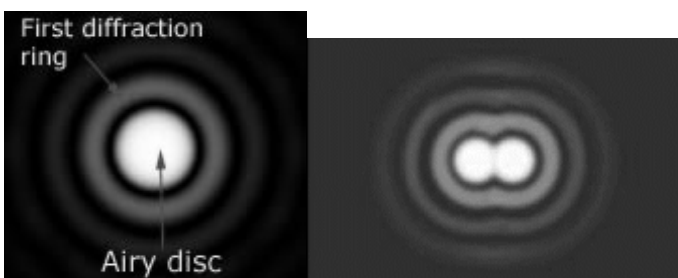
L'unico metodo possibile per aumentare il flusso di energia è quello di aumentare la superficie di raccolta della luce, introducendo strumenti ottici, dal diametro maggiore a quello della pupilla dell'occhio umano. Basta una lente del raggio di 1 cm per avere un aumento di energia rispetto all'occhio nudo di circa 4 volte! Cioè con una lente dal diametro di 2 cm riusciamo a vedere stelle quattro volte più deboli rispetto all'occhio nudo, proprio perché tale lente riesce a catturare 4 volte più energia dell'occhio.

Uno strumento da 10 cm di diametro, come molti dei telescopi per principianti, raccoglie 100 volte più luce dell'occhio umano, un bel salto di qualità! La raccolta della luce è indipendente dall'ingrandimento utilizzato, e in effetti non abbiamo mai citato tale sostantivo; esso diventa importante per riuscire a sfruttare al meglio un'altra caratteristica importante di ogni strumento ottico, occhio compreso: il potere risolutivo.

Il potere risolutivo è la capacità che ogni strumento ha di mostrare separati due oggetti molto vicini tra di loro, e arbitrariamente lontani dall'osservatore. Il potere risolutivo si misura in gradi, o meglio suoi sottomultipli, come il minuto d'arco (simbolo ' ) e il secondo d'arco (simbolo "). Un grado è composto da 60 minuti (') e 3600 secondi ("), proprio come le ore. Il potere risolutivo, di solito espresso in secondi d'arco per gli strumenti ottici, indica la minima distanza angolare alla quale due oggetti mi appaiono ancora separati. Esso non dipende quindi direttamente dall'ingrandimento, ma come adesso andremo a vedere, l'ingrandimento è solo il mezzo che permette all'occhio umano di raggiungere il limite dello strumento.

Il potere risolutivo di qualsiasi sistema ottico è determinato dalle leggi della diffrazione; in parole semplici, la luce non si comporta come un flusso di particelle, piuttosto come un'onda, in modo simile alle onde del mare. Le onde, quando provengono da sorgenti puntiformi come le stelle e attraversano delle aperture relativamente piccole, producono in modo visibile un fenomeno, detto diffrazione, che si manifesta come la presenza sul piano focale dello strumento di una macchia di un certo diametro apparente, circondata da anelli deboli, invece di un'immagine puntiforme della sorgente. La figura di diffrazione prodotta da un'apertura circolare, in particolare la macchia bianca centrale, è chiamata disco di Airy; il suo diametro non dipende più dalla sorgente, supposta puntiforme, ma direttamente dal diametro dello strumento: **la figura di Airy non ha niente a che fare con la forma della sorgente**. Il diametro del disco dipende dal diametro dello strumento e dalla lunghezza d'onda alla quale si osserva, secondo la relazione:  $d = 2,44 \frac{\lambda}{D}$ , dove  $\lambda$  = lunghezza d'onda di osservazione e  $D$  = diametro dell'obiettivo del telescopio; ogni strumento, a prescindere dall'ingrandimento, mostra un certo diametro apparente del disco di Airy, che può essere considerato come il minimo diametro apparente individuabile dallo strumento.

Due oggetti, come due stelle doppie, saranno viste come due entità distinte solamente se la loro separazione angolare è pari almeno al diametro del disco di Airy, o al limite se la distanza tra i due centri di diffrazione sarà pari al raggio del disco di Airy (criterio di Rayleigh; potere risolutivo =  $1,22 \frac{\lambda}{D}$ ). Al di sotto di questa distanza angolare, le due stelle saranno viste come un'unica entità.



A sinistra: Figura di diffrazione con il disco di Airy

A destra: immagine al limite del potere risolutivo secondo Rayleigh

## **L'ingrandimento e la sua funzione**

A cosa serve l'ingrandimento di un telescopio allora? Per capire la funzione dell'ingrandimento, che è una quantità strettamente legata alla visione dell'occhio, dobbiamo analizzare ancora una volta il suo comportamento.

