

STRUMENTI PER L'OSSERVAZIONE ASTRONOMICA

Teoria e pratica



di Riccardo Spada

Una pubblicazione:

C.O.D.A.S.

Centro Osservazioni e Divulgazione Astronomiche

Siracusa

GLI STRUMENTI OTTICI

La storia delle lenti e' ben piu' antica di quanto comunemente si creda: esistono antiche testimonianze scritte, che ci narrano di "pietre levigate e trasparentissime" che sarebbero state usate per accendere il fuoco. Di esse c'e' traccia perfino nella tradizione greca antica: per esempio nella commedia "Le ombre" di Aristofane, risalente addirittura al 423 a.C.! C'è da chiedersi quindi come mai ci siano voluti quasi venti secoli per arrivare alla costruzione del cannocchiale "galileiano", che in realta' fu costruito da un occhialaio olandese, il Lippershey. I grandi filosofi dell'antichita', non avendo capito nulla del funzionamento delle lenti convergenti, per giustificare il loro fallimento, pronunciarono la condanna: "*non si deve guardare attraverso di esse perché ingannano*", e tale sentenza dominò nel campo scientifico fino al XVII secolo.

Tuttavia, da qualche secolo prima, intorno al 1200-1300, pare che fossero in circolazione delle "lenti per giovani", ovvero lenti divergenti per curare la miopia giovanile: significativo e' il fatto che la fonte di tale notizia non sia un trattato scientifico, ma un carteggio commerciale tra i Duchi Sforza di Milano, e artigiani fiorentini (perché pare che a Firenze, queste "lenti per giovani" fossero costruite meglio che a Milano). Chissà come sarebbe oggi il mondo, se casualmente Lippershey non avesse posto una lente convergente davanti ad una di quelle "lenti per giovani" che gli garantivano il pane quotidiano, inventando così il cannocchiale nella sua forma più semplice!

Galileo, venuto a sapere dell'esistenza del cannocchiale, e entrato in possesso degli schemi per costruirlo, si mise egli stesso a produrne, e ne fece molti esemplari, sempre più perfezionati.

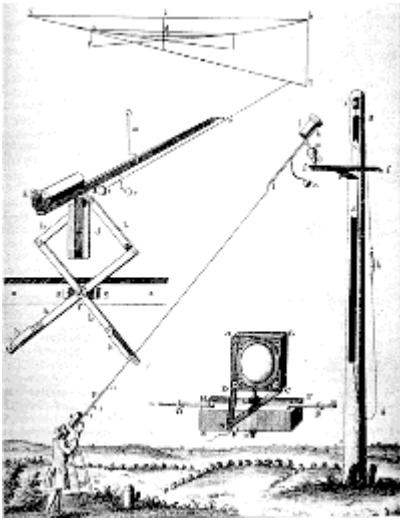


Il primo disegno, di cui siamo a conoscenza, riferito ad un cannocchiale.

Oggi questo semplice strumento porta il suo nome non perché egli ne sia stato l'inventore, ma perché fu il primo a comprenderne l'enorme potenziale scientifico. E' l'epoca preistorica (e a suo modo, eroica) dei telescopi aerei, nei quali l'obbiettivo veniva posto in cima ad un palo, ed il povero

astronomo andava a cercarsi il fuoco con l'oculare collegato all'obbiettivo tramite una lunghissima fune.

Sembra incredibile, ma fu grazie a questo tipo di telescopi che Cassini scoprì la divisione che porta



Telescopi d'altri tempi.

il suo nome, e che il Campani riuscì ad individuare leggere increspature nel manto nuvoloso di Venere, oltre ad innumerevoli altre scoperte. Cominciavano anche a comparire i primi telescopi a riflessione: il celebre Isaac Newton, tra una mela e l'altra, trovò anche il tempo di inventare lo strumento che porta il suo nome... A livello accademico cominciò a svilupparsi un certo interesse per una branca scientifica fino allora negletta: e questo indubbiamente anche per le ricadute economico-militari che i nuovi strumenti garantivano!

Le lenti iniziarono ad essere studiate, e si affermò una interpretazione geometrica che interpretava la luce come composta di "raggi luminosi", propagantesi in linea retta. Su questa interpretazione, e per oltre due secoli, i matematici costruirono un'ottica geometrica di grande mole, ottenendo molti successi quali l'invenzione del cannocchiale acromatico (Dollond) ed il suo definitivo perfezionamento (Fraunhofer).

