

Dispense del corso

«Come si Osserva il Cielo»

Gli Strumenti Ottici



Accademia delle Stelle

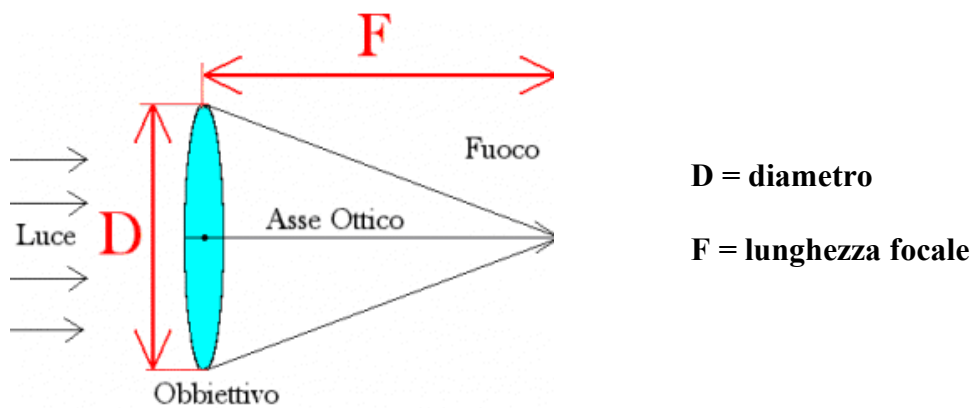
DISPENSE AD USO DEGLI ISCRITTI DEL CORSO DI ASTRONOMIA “COME SI OSSERVA IL CIELO”
DELL’ACCADEMIA DELLE STELLE. AUTORE: **PAOLO COLONA**.
NE È VIETATA LA RIPRODUZIONE, ANCHE PARZIALE E CON QUALSIASI MEZZO

COSA È E COME FUNZIONA UN TELESCOPIO ASTRONOMICO

Si sente spesso affermare che il telescopio serve per "**ingrandire**" o "**avvicinare**" le cose lontane, in realtà la caratteristica fondamentale del telescopio non è questa. Scriveva Wolfgang Schroeder nel suo celebre "Astronomia Pratica" (Longanesi & C. 1967): "È facilissimo costruire un telescopio che ingrandisca 100 volte senza mostrare un solo particolare di più di quelli osservabili ad occhio nudo". La capacità principale del telescopio è quella di raccogliere più luce e risolvere dettagli più fini di quanto possa fare l'occhio umano.

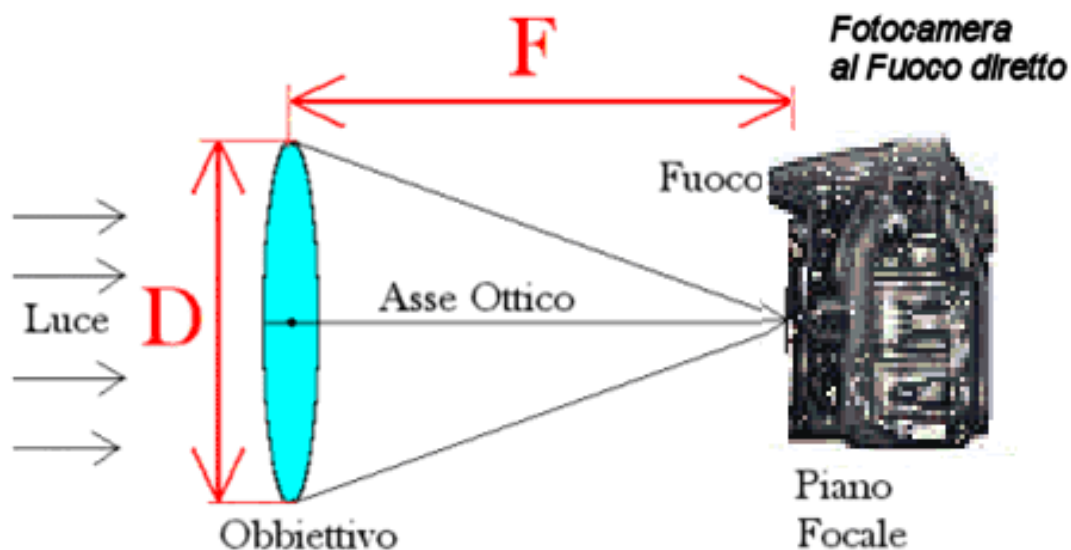
L'occhio raccoglie la luce che passa attraverso la pupilla, la quale, alla sua massima apertura, ha un diametro tra i 5 ed i 7 millimetri a seconda delle persone e delle età (la dilatazione è maggiore nei giovani). L'elemento ottico che in un telescopio raccoglie la luce (l'obbiettivo) può invece essere molto più grande e raccogliere quindi molta più luce di un occhio umano, rendendo visibili sorgenti debolissime. Il punto in cui l'obbiettivo concentra la luce raccolta è chiamato fuoco.

Quello che segue è lo schema essenziale delle due caratteristiche essenziali del telescopio: il diametro dell'obbiettivo D e la distanza tra esso e il fuoco, detta **lunghezza focale** F .

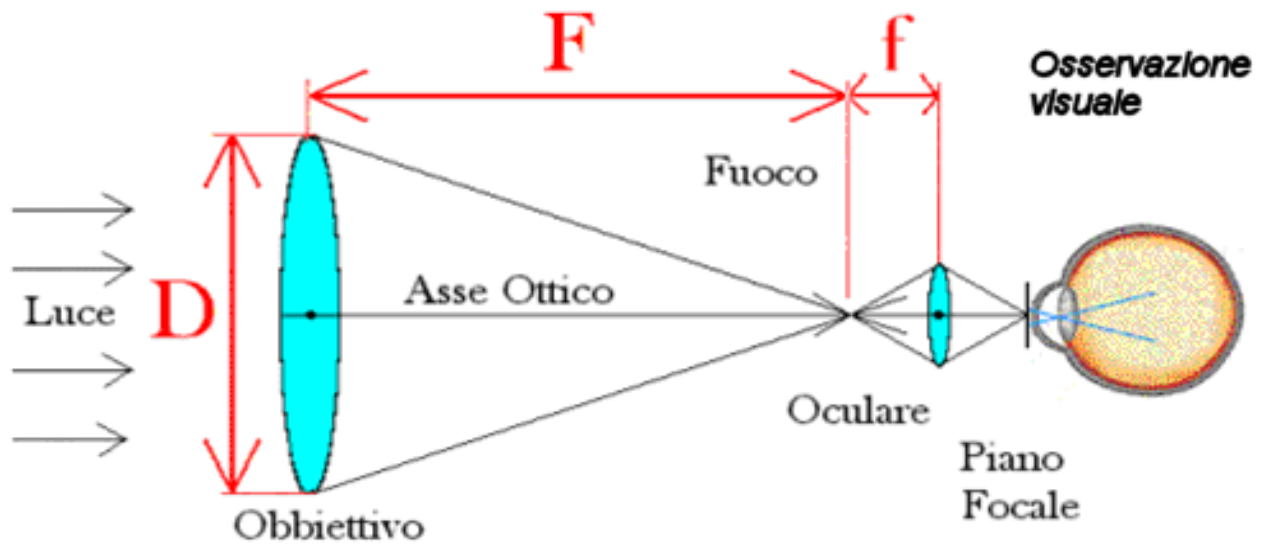


Modi d'utilizzo di un telescopio

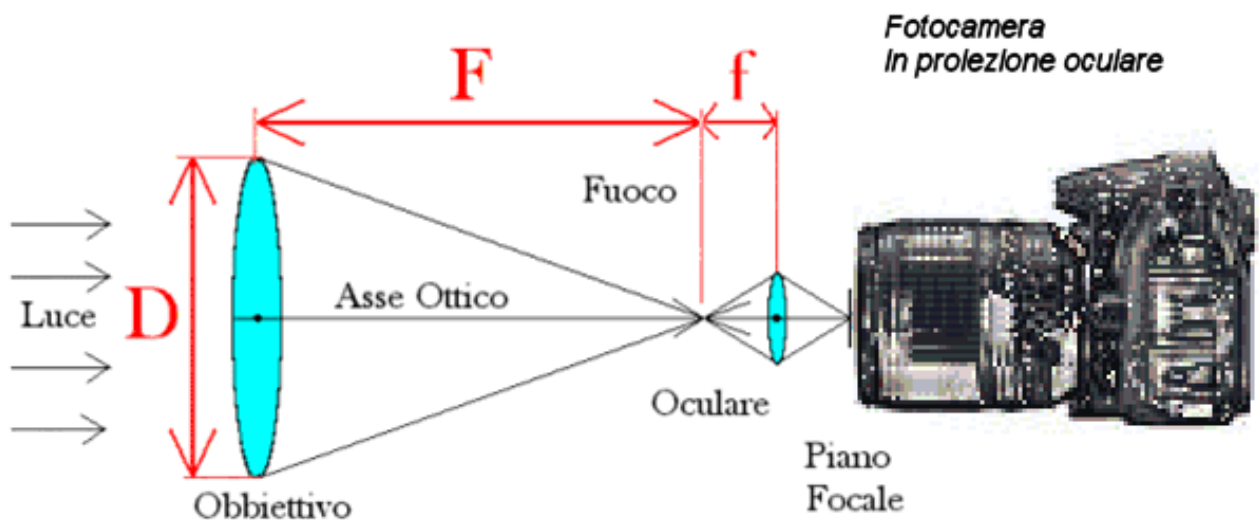
Il telescopio è equivalente ad un obbiettivo fotografico: per poterlo sfruttare in tal modo è possibile applicare una fotocamera senza obbiettivo al fuoco del telescopio. Con questa configurazione si fa la cosiddetta fotografia a **fuoco diretto**:



Per l'utilizzo visuale, al telescopio si aggiunge un altro gruppo ottico, chiamato **oculare**:



Infine è anche possibile avvicinare una macchina fotografica completa di obiettivo (ad esempio quella del proprio cellulare) all'oculare del telescopio per fare fotografie con la tecnica detta della **proiezione con oculare**, o **metodo afocale**, molto semplice, ed utile per veloci fotografie ad oggetti celesti luminosi come Luna e pianeti:

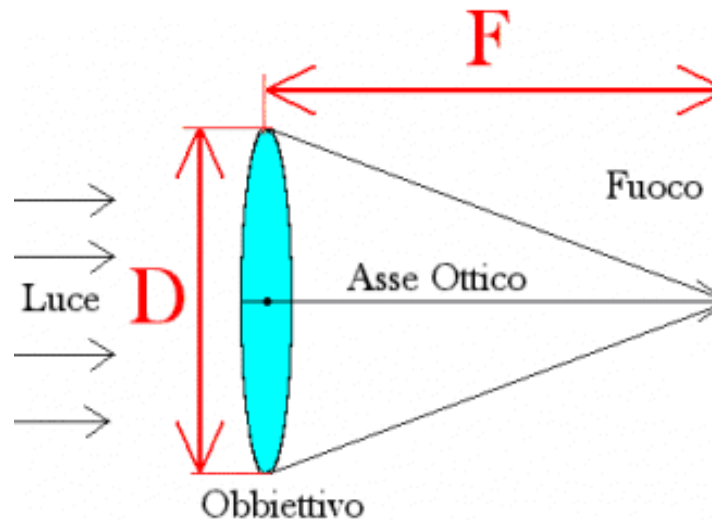


Caratteristiche di base dei telescopi: diametro e lunghezza focale

Gli elementi che caratterizzano il tubo ottico di un telescopio sono essenzialmente due: il *diametro dell'obbiettivo*, **D**, e la sua *lunghezza focale*, **F** che è la lunghezza del percorso che compie la luce prima di essere concentrata nel punto di fuoco. Tali misure sono comunemente espresse in millimetri.

Conoscendo queste due grandezze possiamo facilmente farci un'idea delle potenzialità di un telescopio poiché da esse dipende la quasi totalità delle sue prestazioni.

In particolare, dal diametro dipende sia la capacità di vedere sorgenti molto deboli, sia di distinguere dettagli molto piccoli (risoluzione angolare).



Il Rapporto focale $f = F/D$

Il Rapporto focale, spesso indicato con f , è dato dal rapporto tra lunghezza focale e diametro obbiettivo = F/D

Ad esempio un telescopio con una lunghezza focale di 1000 mm ed un diametro obbiettivo di 200 mm ha un rapporto focale $f/5$ mentre il rapporto focale di un telescopio con focale di 2000 mm ed un diametro di 200 mm è $f/10$.

Questa grandezza ha il massimo interesse in astrofotografia: più basso è il rapporto focale e minore sarà il tempo di esposizione necessario per la fotografia. Dimezzando il rapporto focale, il tempo si riduce ad un quarto! Quindi il rapporto focale è un indice della *luminosità fotografica* di un telescopio, ovvero la sua "velocità" in astrofotografia.

Nelle applicazioni visuali il rapporto focale non è così importante. Lo sono molto di più il diametro e la focale presi a sé. Resta tendenzialmente vero, però, che un telescopio di basso rapporto focale sarà più frequentemente adatto a osservazioni a bassi ingrandimenti di oggetti deboli ed estesi mentre un rapporto focale alto favorisce maggiormente l'osservazione ad alto ingrandimento di oggetti luminosi come stelle doppie o pianeti.

Il Potere Risolutivo $Pr'' = 120/D$

È la capacità di distinguere i dettagli più piccoli. In astronomia molti oggetti sono piccoli (dischi planetari, crateri lunari, stelle doppie, eccetera), per cui il *potere di risoluzione*, o di *separazione* è molto importante. Dalla semplice formula $Pr'' = 120/D$ si ricava che un telescopio di 120mm di diametro riuscirà in teoria a risolvere due stelle identiche separate da 1'' (un secondo d'arco, la sessantesima parte di 1', un primo, a sua volta la sessantesima parte di 1°, un grado). Raddoppiando il diametro si dimezza l'angolo minimo di separazione.

La formula $Pr'' = 120/D$ è una semplificazione della formula più rigorosa $R = 1.22 \lambda/D$, dove λ è la lunghezza d'onda alla quale si osserva, e la risoluzione è espressa in radianti (1 rad = 57,296°).

La possibilità di sfruttare il potere risolutivo di uno strumento dipende da due fattori: qualità ottica e *seeing*: un'atmosfera agitata, con stelle scintillanti, non permetterà di raggiungere la risoluzione massima.

L'ingrandimento $I = F/F_o$

L'immagine che si forma al fuoco di un telescopio è molto piccola, il diametro dell'immagine della Luna inquadrata in un telescopio da 1000 mm di lunghezza focale è di circa 9 mm.

Per ingrandirla e renderla leggibile all'occhio umano, serve un elemento ottico positivo detto lente oculare o, più semplicemente, **oculare**.

La caratteristica principale dell'oculare è la sua lunghezza focale, infatti da essa dipende l'ingrandimento dell'immagine: minore è la focale, maggiore è l'ingrandimento, secondo la formula $I = F/F_o$ (focale del telescopio / focale dell'oculare). Per esempio, con un telescopio con focale di 1000 mm avremo 25 ingrandimenti se usiamo un oculare da 40mm, 100x usando un oculare da 10mm e 250x con un oculare da 4mm.

L'ingrandimento non può crescere a piacere: esiste un limite pratico. Il massimo ingrandimento utile di un telescopio equivale normalmente al doppio del diametro dell'obbiettivo espresso in millimetri: oltre questa soglia solitamente non ha senso spingersi perché non si mostrerà nessun dettaglio in più e, anzi, l'immagine tenderà a degradarsi. Pertanto, nel caso di un obbiettivo con 150 mm di diametro l'ingrandimento massimo è di circa 300 volte. Solo telescopi con ottiche eccellenti permettono di sfruttare ingrandimenti pari a 3D o più. In ogni caso raramente la turbolenza atmosferica consentirà di sfruttare con profitto ingrandimenti superiori a 400 o 500 volte anche nelle notti con migliore stabilità atmosferica.

Bisogna anche ricordare che, salendo con gli ingrandimenti, la luminosità dell'immagine diminuisce (diventa $\frac{1}{4}$ raddoppiando gli ingrandimenti). Per questo motivo la maggior parte degli oggetti deboli si osserva ad ingrandimenti bassi o medi, riservando i poteri più spinti per oggetti luminosi come Luna e pianeti.

La pupilla d'uscita $P_u = D/I$

Il diametro del cerchio di piena luce che si forma all'oculare, e attraverso la quale passa tutta la luce raccolta dall'obbiettivo del telescopio, si chiama *pupilla d'uscita*. Le sue dimensioni sono date dalla formula $P_u = D/I$ (Diametro obbiettivo/Ingrandimento). Questa informazione è fondamentale perché la pupilla umana ha, al massimo, un diametro di circa 6 o 7 mm, pertanto, se la pupilla d'uscita è più grande di 7 mm, parte della luce raccolta dall'obbiettivo andrà sprecata. Sarà quindi illusorio, a quel punto, scendere con gli ingrandimenti per guadagnare in luminosità. Il concetto è altrettanto importante per i binocoli: tutti tendono a offrire una pupilla d'uscita simile o inferiore a 7 mm (si pensi ai classici 7x50, 8x50, 10x50, con pupille d'uscita rispettivamente di 7,1, 6,2 e 5 millimetri).

La magnitudine limite visuale

La magnitudine stellare più alta (luminosità più bassa) raggiungibile con un telescopio dipende da molti fattori, ma, per averne comunque un valore indicativo, attorno al 1940 è stata sviluppata la formula:

$$m_{lim} = 6,8 + 5 \log(D_{mm})$$

Come si vede, la magnitudine limite dipende dal diametro dell'obbiettivo. Più recentemente, grazie al perfezionamento delle lavorazioni ottiche e dei trattamenti riflettenti ed antiriflesso, tale regola appare leggermente conservativa, per cui ne è stata sviluppata un'altra (nella quale "mo" è la magnitudine massima visibile ad occhio nudo):

$$m_{lim} = m_o - 2 + 4,4 \log(D_{mm})$$

Ricordiamo comunque che queste formule danno risultati corretti ma sempre solo orientativi.

La massima magnitudine raggiungibile dipende, infatti anche da altre circostanze, tra le quali: la bontà del cielo e l'altezza sull'orizzonte dell'oggetto da osservare, la qualità dello strumento,

l'ingrandimento utilizzato (che deve essere medio-alto per vedere le stelle più deboli), l'acuità visiva e l'esperienza dell'osservatore (un osservatore migliora le proprie prestazioni con l'esercizio).