La risoluzione di un occhio umano può essere in prima approssimazione calcolata con la formula ottenuta per calcolare il disco di Airy degli strumenti ottici; introducendo un valore per il diametro della pupilla di 0,8 cm, otteniamo un potere risolutivo, per la lunghezza d'onda della luce visibile, pari a circa 15". Questo è il valore teorico; sfortunatamente il nostro occhio non raggiunge una tale elevata risoluzione, per due motivi:

- a) Il cristallino dell'occhio umano non è un'ottica perfetta, ma presenta dei piccoli difetti, chiamati aberrazioni, che producono un calo della risoluzione, soprattutto di notte, quando la pupilla è completamente dilatata
- b) I ricettori degli occhi sono i coni e i bastoncelli; sfortunatamente non sono abbastanza fitti da permettere di raggiungere una risoluzione elevata, a prescindere dalle aberrazioni, ma consentono di sfruttare solamente metà della risoluzione teorica di giorno (visione fotopica, con i coni, in numero maggiore rispetto ai bastoncelli), e di ridurre ancora la risoluzione dell'occhio di notte (visione scotopica, con i bastoncelli).

Il risultato è che per un occhio umano perfetto, la risoluzione di notte, a pupilla dilatata, arriva al massimo a 180" cioè 3', contro i 15" teorici! Di giorno, nonostante il diametro della pupilla sia inferiore, le aberrazioni si possono trascurare ed essa è determinata dalla densità dei ricettori dell'occhio e vale circa 50-60", la metà di quella teorica.

Perché se l'occhio, almeno di giorno, ha una risoluzione potenziale di almeno 35", la natura l'ha limitata alla metà?

Una risposta possibile, almeno dal punto di vista puramente pratico, può essere questa: se noi avessimo potuto sfruttare la massima risoluzione, avremmo visto gli oggetti più piccoli circondati dalla figura di diffrazione, una visione insomma più dettagliata, ma anche più fastidiosa. Pensate di riuscire a vedere i singoli archi di diffrazione attorno a tutti gli oggetti: sarebbe davvero un bel fastidio! Riducendo della metà la risoluzione, abbiamo una visione meno dettagliata ma incredibilmente più incisa, nitida e pura!

Sotto questo punto di vista possiamo considerare questo comportamento dell'occhio come un vero e proprio regalo della Natura!

Di notte un occhio umano non può vedere dettagli sotto i 3 minuti d'arco; uno strumento ottico, capace di mostrare oggetti di 1 minuto d'arco, è però perfettamente inutile se non ingrandisce tale valore in modo da essere visibile all'occhio umano. Se usiamo un telescopio in grado di separare due stelle di 1', dobbiamo fare sì che questa separazione possa essere effettivamente vista dall'occhio, e per fare questo dobbiamo ingrandire l'immagine almeno di 3 volte; in questo caso, la separazione di 1' diventa, all'oculare del telescopio, ingrandita 3 volte e cioè ci appare come un oggetto grande 3', perfettamente visibile. Analogamente, per vedere un dettaglio di 10", occorre sia uno strumento dal diametro dell'obiettivo abbastanza grande da produrre un disco di Airy minore di tale valore, e cioè di almeno 28 mm di diametro, sia un fattore d'ingrandimento capace di rendere visibile all'occhio tale dettaglio, e cioè almeno 18 volte (che si scrive 18X e si legge 18 per), che è il fattore per il quale bisogna ingrandire 10" affinché appaiano come 180". È chiaro che questi valori rappresentano l'ingrandimento minimo affinché quel dettaglio sia visibile; per una visione comoda, anche per chi non ha un occhio perfetto, una regola empirica afferma che sarebbe meglio adottare un ingrandimento doppio rispetto a quello minimo necessario per mostrare un certo dettaglio; così per vedere due stelle doppie separate da 10" sono sufficienti 18 ingrandimenti, ma per una visione comoda ne sono consigliati almeno 36. Se si vogliono vedere dettagli più piccoli, occorre aumentare l'ingrandimento, ma non oltre un certo limite.

Ricordiamo infatti che l'ingrandimento è il mezzo con cui mostriamo all'occhio tutto il potere risolutivo dello strumento, il quale dipende unicamente dal suo diametro. Ingrandendo l'immagine

non aumento il potere risolutivo ma cerco solo di sfruttarlo al massimo in quanto esso è già univocamente determinato.

Inoltre, il calcolo empirico che abbiamo appena eseguito prende in considerazione il diametro del disco di Airy e non il potere risolutivo, che è la metà (criterio di Rayleigh).