Tuttavia, ben presto ci si accorse sperimentalmente di un fenomeno chiamato "diffrazione", che sembrava contraddire questa teoria. Se la luce fosse composta da raggi rettilinei, dirigendo una sorgente luminosa su uno schermo opaco, con un buco minuscolo al centro, e posto al di là di esso un foglio di carta, dovremmo vedere su quest'ultimo un punto luminoso. In effetti ciò che si osserva è un punto di luce, ma circondato da luminosi anelli concentrici. Ancora: ponendo un dischetto circolare opaco di fronte ad una sorgente luminosa puntiforme, si verifica che al di là di esso, e sul suo asse, si forma un massimo di luce: là dove la luce, se fosse composta di raggi rettilinei, non dovrebbe assolutamente arrivare. Questi fenomeni, ed altri come l'interferenza, misero in crisi la teoria geometrica dell'ottica.

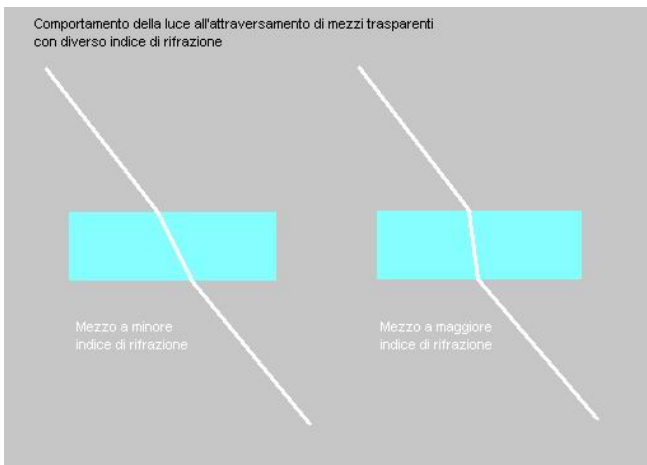


Probabilmente il primo telescopio dotato di una montatura "all'altezza".

Oggi sappiamo che la luce non è composta da raggi rettilinei, ma è una radiazione elettromagnetica a carattere ondulatorio: e questo approccio allo studio dell'ottica, come vedremo, è di grande utilità per comprendere il funzionamento degli strumenti ottici.

Ogni corpo, comunque eccitato, è capace di emettere radiazioni a carattere ondulatorio: cause di eccitazione possono essere campi elettrici, magnetici, o radiazioni di vari tipi. Se l'emissione del corpo emittente è limitata ad una sola frequenza, o lunghezza d'onda che dir si voglia, allora si dice che siamo in presenza di radiazione monocromatica; viceversa, se tale emissione è costituita da più frequenze sovrapposte, si dice che l'emissione è policromatica. La "luce", come comunemente la intendiamo, è policromatica; composta cioè da più frequenze, o lunghezze d'onda, che vanno dal rosso al violetto.

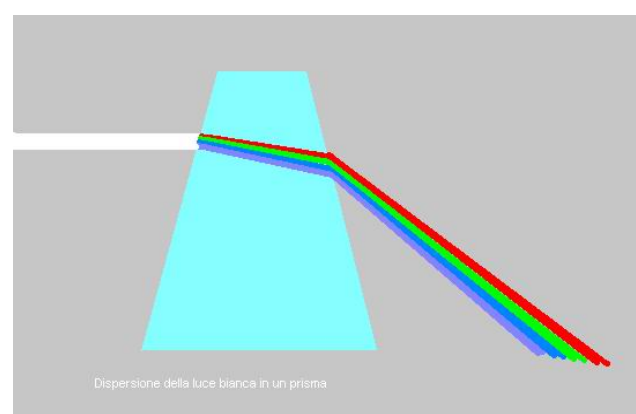
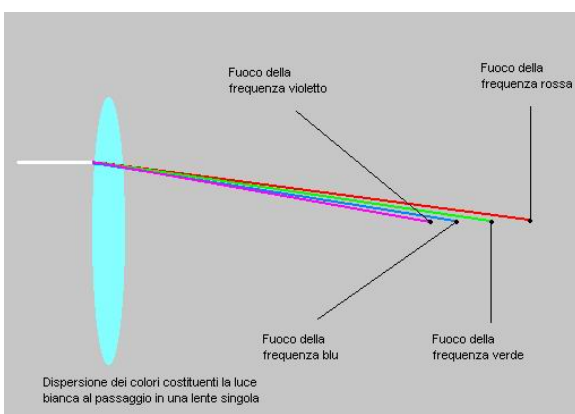
Per comodità, consideriamo per il momento la radiazione elettromagnetica proveniente dagli astri come monocromatica ; quando essa incide sulle lenti del nostro rifrattore, la sua lunghezza d'onda y si contrae fino a y/n , essendo n l'indice di rifrazione del vetro. Troppo complicato? Affrontiamo il discorso da un altro punto di vista: quando la luce penetra in una materia trasparente, la sua velocità