In particolare, considerando il complessivo grave deterioramento del cielo in Italia, orientativamente si può sottrarre mezza o una magnitudine dal risultato di queste formule per avere la magnitudine limite effettiva.

Va infine ricordato che sugli oggetti "estesi" (come nebulose, galassie, eccetera) la magnitudine limite di uno strumento scende di una, due o anche tre unità in quanto la loro luce è diffusa su un'area più grande e ciò ne fa diminuire il contrasto rispetto al fondo cielo.

La seguente tabella riporta la magnitudine limite stellare visibile in un telescopio secondo le due formule indicate sopra:

	Formula classica m _{lim} = 6,8 + 5 logD(cm) m _{lim} = 1,8 + 5 logD(mm)	Nuova formula m _{lim} = m _o -2+4,4 logD(mm)	
Diametro obiettivo (cm)	magnitudine limite	magnitudine limite	media:
<i>0 = occhio nudo</i>	6	6	6
6	10,69	11,82	11,3
9	11,57	12,6	12,1
10	11,8	12,8	12,3
12	12,2	13,15	12,7
13	12,37	13,3	12,8
15	12,68	13,57	13,1
18	13,08	13,92	13,5
20	13,31	14,12	13,7
25	13,79	14,55	14,2
30	14,19	14,9	14,5
40	14,81	15,45	15,1

OCULARI¹

Campo Apparente,

Parlando dell'ingrandimento, abbiamo citato la lunghezza focale degli oculari. Altro elemento fondamentale che caratterizza questo accessorio è il *Campo Apparente*, espresso in gradi, che si riferisce alle dimensioni angolari del campo visibile all'interno dell'oculare (anche quando non è montato sul telescopio)

Estrazione pupillare

L'*Estrazione Pupillare* indica la distanza in mm fra l'ultima lente dell'oculare e il piano focale (dove si mette l'occhio), e dipende dallo schema costruttivo dell'oculare.

Se l'estrazione pupillare è solo di pochi mm si arriverà a toccare l'oculare con le ciglia. Un'estrazione pupillare di 15 o 20 mm permette invece una comoda osservazione. Con estrazioni pupillari simili si potrà osservare comodamente anche indossando gli occhiali.

¹ Vedi anche il secondo capitolo del quarto volume, dedicato agli oculari.

Campo Reale

È l'area di cielo *effettivamente* inquadrata dal telescopio ed è un parametro importante in fase di osservazione. Lo si calcola facilmente dividendo il campo apparente dell'oculare per gli ingrandimenti:

$$Cr = Ca/I$$

Se un oculare con 50° di campo apparente dà 100 ingrandimenti, fornirà un campo reale di 0,5°, ovvero di mezzo grado. La dimensione angolare della Luna è proprio di mezzo grado quindi in queste condizioni l'immagine della Luna occuperà tutto il campo inquadrato. Sono stati sviluppati oculari super grandangolari, che raggiungono campi apparenti fino a 100° e oltre, che portano a campi reali altrettanto maggiorati.

Il potere risolutivo del telescopio: un approfondimento.

Una sorgente puntiforme (ad esempio una stella) osservata al telescopio non appare come un punto ma come un minuscolo **disco** circondato da deboli **anelli** (che prendono rispettivamente il nome di **Airy** e di **Bessel** dagli scienziati che li indagarono). Il disco di Airy ha le dimensioni angolari date proprio dalla formula che indica il potere risolutivo del telescopio ($120/D$).

La causa profonda di questa immagine spuria è l'interazione tra la luce e il bordo circolare dell'obbiettivo e ne è un effetto inevitabile.

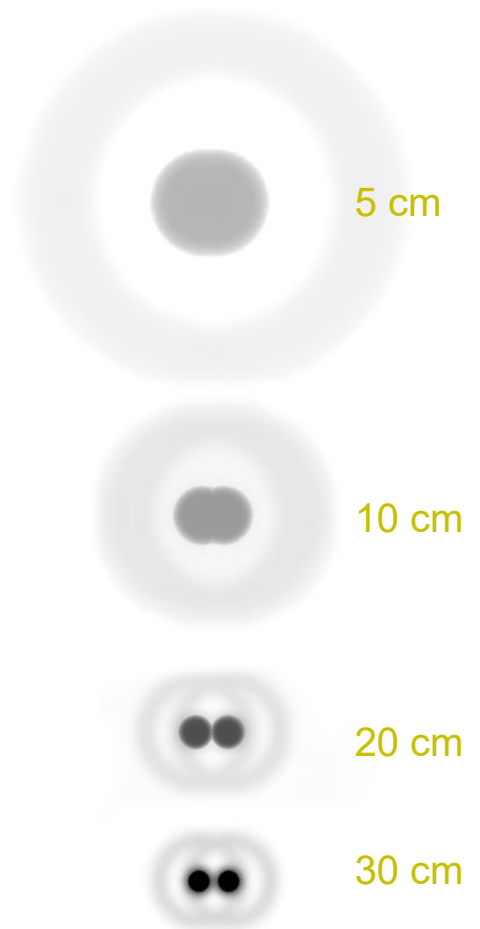
È questa la causa del limite di risoluzione del telescopio: in pratica non si possono scorgere dettagli più piccoli del disco di Airy.

Tale disco, come si evince appunto dalla formula $120/D$, si rimpicciolisce con l'aumentare del diametro del telescopio. Per questo motivo gli strumenti più grandi riescono a vedere dettagli più piccoli.

Nella grafica a destra è rappresentata l'immagine di una ipotetica stella doppia formata da due stelle identiche separate da 0,8" così come appare in telescopi di diverso diametro (indicato a lato, in centimetri) *utilizzati allo stesso ingrandimento*.

Come si vede, man mano che il diametro dello strumento cresce, il disco di Airy si rimpicciolisce e le due stelle appaiono più chiaramente separate.

Nella grafica è anche suggerita la variazione di luminosità della stella, che appare molto più luminosa e marcata in un telescopio da 30 cm che non in uno da 5.



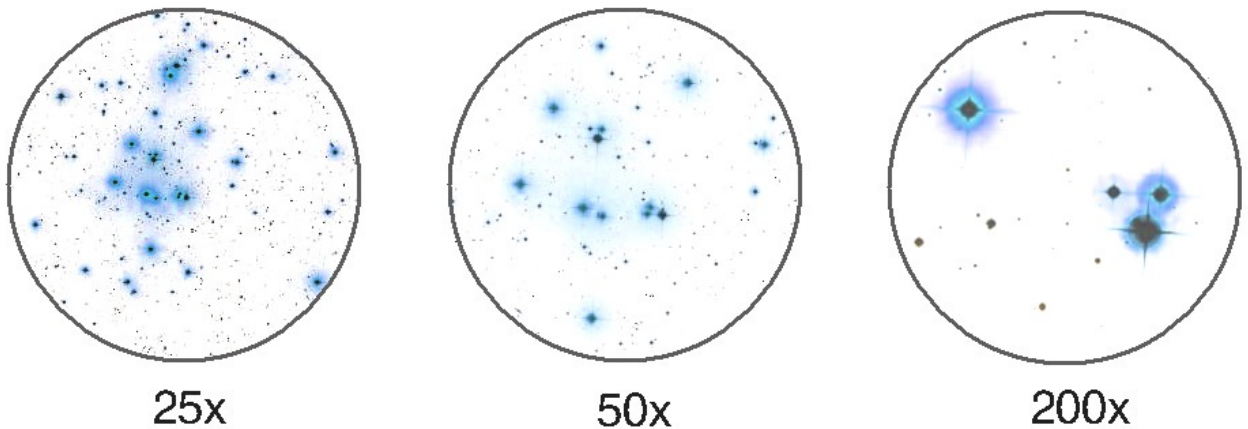
Effetti dell'ingrandimento



La grafica dà un'idea di come varia l'immagine con l'aumento dell'ingrandimento. Simulazione creata per un telescopio di 15cm.