Per un calcolo più veritiero, consideriamo allora un altro esempio.

Prendiamo un telescopio da 120mm di diametro, il cui potere risolutivo teorico si può calcolare anche con un'altra formula, oltre quella di Rayleigh, detta formula di Dawes ( $PR = \frac{115}{D}$ ) per la luce

visibile; esso è circa uguale ad 1", e questo rappresenta la separazione minima tra due dettagli. Affinché il mio occhio sia in grado di vedere tutto il potere risolutivo, è necessario ingrandire l'immagine di almeno 180 volte; questo è il valore per "trasformare" 1" nei 180" necessari all'occhio umano. Per avere una visione ottimale è meglio raddoppiare questo valore, portandolo a 360 volte, cioè circa 3 volte il diametro dello strumento, espresso in mm. A questo ingrandimento sono capace di vedere bene dettagli da 1", che essendo al limite di risoluzione, si mostreranno con gli anelli di diffrazione; le stelle in particolare mostreranno il disco di Airy.

Se continuo ad ingrandire non otterrò un miglioramento della risoluzione perché l'ho già sfruttata tutta al massimo; ingrandendo l'unica cosa che ottengo è un allargamento del disco di Airy, il quale mantiene sempre la stessa forma e lo stesso diametro angolare, ma la cui luce si sparpaglia ora su una maggiore superficie.

Siccome l'energia che ci giunge dalla stella, e che viene poi raccolta dal telescopio, è la stessa, ma la superficie del disco di Airy cresce a causa dell'ingrandimento eccessivo, ne consegue che la luminosità globale cala perché ora la stessa quantità di luce si sparpaglia su una superficie molto maggiore. Oltre ad un brusco calo di luminosità, si osserva anche una sfocatura dell'immagine, causata dal fatto che il più piccolo dettaglio che può mostrarci lo strumento è molto più grande del più piccolo dettaglio percepibile dall'occhio. L'effetto è del tutto simile a quando si visualizza un'immagine sul computer; se cominciamo ad ingrandire, la vedremo nitida fino a quando le dimensioni del più piccolo dettaglio visibile non diventano almeno 3 volte maggiori (angolarmente) della risoluzione del nostro occhio. La risoluzione dell'immagine non varia, ma varia la nostra percezione, che si fa sfocata.

Con questi esempi abbiamo imparato che la potenza di ogni sistema ottico, dal nostro occhio ai più potenti telescopi, dipende solamente dal diametro dell'obiettivo, sia esso costituito da lenti o specchi o entrambi. Il diametro determina quanta energia luminosa può catturare ogni secondo lo strumento e quanto piccola può essere la distanza angolare tra due oggetti che appaiono separati. L'ingrandimento è solo il mezzo con il quale mostrare all'occhio umano tutto il potere risolutivo che ogni strumento possiede; quest'ultimo è fissato dalle leggi della diffrazione e non può essere modificato.

Queste considerazioni valgono dal punto di vista teorico, per ottiche perfette e condizioni di cielo eccellenti; nella pratica, soprattutto per strumenti economici come quelli degli astrofili e per normali siti osservativi, ci sono altre variabili da considerare quando si cerca di determinare la potenza di uno strumento.

Riuscire ad osservare oggetti deboli dipende criticamente anche dalle condizioni del cielo, in particolare da quanto esso sia scuro.

La presenza di luci artificiali costituisce il cosiddetto inquinamento luminoso, una vera e propria fonte di disturbo per tutte le osservazioni astronomiche; analogamente a quanto accade durante una notte di luna piena, quando il cielo è più luminoso e si vedono nettamente molte meno stelle, soprattutto nelle vicinanze del nostro satellite, così le luci della città rischiarano il cielo e rendono molto difficili da osservare le stelle. L'inquinamento luminoso è una realtà molto forte nelle medie e grandi città, ma il fenomeno sta ormai abbracciando quasi completamente l'intera penisola; non basta infatti non osservare dalle città, ma è fondamentale che ci si trovi a molti Km dalle più potenti sorgenti di luce.

Un cielo scuro è importante quanto, se non più, di un telescopio; avere uno strumento dal grande diametro ed usarlo in città, significa non sfruttare neanche il 10% delle sue potenzialità; con uno strumento dal diametro inferiore di 2-3 volte, da un cielo scuro, si possono avere visioni nettamente migliori!

Se abitate in prossimità di una grande città, dovete purtroppo fare i conti con questa amara verità: qualunque sia il vostro strumento, non arriverete mai a vedere oggetti deboli al limite delle sue potenzialità.