diminuisce, in modo più o meno accentuato a seconda dell'indice di rifrazione del vetro. Ora, siccome una lente convergente è più sottile al bordo che non al centro, quando un'onda l'attraversa, la zona dell'onda stessa incidente in prossimità dell'asse, o del centro della lente, viene ritardata di più di quella vicina al bordo, e così, se l'onda incidente era piana, l'onda emergente dall'obbiettivo diventa sferica, e

converge sul fuoco strumentale. La luce però, come abbiamo visto, non è una radiazione monocromatica...

Da ciò discende che ogni frequenza che la compone, verrà ritardata, al passaggio nel vetro ottico, in maniera differenziata, e, ad esempio, le frequenze rosse verranno ritardate meno di quelle violette: da qui la dispersione dei vari colori.

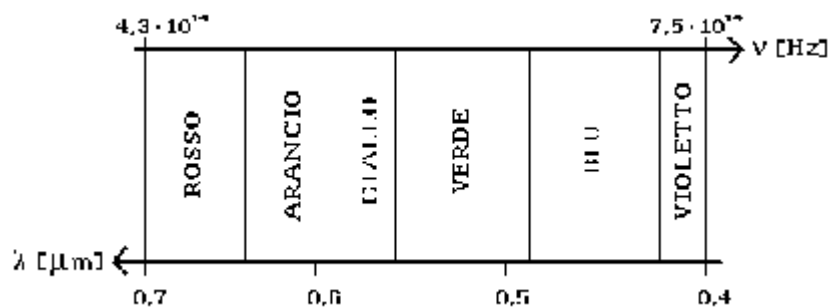


Analogamente a tutti i fenomeni propagativi ondulatori (come i suoni e le vibrazioni, per esempio) un'onda elettromagnetica è caratterizzata da una *velocità di propagazione* v (dipendente dal mezzo in cui avviene) e da una *frequenza* ν (numero di oscillazioni che si susseguono nell'unità di tempo e di lunghezza; è indipendente dal mezzo); note queste due, si può ricavare la *lunghezza d'onda* λ (la distanza tra due "picchi" vicini), applicando la relazione:

$$v = \lambda \nu$$

Nel vuoto $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s; in tutti gli altri mezzi v è minore di c , notoriamente la massima velocità possibile secondo le leggi della fisica.

L'occhio umano riesce a percepire le lunghezze d'onda da un minimo dell'ordine di $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$ (violetto) ad un massimo di $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$ (rosso); tale intervallo (o *banda*) dello *spettro elettromagnetico* è detto, appunto, *luce*. L'unità di misura per le lunghezze in ottica è usualmente il *micron* ($1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m).



Sarebbe estremamente complicato studiare la luce con le leggi fisiche generalizzate che si applicano a tutti i campi elettromagnetici. Nei casi in cui le lunghezze d'onda in gioco sono molto più piccole dei mezzi materiali con i quali interagiscono, si può adoperare una teoria approssimata, l'*ottica geometrica*, che si basa sulle proprietà *geometriche* della luce quando incide su *discontinuità* dello spazio come, ad esempio, specchi e lenti. Una discontinuità è una regione di spazio riempita con un materiale diverso dall'aria o dal vuoto (vetro, acqua, metallo, ecc..).

Senza aver la minima pretesa di una trattazione esaustiva dell'argomento, introduciamo ora quei pochi concetti fondamentali che ci serviranno per spiegare a grandi linee il funzionamento di lenti, specchi e telescopi (naturalmente...).

Si definisce *raggio ottico* (o *luminoso*) la direzione nella quale si propaga una determinata radiazione luminosa che, nei casi che ci interessano, è una *linea retta*.

Ogni mezzo materiale è caratterizzato da un *indice di rifrazione* n che è inversamente proporzionale alla velocità di propagazione nel mezzo stesso secondo la relazione:

$$n = \frac{c}{v}$$

Nel vuoto abbiamo $n = 1$; per l'aria n è praticamente pari a quello del vuoto; per tutti gli altri mezzi abbiamo $n > 1$.