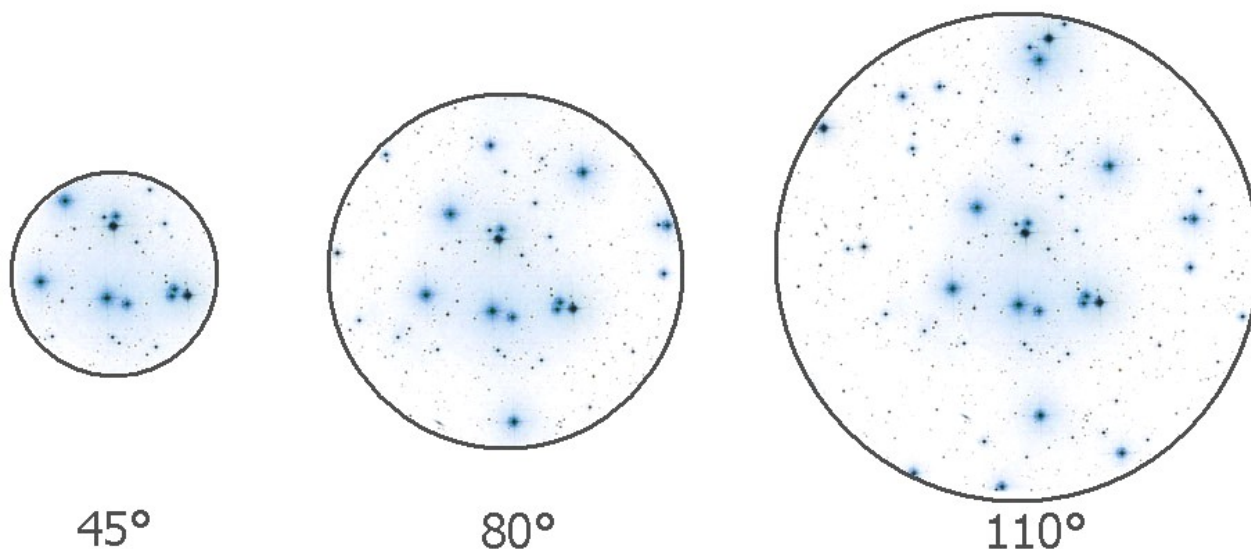
A 50x l'immagine è netta e stagliata, luminosa e molto appagante alla vista, ma è troppo piccola perché si riescano a leggere tutti i dettagli. A 250x il pianeta perde di luminosità (la luminosità superficiale cala con il quadrato degli ingrandimenti), appare meno netto e sono evidenti anche gli effetti deleteri della turbolenza dell'aria, tuttavia vi si scorgono tutti i dettagli che il telescopio è in grado di mostrare. Superando il valore di soglia dell'ingrandimento massimo (dato orientativamente dal doppio del diametro espresso in millimetri, quindi in questo caso $150 \times 2 = 300$ ingrandimenti), non si ha alcun vantaggio e l'immagine, indebolita, si sgrana e appare confusa, con meno dettagli.

Campo apparente dell'oculare e campo reale del telescopio



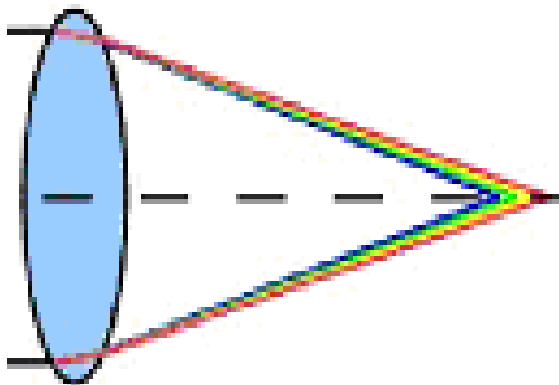
Un ammasso stellare (M44) osservato a diversi ingrandimenti (*con oculari con identico campo apparente*). È evidente che, ingrandendo un particolare, la porzione di cielo visibile nel campo dell'oculare si riduce. Se si vuole osservare un oggetto esteso, quindi, è necessario ridurre gli ingrandimenti. Alcuni oggetti sono così grandi che sono meglio visibili in un binocolo che non in un telescopio. L'ingrandimento minimo è anche consigliabile quando si intende puntare un oggetto muovendo il telescopio a mano: il campo più ampio rende più facile trovarlo in cielo.





Un ammasso stellare (M44) osservato *allo stesso ingrandimento*, ma con oculari dal diverso campo apparente (indicato sotto ciascuna immagine, in gradi). Si vede bene che il campo reale del telescopio (la porzione di cielo effettivamente inquadrato nel campo di vista) aumenta con il campo apparente dell'oculare confermando la proporzionalità tra campo reale del telescopio e campo apparente dell'oculare (formula: $C_r = C_a / I$). Vedendo questa grafica si può comprendere come mai oculari con grandi campi apparenti vengano venduti a caro prezzo (equivalente talvolta a quello di un intero telescopio!)

GLI SCHEMI OTTICI DEI TELESCOPI

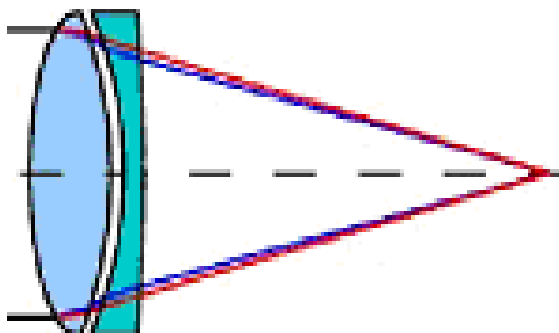


I telescopi, dal punto di vista costruttivo, si dividono in tre grandi "famiglie": **Rifrattori**, **Riflettori** e **Catadiottrici**, ovvero basati solo su lenti, solo su specchi, o su entrambi gli elementi ottici.

Nei Rifrattori (il classico *cannocchiale*) la luce passa attraverso un mezzo trasparente (la lente obbiettivo), viene *rifratta* e concentrata nel punto di fuoco.

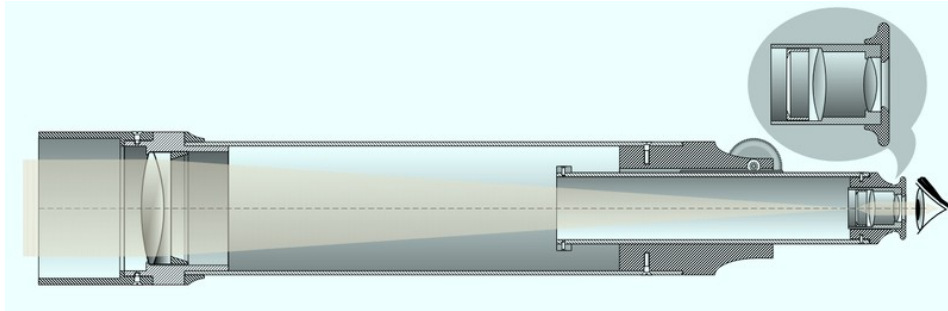
Una lente singola non riesce a focalizzare tutte le lunghezze d'onda nello stesso punto: la luce blu viene rifratta di più e quindi messa a fuoco prima di quella rossa. Questo fenomeno, noto come *aberrazione cromatica*, fa vedere immagini con un vistoso alone colorato che ne diminuisce il contrasto e la nitidezza. Oggi non esistono telescopi astronomici il cui obbiettivo sia costituito da solo una lente semplice.

Il Rifrattore Acromatico



Per ridurre l'aberrazione cromatica si utilizzano, dalla metà del '700, obbiettivi con due lenti di vetri differenti (*Flint* e *Crown*) con diversi indici

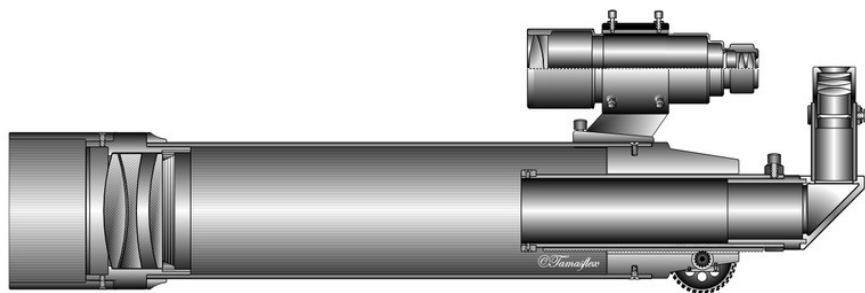
di rifrazione e dispersione. In questo modo si riescono a mettere a fuoco nello stesso punto due colori differenti, tipicamente il rosso e il verde. Il residuo di aberrazione cromatica è maggiore se il rapporto focale è piccolo, ma se è di 10 o più, l'aberrazione cromatica tende a scomparire praticamente del tutto. A queste condizioni, però, è evidente che i rifrattori raggiungano grandi dimensioni anche per diametri relativamente piccoli: un telescopio di soli 15 cm può arrivare ad essere lungo due metri!



Il Rifrattore apocromatico

Il Rifrattore apocromatico è un'evoluzione dell'acromatico e sfrutta due o più lenti realizzate con vetri speciali, che riescono a focalizzare insieme tre colori, in modo da ridurre quasi a zero l'aberrazione cromatica. Un rifrattore apocromatico può avere un costo cinque o più volte superiore a quello di un acromatico dello stesso diametro e fornisce immagini di incomparabile nitidezza rispetto a qualsiasi altro schema ottico.

All'interno degli apocromatici (ma spesso anche negli acromatici e nei telescopi di miglior qualità di altri schemi ottici) sono inseriti dei diaframmi lungo il tubo appositamente calibrati per bloccare la luce spuria diminuendo riflessi indesiderati che possono ridurre il contrasto.



Utilizzo dei rifrattori

Si distinguono per pulizia e incisione dell'immagine, che appare contrastata come in nessun altro schema ottico. Sono impagabili sulle osservazioni ad alta risoluzione come pianeti, Luna, Sole e stelle doppie, ma meno performanti sugli oggetti deboli. Sono indicati per astrofotografia soltanto quelli a basso rapporto focale.