Fortunatamente però, il potere risolutivo non è influenzato dall'inquinamento luminoso, e quindi, almeno in linea di principio, dalla città si potrebbero fare delle osservazioni che prediligano il potere risolutivo alla profondità.

Le osservazioni in alta risoluzione riguardano tutti i maggiori pianeti del sistema solare, compresa la Luna e il Sole (ma con un filtro!) e qualche luminosa stella doppia.

Questi oggetti sono abbastanza luminosi da essere agevolmente osservati anche dal centro delle grandi metropoli, e ciò che si richiede è solamente un grande potere risolutivo, per poter cogliere maggiori dettagli sui loro dischi.

Il potere risolutivo, sebbene non sia influenzato dall'inquinamento luminoso, dipende criticamente da altre due variabili che non abbiamo considerato:

**1) La qualità delle ottiche:** solamente le ottiche lavorate alla perfezione possono effettivamente raggiungere il potere risolutivo dato dalla diffrazione della luce e dalla formula di Dawes; purtroppo effettuare una tale lavorazione richiede molto tempo, macchinari precisissimi, persone capaci e quindi tanto denaro. Una lavorazione artigianale di uno specchio dal medio diametro (20-25 cm) può richiedere oltre 100 ore di lavoro, e questo significa un costo molto elevato. La produzione commerciale ormai si effettua in serie automaticamente e questo ha permesso di abbattere i costi che comunque rimangono ancora molto elevati se paragonati ad altre passioni come la fotografia. La qualità di un'ottica si misura in base alla precisione con la quale è stata lavorata, in frazioni di lunghezza d'onda (che quasi sempre è quella di picco dell'occhio a 550 nm). Un'ottica, per avere un comportamento perfetto, deve essere lavorata con una precisione di 1/20 della lunghezza d'onda alla quale si faranno le osservazioni. Questo significa che un'ottica perfetta deve essere lavorata con una precisione di circa 30 miliardesimi di metro!! Le ottiche commerciali di serie di fascia medio-bassa non raggiungono questi valori di precisione; spesso ci si deve accontentare di un più modesto di 1/4-1/8 di lunghezza d'onda, valore minore del precedente, ma in grado di dare risultati molto vicini alla perfezione. Quando un'ottica nel suo complesso non è lavorata in modo appropriato, può manifestare dei difetti ottici, chiamati aberrazioni. Le aberrazioni possono essere causate da difetti di lavorazione/progettazione/messa a punto o possono essere il naturale risultato delle leggi dell'ottica. Tratteremo in dettaglio questo argomento in altre pagine, per ora ci limitiamo a considerare tali difetti solamente nella stima della potenza di uno strumento ottico. Quando la lavorazione degli obiettivi o la configurazione utilizzata producono delle aberrazioni, queste influiscono negativamente sul potere risolutivo e spesso impediscono di raggiungere quello teorico per tale diametro strumentale. Cosa significa il discorso appena fatto? Significa che in astronomia bisogna fare molta attenzione alla qualità degli strumenti che si comprano; in altre parole state attenti ai prezzi, perché in questo campo la qualità si paga e molto. Se uno strumento di qualità mediocre costa poniamo 1, lo stesso strumento, ma di qualità ottima, può costare 5-6 anche 10 volte di più! Se volete acquistare uno strumento non date fiducia ad inserzioni apparentemente vantaggiose che propongono telescopi a prezzi stracciati; nella totalità dei casi si tratta di giocattoli mal riusciti, che non servono a nulla e ben presto vi faranno perdere la vostra passione. Meglio accontentarsi di uno strumento meno potente ma di ottima qualità che di uno potente in apparenza (leggi dal maggiore diametro dell'obiettivo) ma di scarsa qualità ottica.

**La turbolenza atmosferica:** la nostra atmosfera si comporta alla stregua di un liquido in continuo movimento, e come tale produce distorsioni delle immagini provenienti dagli oggetti dello spazio.

La turbolenza atmosferica limita fortemente la risoluzione raggiungibile, a prescindere dal tipo e qualità dello strumento, ed è difficile da combattere, poiché si origina spesso negli strati superiori della troposfera, a circa 12 Km di quota, nei quali si sviluppano forti venti, chiamati jet-stream. L'astronomo amatoriale può lavorare per attenuare la turbolenza di origine locale, quella che si crea dai tetti caldi di case o strade, o da un non perfetto equilibrio termico del telescopio. Limitare le fonti locali di turbolenza può aiutare molto a sfruttare quelle poche serate (tipicamente 15-20 l'anno) nelle quali la turbolenza di origine troposferica è minima (generalmente quanto i jet-stream hanno basse velocità).