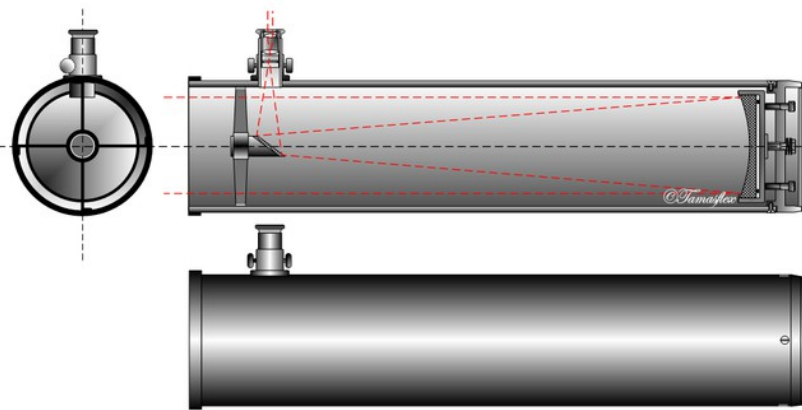
PRO

- Un rifrattore *acromatico* da soli 80mm f/11 (quindi $F=900\text{mm}$), portatile, leggero ed economico (meno di 300€), darà immagini di tutto rispetto su oggetti brillanti, senza residui di cromatismo e senza bisogno di utilizzare oculari con schemi speciali.
- Grazie all'assenza di ostruzione (presente in altri schemi ottici), i rifrattori sono i telescopi con la massima nitidezza dell'immagine e mostrano dettagli a bassissimo contrasto invisibili in altri strumenti (come particolari superficiali su Mercurio o sfumature atmosferiche su Venere, che sono visibili anche con un semplice rifrattore da 8 cm f/11)
- Semplicità meccanica e affidabilità
- Tubo ottico chiuso (non entrano polvere, umidità, ecc...)
- Basta un breve paraluce per evitare la condensa sulla lente frontale

CONTRO

- Ad F/15, un telescopio di 12 cm di diametro ha un tubo lungo quasi due metri! Ciò ha fatto sì che il più grande rifrattore "spinto" (cioè con rapporto focale abbastanza alto da renderlo esente da residui cromatici) presente sul mercato abbia un'apertura di soli 9 centimetri: con un'apertura così modesta, gli oggetti deboli sono veramente... deboli!
- Costo elevato a parità di apertura rispetto ad altri schemi
- Date le aperture limitate *non* sono i telescopi ideali per la fotografia astronomica degli oggetti deboli, per via dell'alto rapporto focale.

Riflettori: il telescopio di Newton



Questo schema ottico fu realizzato da Isaac Newton nel 1668 e consiste in uno specchio principale che funge da obiettivo, con superficie parabolica, e di uno specchio piano di forma ellittica, detto secondario, più piccolo ed inclinato di 45° , necessario per portare il fuoco in una posizione utile.

Molti osservatori astronomici amatoriali utilizzano telescopi newtoniani a corta focale (attorno ad F/4) che consentono di raggiungere grandi aperture contenendo le dimensioni dello strumento. Newton F/4 sono commercializzati anche per il grande pubblico con diametri tra i 15 e i 45 cm e sono favoriti da astrofili che prediligono la fotografia del profondo cielo.

Un Newton con rapporto focale fra f/6 ed f/8 costituisce un ottimo "strumento tuttofare" e rientra in questa categoria anche il celebre "114" ($D=114$, $F=900$, per principianti). Con rapporti focali maggiori vengono proposti pochissimi Newton, dedicati espressamente all'alta risoluzione.

Utilizzo dei Newton

La facilità di costruzione ed il basso costo relativo del riflettore di Newton ne hanno fatto per anni il telescopio più utilizzato dagli astrofili. Il rapporto focale degli strumenti in commercio va di solito da $f/4$ ad $f/8$. Sotto $f/6$ sono indicati per l'osservazione e la fotografia degli oggetti deboli, al di sopra $f/8$ propendono per l'alta risoluzione.

A partire dagli anni '70, l'astrofilo americano John Dobson insegnò a migliaia di persone a costruirsi i telescopi Newton proponendo una montatura elementare, di tipo altazimutale ed estremamente economica. Questi telescopi sono i meno costosi in assoluto a parità di diametro, e sono noti come "dobsoniani". A parità di costo permettono di raggiungere il diametro più grande.

PRO:

- assenza di aberrazione cromatica
- il tubo aperto consente una "termalizzazione" abbastanza rapida (equilibrio termico con l'ambiente, necessario per osservare senza turbolenze interne al telescopio).
- sono i telescopi più economici
- grande semplicità costruttiva, al punto che si tratta dello schema tipicamente scelto dagli autocostruttori di telescopi

CONTRO:

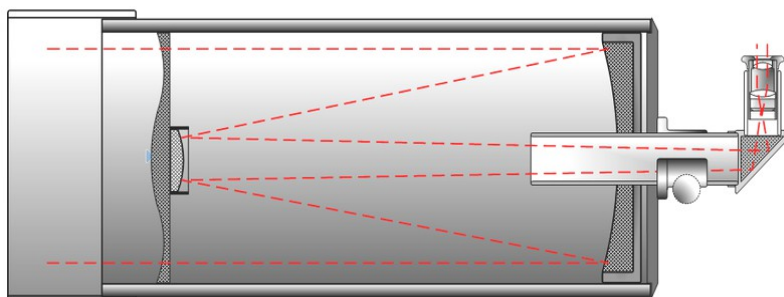
- necessaria la verifica ed eventuale correzione dell'allineamento degli specchi prima di ogni sessione osservativa (le ottiche possono scollinarsi degradando la qualità dell'immagine)
- esposizione all'aria delle superfici riflettenti (che possono sporcarsi e opacizzarsi col tempo).
- ostruzione di circa il 30% (minore se aumenta il rapporto focale)
- piuttosto ingombrante



In foto: ai lati due dobsoniani, al centro un Newton su montatura equatoriale.

Catadiottrici: Schmidt-Cassegrain

Per ovviare all'ingombro dei newtoniani e dei rifrattori, negli anni '70 l'americana Celestron puntò su questo schema ottico per commercializzare telescopi di 20cm grazie alla loro compattezza (dovuta al fatto che il cammino ottico della luce è "ripiegato").



Dallo schema ottico si nota che frontalmente è presente una lastra di vetro sagomata. Si chiama *lastra correttiva* e la sua funzione è di compensare l'aberrazione sferica introdotta dallo specchio primario, che ha curvatura sferica. Viene utilizzata anche per sostenere lo specchio secondario. Questo, piuttosto grande, è responsabile di un fattore di otturazione (attorno al 35%) che penalizza l'incisione dell'immagine. Il primario è forato al centro per consentire il passaggio del fascio di luce fino al fuoco, che si trova in posizione posteriore. In questi telescopi si fa particolarmente apprezzare la facilità di collimazione delle ottiche, agendo su tre viti che inclinano il secondario.

PRO

- Gli Schmidt Cassegrain, solitamente chiusi ad $f/10$, sono validi per l'osservazione ad alta risoluzione, e, se hanno un'apertura adeguata (20 cm o più), danno grandi soddisfazioni anche sul profondo cielo. Per questo sono telescopi "tutto fare". Sono compatti ma pesanti per cui necessitano di una montatura robusta quanto quella di un Newton di pari diametro, tuttavia il tubo corto li rende più facili da trasportare. Anche grazie all'utilizzo di riduttori di focale e spianatori di campo, sono utilizzati regolarmente in astrofotografia nonostante nativamente siano fotograficamente lenti.

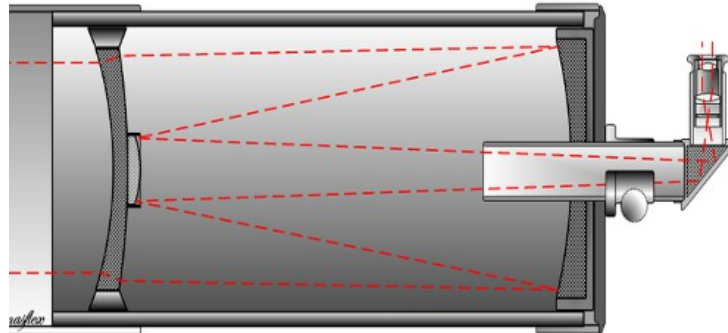
CONTRO

- La lastra correttiva reca un trattamento multistrato antiriflesso, per cui non si deve pulire troppo frequentemente o con solventi aggressivi. Il vantaggio principale di un "tubo chiuso" è che le superfici riflettenti sono al riparo, quindi nè si sporcano, nè perdono la loro riflettività. Un tubo chiuso è anche meno soggetto ad eventuali turbolenze interne. Di contro, è necessario concedergli un tempo maggiore per raggiungere l'equilibrio termico con l'ambiente esterno. Un altro svantaggio è costituito dalla facilità con cui l'umidità si posa sulla lastra anteriore, un vero e proprio assillo che rende necessario l'utilizzo di un buon paraluce (si possono usare anche delle "fasce anti condensa", riscaldatori elettrici concepiti apposta per questo scopo).



Catadiottrici: Maksutov-Cassegrain

Rispetto agli Schmidt-Cassegrain, i “Mak” sono meno ostruiti, quindi offrono immagini più contrastate, e sono anche più costosi. Per la precisione e nitidezza dell’immagine vengono spesso paragonati agli apocromatici, rispetto ai quali però hanno rapporti focali più alti (un valore tipico degli apocromatici è $f/7$, per i Mak è $f/13$).



Utilizzo dei telescopi Maksutov-Cassegrain

I Maksutov-Cassegrain hanno un rapporto d’apertura tipico di $f/12$ o superiore, il che li rende telescopi adatti soprattutto all’osservazione (e ripresa fotografica) ad alta risoluzione della Luna e dei pianeti. Con le fotocamere moderne, molto sensibili, possono anche prestarsi, sia pur marginalmente, all’astrofotografia di oggetti deboli.

PRO

- Spesso dotato di qualità ottica eccellente (tutte le superfici ottiche sono sferiche, quindi più facili da lavorare a perfezione)
- Compatto: tubo molto corto rispetto alla focale
- Secondo solo ai rifrattori quanto a contrasto delle immagini (grazie alla ridotta ostruzione)
- Tubo chiuso → superfici specchianti protette e minori turbolenze interne

CONTRO

- Non ideale per l’astrofotografia di oggetti deboli (lento a causa del rapporto focale alto, e per il campo curvo)
- Realizzato solo in diametri limitati (di solito meno di 20 cm)
- Tubo chiuso → lento a raggiungere l’equilibrio termico,
- lastra frontale esposta al rischio di appannarsi per condensa.
- Costo relativamente alto



Le montature dei telescopi

La montatura è l'apparato meccanico che serve a sostenere e orientare il tubo ottico del telescopio. Si dividono in due grandi tipologie: altazimutali ed equatoriali.

Montatura Altazimutale

È la più semplice: permette di ruotare il telescopio in senso alto-basso e destra-sinistra.

Poiché in genere un astro varia continuamente entrambe le sue coordinate altazimutali, occorre muovere contemporaneamente il telescopio attorno ai due assi per inseguire l'astro nel suo moto diurno, il che rende l'osservazione più scomoda.

Una motorizzazione computerizzata (presente in molti modelli commerciali) può ovviare a questo problema consentendo di inseguire gli astri anche con una montatura altazimutale. La fotografia a lunga posa resterebbe comunque difficoltosa anche così, a causa della conseguente "rotazione di campo", la lenta rotazione delle stelle inquadrata (a questo scopo esiste un ulteriore accessorio, usato normalmente negli osservatori astronomici: il "derotatore").

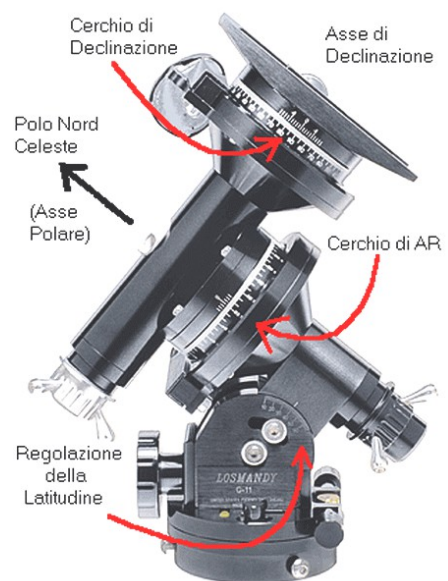
In foto: montatura altazimutale *a forcella* e *dobsoniana*.



Montatura Equatoriale

Il cielo ruota attorno ai Poli in circa 24 ore. Lo spostamento angolare di un astro posto vicino all'Equatore Celeste è quindi di $15^\circ/h$, ovvero $15'$ al minuto. Se lo osserviamo ingrandito di 120 volte, la sua velocità apparirà di 30° al minuto (capace di attraversare un disco apparente della Luna in un secondo). È una velocità molto evidente: se stiamo osservando con un oculare di 50° di campo apparente, l'astro, inizialmente puntato al centro, uscirà dalla vista dell'oculare in meno di un minuto! Siamo così costretti a ripuntarlo...

La montatura equatoriale è concepita per compensare il movimento degli astri ruotando attorno ad *una sola asse*, rendendo così molto più semplice l'inseguimento dell'oggetto osservato. Tale asse, detto *polare*, dev'essere allineato al Polo Nord Celeste (o Polo Sud, se ci si trova nell'altro emisfero). Per realizzare questo orientamento (procedura detta "messa in polare", "stazionamento", o "messa in stazione"), l'asse polare va inclinato di un angolo pari alla latitudine dell'osservatore, e orientato verso Nord. La rotazione attorno all'asse polare cambia l'*ascensione retta* verso cui è puntato il telescopio, mentre la rotazione attorno all'altro asse cambia la *declinazione*.



Con un semplice *motorino d'inseguimento* applicato all'asse polare è possibile mantenere un oggetto puntato dal telescopio all'interno dell'oculare per un tempo teoricamente illimitato senza intervenire mai sulla montatura: situazione ideale per ogni osservazione, specie ad alti ingrandimenti; un vantaggio enorme rispetto alle montature altazimutali.

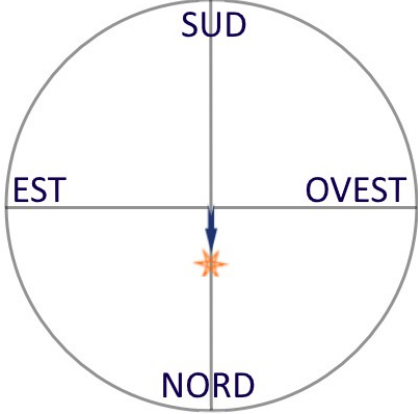
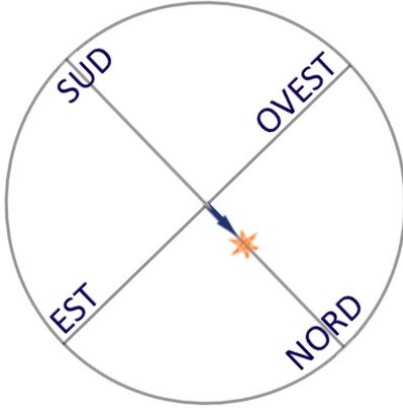
Se l'oggetto puntato continua a spostarsi, dipenderà o da un'errata velocità del motorino d'inseguimento (raro), oppure da un errato stazionamento del telescopio (comune). L'allineamento al Polo si può affinare con un cannocchiale polare all'interno dell'asse del telescopio o con il cosiddetto metodo di Bigourdan.

Allineamento al polo con il metodo di Bigourdan

Il metodo descritto nel 1893 dall'astronomo Guillaume Bigourdan consente di mettere in stazione un telescopio anche se non è visibile la Stella Polare.

Si esegue puntando due stelle vicine all'equatore celeste (una al meridiano, l'altra vicina all'orizzonte) e analizzando la loro "deriva", cioè il moto in senso nord-sud che mostrano mentre le si osserva. In base allo spostamento della stella si applicano correzioni all'orientamento dell'asse polare.

Nelle immagini sono riportate le indicazioni per le correzioni in base al movimento indesiderato della stella puntata.

	
<p>Puntiamo una stella circa equatoriale che passa al meridiano e la ingrandiamo usando possibilmente un oculare con reticolo. Se, col tempo, la vediamo spostarsi verso nord, sappiamo che l'asse polare del telescopio punta un po' troppo ad ovest e va quindi orientato più ad est. Analogamente, se la stella appare spostarsi verso sud, l'asse polare va ruotato verso ovest.</p>	<p>Puntiamo una stella circa equatoriale che sta sorgendo (le indicazioni seguenti vanno invertite se puntiamo una stella che sta tramontando). In questo caso, se la vediamo trascinarsi verso nord, sapremo che l'asse polare del telescopio punta troppo in alto e pertanto va abbassato. Andrà invece alzato se vedessimo la stella nel campo dell'oculare spostarsi verso sud.</p>

Le montature equatoriali dei telescopi amatoriali sono principalmente di due tipi: *alla tedesca* o *a forcella*. Entrambe sono adatte all'astrofotografia nonostante le prime abbiano l'handicap di non poter inseguire a lungo un astro che passa sopra il punto cardinale Sud. Qui infatti c'è bisogno di rigirare il telescopio attorno all'asse di declinazione (manovra nota come "*flip* al meridiano"). Le montature a forcella non hanno questo problema ma, nei modelli commerciali, non sempre hanno la robustezza necessaria per consentire l'astrofotografia. Si noti infine che su una montatura a forcella si potranno montare solo tubi di un ben preciso diametro mentre su una tedesca si può montare ogni strumento che si vuole (purchè di adeguato peso e dimensioni).

Per aggirare quest'ultimo problema, sono state sviluppate le montature a forcella "monobraccio", di fascia alta e con standard adeguati per l'astrofotografia.



Montatura equatoriale alla tedesca e montatura equatoriale a forcella a due braccia

Gli standard delle montature equatoriali

Praticamente tutte le montature equatoriali alla tedesca si possono approssimativamente far rientrare in classi equivalenti allo standard della Synta, una casa produttrice cinese, che classifica queste montature dalla più elementare Eq1 alla possente Eq8. Si possono tutte motorizzare.

La **Eq1** è semplicissima ed estremamente leggera, adatta a telescopi molto piccoli, da uno o due kg al massimo.

Eq2 (e il modello analogo detto “Eq3”): diffusissima in telescopi commerciali economici, è purtroppo normalmente caricata con strumenti troppo pesanti, motivo per cui risulta sistematicamente in affanno: traballante e instabile. In realtà non dovrebbe portare carichi oltre i 3-4 Kg. Come la precedente, è motorizzabile unicamente in AR (per l'inseguimento siderale).

Eq3.2 (chiamata “Eq3” dai fruitori per brevità) nettamente più robusta e precisa delle precedenti, è motorizzabile su entrambi gli assi (quindi utilizzabile per astrofotografia) e si può dotare perfino di un puntamento automatico (*GoTo*) che però difficilmente risulterà di grande precisione. È la più piccola montatura equatoriale con predisposizione per cannocchiale polare e riesce a gestire tubi da 5 Kg

Eq5 evoluzione della ora inesistente “Eq4”, porta fino a 9 Kg di carico, adatta all'astrofotografia

HEq5 è nettamente più pesante e performante, adatta all'astrofotografia di alto livello, carica 14 Kg di strumentazione e costa, completa di doppi motori e computerizzazione, sui 1000 euro.

Eq6 – disponibile in varie versioni, è una favolosa montatura adatta all'astrofotografia, porta fino a 25 kg (nella versione più evoluta) e costa, completa, tra i 1500 e i 1800 euro.

Eq7: versione sperimentale mai messa in commercio.

Eq8: da osservatorio ma in teoria ancora trasportabile, pesa 50Kg e porta 50Kg di ottica.

Esistono naturalmente molte altre montature alla tedesca di differenti marche, specialmente nella fascia alta, sviluppate per astrofili molto esigenti o per postazioni fisse (osservatori).



Confronto tra la minuta montatura Eq1 e la mastodontica Eq8 (immagini **non** in scala!)

PRIMA DI OSSERVARE CON IL TELESCOPIO

Vediamo alcune procedure preliminari da effettuare prima dell'inizio dell'osservazione col telescopio

Verifica della robustezza

È importante, quando si è completato il montaggio dello strumento, fare alcune verifiche per garantirne la solidità. In particolare, controllare che tutte le viti strutturali siano ben serrate e che i piedi del treppiede siano completamente divaricati alla massima apertura. I puntali in gomma sono utili in casa per non graffiare il pavimento, ma vanno tolti se osserviamo all'aperto per garantire la maggior presa possibile del treppiede sul terreno.

Bilanciamento

Per il corretto funzionamento di un telescopio è fondamentale bilanciarne i pesi: una volta montato, con il treppiede alla massima apertura e ben stabilizzato, vanno allentate completamente le viti che bloccano i movimenti degli assi per verificare se il telescopio è sbilanciato e tende a cadere. In tal caso, spostando tubo e contrappeso, si trova il punto in cui il telescopio mantiene indifferentemente una qualsiasi direzione di puntamento. A quel punto è possibile richiudere *delicatamente* le viti di bloccaggio degli assi e iniziare l'osservazione.

Collimazione del cercatore

Il cercatore è il piccolo cannocchiale che serve a riconoscere il campo verso cui è puntato il telescopio: ha la funzione di un mirino. Mettendovi l'occhio si vede una crociera che serve a individuare il punto preciso inquadrato dal telescopio. È necessario che il cercatore sia perfettamente allineato al telescopio. Per fare ciò bisogna puntare con il telescopio un oggetto lontano, come la cima di un campanile o un faro distante, e poi portare tale oggetto al centro della crociera del puntatore agendo sulle sue viti di sostegno e regolazione.

Termalizzazione

Portare un telescopio dall'interno di una casa riscaldata e metterlo ad osservare al gelo invernale induce uno spiccato rimescolamento dell'aria all'interno del tubo, sia esso chiuso o aperto, con un sensibile degrado dell'immagine. A seconda dello schema ottico e delle dimensioni, è necessario aspettare da una ventina di minuti ad anche più di un'ora perché questi effetti si attenuino abbastanza da permettere di sfruttare tutta la potenza del telescopio.

Per lo stesso motivo (rimescolamento d'aria a temperatura diversa), non è possibile osservare il cielo dall'interno di casa attraverso una finestra.

SISTEMI DI COORDINATE E PUNTAMENTO DEGLI OGGETTI.²

In Astronomia, per indicare la posizione di un astro, si possono utilizzare diversi sistemi di coordinate: altazimutale, equatoriale, eclittico, galattico e supergalattico. Nell'astronomia amatoriale vengono utilizzati solo i primi due sistemi.

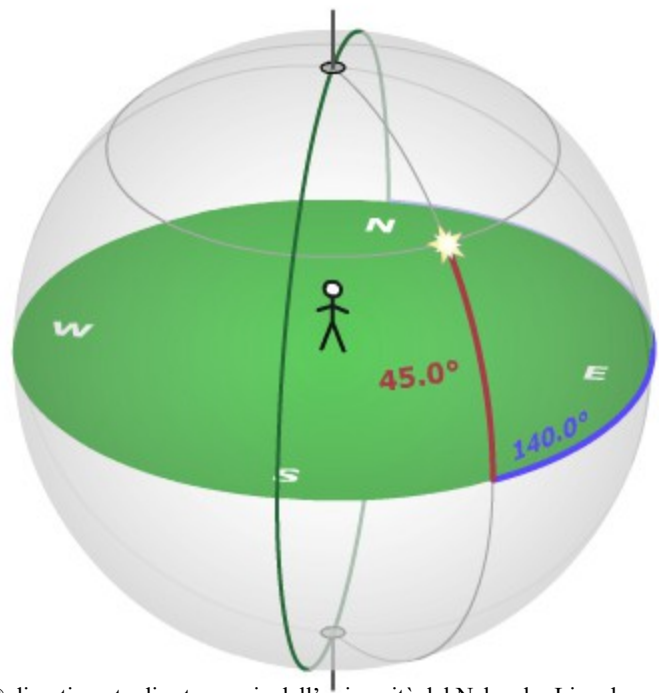
Sistema altazimutale

È il più intuitivo. Una coordinata dell'astro è la sua altezza sull'orizzonte in gradi, l'altra è l'angolo tra la direzione del Nord e la sua direzione, misurata nel verso Nord → Est.

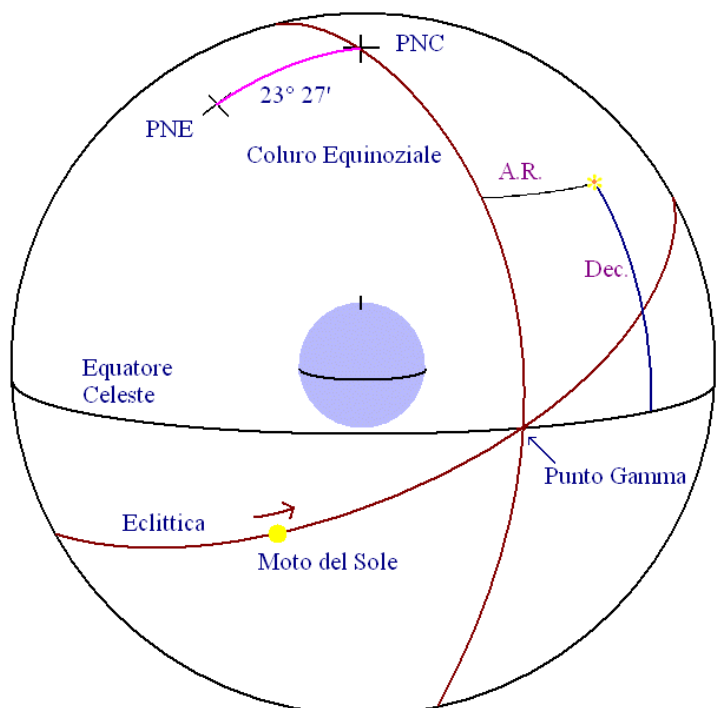
Nell'immagine viene mostrata la posizione di un astro con coordinate altazimutali: $+45^\circ$, $+140^\circ$. L'aspetto negativo di questo sistema è che le coordinate degli astri variano col passare del tempo e a seconda dei luoghi. Una stella vicina all'Equatore Celeste quando passa a Sud cambia il suo azimut di quasi 15 gradi all'ora! In questo senso tale sistema non è assoluto ma dipende da luogo, data e ora di osservazione. Gli altri sistemi di coordinate sono invece assoluti, fatta salva la correzione per la precessione degli equinozi per il sistema equatoriale (che però ammonta al massimo a $46''$ all'anno e quindi ignorabile per finalità amatoriali).

Sistema equatoriale, o coordinate astronomiche.

Si considera la sfera celeste alla stregua del globo terrestre: solcato da meridiani e paralleli. In cielo, poli ed equatore sono determinati dalla rotazione apparente della sfera celeste (effetto della rotazione effettiva della Terra su se stessa). Esattamente come sulla Terra, una



© dipartimento di astronomia dell'università del Nebraska-Lincoln



² Vedi anche il primo volume delle dispense, sulla g

coordinata celeste è data dalla distanza angolare dall'equatore: nel reticolato geografico terrestre questa coordinata è chiamata latitudine, in cielo è detta *declinazione*.

L'altra coordinata, che sulla Terra è la longitudine, cioè la distanza oraria dal meridiano di Greenwich, in cielo è chiamata *ascensione retta* ed è la distanza oraria dal meridiano celeste fondamentale: quello passante per il punto in cui si trova il Sole all'equinozio di primavera.

Il meridiano fondamentale celeste è il semicerchio che unisce i Poli passando dall'intersezione primaverile tra Eclittica (il percorso apparente del Sole nel cielo) ed Equatore Celeste (il cerchio massimo equidistante dai Poli). Tale intersezione si chiama *Punto Gamma* (perché l'equinozio avviene nel segno dell'Ariete, il cui simbolo ricorda la lettera greca gamma minuscola), mentre il meridiano è detto *Coluro Equinoziale*.

Nell'immagine: la sfera celeste con Polo Nord Celeste (PNC), Equatore, Eclittica, Punto Gamma e le coordinate Ascensione Retta (A.R.) e Declinazione (Dec.) di un astro.

Puntamento degli astri con le coordinate.

Le effemeridi (ovvero le tabelle con la posizione e altri dati) di un astro errante (cometa, pianeta, asteroide), normalmente ne danno le coordinate astronomiche (valide per tutto il mondo) e non quelle altazimutali (che dipendono dal luogo e dall'ora di osservazione). Così pure per le stelle si riportano solo le coordinate astronomiche equatoriali. Oggi però qualunque smartphone, con uno dei tantissimi software astronomici, può darci anche le coordinate altazimutali dell'astro in tempo reale. Grazie a ciò, se abbiamo una montatura altazimutale dotata di cerchi graduati, saremo facilmente in grado di puntare un oggetto astronomico.

Se si utilizza una **montatura equatoriale**, il procedimento per puntare un astro con le coordinate astronomiche è il seguente, che funziona anche in assenza di motori o computer:

- 1) Si mette accuratamente in stazione il telescopio
- 2) si punta un oggetto con coordinate astronomiche note (ad esempio una stella luminosa nei pressi dell'astro che vogliamo puntare)
- 3) si regolano manualmente i cerchi graduati impostando le coordinate dell'astro puntato (che troveremo su una carta o su un catalogo): normalmente il cerchio di A.R. è mobile mentre quello di Dec. è fisso e pertanto dovrebbe già dare la lettura corretta della declinazione dell'astro di riferimento (altrimenti si tiene conto dello sfasamento)
- 4) si sposta il telescopio finché gli indici non segnano sui due assi le coordinate indicate per l'oggetto che stiamo cercando: osservando con un oculare a grande campo dovremmo essere in grado di individuarlo.

Da tenere presente: la precisione del puntamento dipende da quella dello stazionamento e da quella delle divisioni dei cerchi graduati. Se ad esempio sui cerchi graduati non riusciamo ad apprezzare il grado, il puntamento non potrà essere migliore di tale approssimazione.

Come è noto esistono computerizzazioni (sia per montature altazimutali che equatoriali) che si sostituiscono a questi procedimenti e, attraverso l'uso dei motori sugli assi, consentono il puntamento (funzione *goto*) per semplice immissione del nome dell'oggetto (o delle sue coordinate) tramite pulsantiera o computer. Per vari motivi, però, nonostante ciò che promettono, non si tratta di accessori così tanto consigliabili ai neofiti.

I migliori strumenti divisi per fascia di prezzo.

Per fascia di prezzo e potenzialità, possiamo dividere i telescopi in 4 fasce:

- 1) **“giocattoli”** (fino a ~150 euro)
- 2) **“non-giocattoli” ma problematici** (sotto ~400 euro)
- 3) **economici *no problem*** (sotto ~900 euro)
- 4) **avanzati** (oltre ~1000 euro)

1) Escludendo quelli dichiaratamente per bambini, parliamo di strumenti molto economici (tra i 50 e i 100 euro). La plastica è spesso preponderante nella costruzione, sono venduti più nei supermercati che nei negozi specializzati, solitamente non hanno un treppiedi da campo ma solo da tavolo.

Possono avere una qualche utilità, perché non è detto che abbiano per forza un'ottica inservibile, e anzi potrebbero dare visioni della Luna impressionanti per chi non l'ha mai vista al telescopio, ma, per limitazioni evidenti della montatura (esclusivamente altazimutale), dell'ottica (dalle piccole dimensioni) e della meccanica (parti in plastica e lavorazioni imprecise), non faranno nulla di più e quindi non sono utili per avvicinarsi all'astronomia. Rischiano anzi di essere deludenti.



Due tipici telescopi “giocattolo”. Quello di sinistra, più costoso, è il più piccolo Newton in commercio (76mm di apertura), e sarebbe stato meglio che non fosse stato mai commercializzato... Inutile cominciare con questi telescopi: non saranno buoni nemmeno come “cannocchiali guida” per fare astrofotografia quando ne avremo bisogno per accessoriare uno strumento più serio.

2) i **“non-giocattoli” economici** sono i telescopi “veri” con un prezzo estremamente contenuto. Purtroppo, per la maggior parte sono equipaggiati con montature totalmente inadeguate, spesso altazimutali. Con montature insufficienti sarà complicato puntare gli oggetti, mettere a fuoco o osservare ad alti ingrandimenti se c'è un po' di vento: l'immagine oscilla non appena si sfiora lo strumento. Per farsi un'idea del problema, si consideri che la Eq2 traballa con un Newton 114/900 e, per quanto possa sembrare incredibile, per contenere i prezzi al pubblico vengono venduti dei 130 montati su Eq1!

Bisogna quindi fare molta attenzione, per gli strumenti venduti sotto i 400 euro, che la montatura sia adeguata all'ottica.

Si salvano da questo problema solo i tubi ottici leggeri e compatti, come rifrattori e piccoli maksutov. Tra i pochi modelli decenti in questa fascia contiamo i rifrattori acromatici da 7 od 8 centimetri di diametro *montati su Eq2*. Se ne trovano anche attorno ai 200 euro e sono telescopi dignitosi, con i limiti del piccolo diametro, ma apprezzabili e capaci talvolta di battere, sull'alta risoluzione, anche telescopi più grandi e costosi.

Sia la Eq1 che la Eq2 sono motorizzabili in ascensione retta (inseguimento siderale), assicurando una visione molto più comoda ad alti ingrandimenti e consentendo di fare qualche tentativo di ripresa con telecamera o fotocamera, di dettagli planetari.

Una disanima più completa dei telescopi economici si trova sul nostro sito cercando con la parola chiave "Natale", o andando a questo indirizzo:

<https://accademiadellestelle.org/primo-telescopio/>

		
<p><i>Un economico rifrattore 60/700 su montatura altazimutale. L'ottica può anche essere buona a dispetto del prezzo, ma la imprecisa montatura non equatoriale renderà terribilmente frustrante anche la sola osservazione visuale.</i></p>	<p><i>Telescopio catadiottrico di tipo Maksutov Cassegrain (ottica eccellente) da 90 mm su montatura Eq1. Grazie al tubo estremamente compatto e leggero, è il tipico caso in cui questa minuta montatura equatoriale può lavorare correttamente. 279 €.</i></p>	<p><i>Questo bel rifrattore 80/900 (Starscope 80/900 TS Optics) non dà particolari problemi alla sua montatura di classe Eq2 che quindi, in questo caso, risulta adeguata.</i></p> <p><i>Venduto a 199 euro con dovizia di accessori, è tra i migliori strumenti in assoluto in questa fascia.</i></p>

3) **“Economici no problem”**. Come abbiamo visto, le montature equatoriali più semplici (Eq1 ed Eq2) lavorano al meglio solo con telescopi piuttosto piccoli. Se vogliamo un'ottica più potente dobbiamo accaparrarci almeno una Eq3.2. Attenzione: molti venditori equivocano e danno nomi “random” a montature inferiori (Eq3, Eq4, pur trattandosi di Eq2); noi ci riferiamo alla Eq3.2 che è facilissima da riconoscere in quanto è predisposta per avere il *cannocchiale polare*. Sulla Eq3.2 si possono montare fino a 5 o 6 Kg di carico. In questa fascia rientrano anche montature superiori, fino alla Eq5.

È qui che può essere cercato il primo telescopio da comprare!

Ecco alcuni esempi di telescopi *consigliabili*, con il loro prezzo. Il più potente di tutti è il 3)

- 1) rifrattore 102/1000 su Eq3 (579 euro senza motori)
- 2) riflettore Newton 150/750 su Eq3 (499 euro senza motori)
- 3) riflettore Newton 200/1000 su Eq5 (789 euro senza motori)



L'ultimo modello in tabella, non usabile per fotografia del profondo cielo e con un'apertura di solo 90mm, 350 euro sia con la montatura altazimutale computerizzata, sia su una più utile equatoriale Eq2, e appartiene quindi alla fascia più economica.

Le montature di tutti gli altri modelli si possono motorizzare spendendo un centinaio di euro e sono adatte alla fotografia astronomica. In tutte si nota, sull'estremo superiore dell'asse polare, il tappo nero circolare che chiude l'alloggiamento per il cannocchiale polare.

Sempre in questa fascia di prezzo troviamo uno strumento generoso come il Newton da ben 254mm di diametro in configurazione **Dobson**. Benchè non sia usabile per astrofotografia, è impressionante che con solo 700 euro di spesa si possa sfruttare l'enorme capacità di raccolta luce di un 25 cm!

Ciò che in conclusione deve essere chiaro è che, con una spesa inferiore ai 1000 euro, è possibile acquistare uno strumento astronomico serio, che consente innumerevoli ed appaganti osservazioni astronomiche.

4) A prezzi superiori, oltre i 1000 euro, troviamo i telescopi che abbiamo chiamato **avanzati**, diversificatissimi, che possono soddisfare ogni esigenza degli astrofili e costituiscono, come e più degli "economici no problem", lo strumento definitivo. Per acquistarli non si può fare a meno del confronto con astrofili esperti per orientare la scelta tra le centinaia e centinaia di modelli presenti sul mercato e in base alle proprie esigenze.