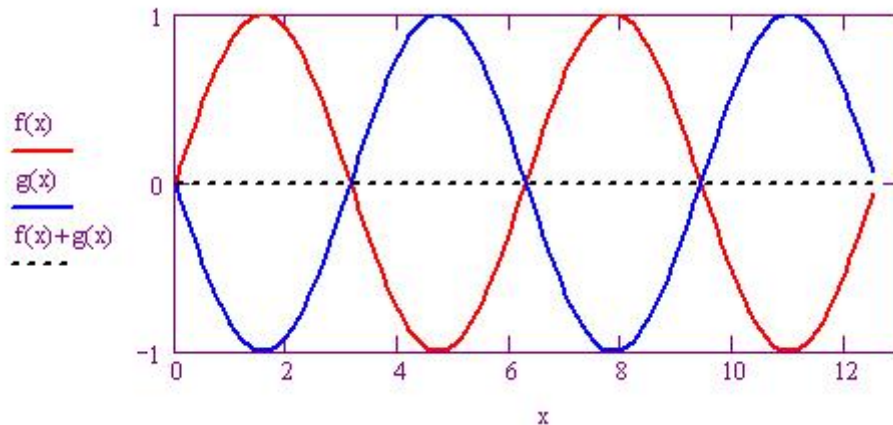
Indice di rifrazione per alcuni mezzi alle frequenze ottiche

Vuoto	1,0000
Aria	1,0003
Diamante	2,47÷ 2,75
quarzo	1,46
vetro crown	1,51÷ 1,57
vetro flint	1,54÷ 1,75
acqua	1,33

LUCE E OTTICA ONDULATORIA

Diffrazione e interferenza della luce

Spesso sentiamo dire che la luce, oltre ad avere una natura corpuscolare, ha anche una natura ondulatoria. Allora la luce deve avere una lunghezza d'onda, una frequenza ed una velocità.

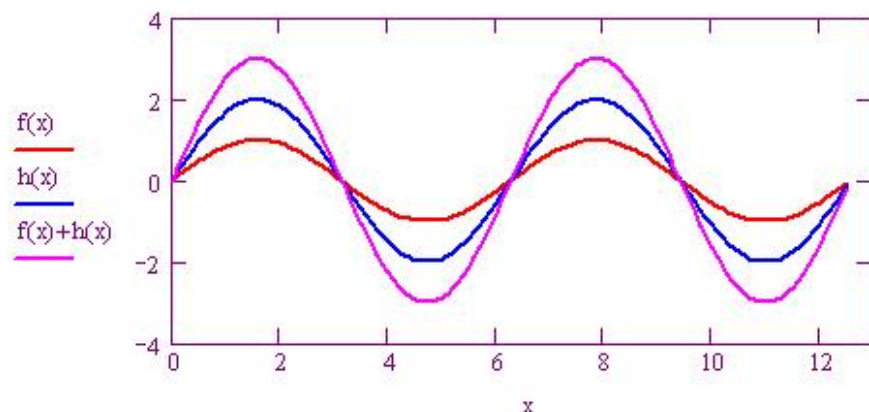


Nel grafico sopra, ambedue le onde hanno lunghezza d'onda e frequenza uguali ma sono in opposizione di fase. Se si potesse trascinare l'onda blu indietro vedremmo le due onde sovrapporsi perfettamente.

Ma, siccome sono sfasate di π , esse si distruggono reciprocamente.

Questa interferenza viene detta negativa o distruttiva.

Le onde possono anche essere in fase in modo tale da rinforzarsi: questa interferenza viene detta positiva o costruttiva.



Si possono avere diversi comportamenti a

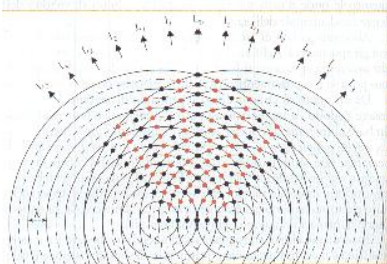
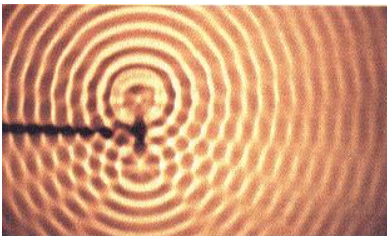
seconda delle diverse fasi interferenti tra di loro. E qui entra in gioco la diffrazione.

La luce si piega leggermente lungo l'orlo di barriere aggirandole e propagandosi anche dietro di esse quando queste hanno una dimensione dell'ordine della lunghezza d'onda della luce.

Questo fenomeno è detto **diffrazione** ed è caratteristico di tutti i fenomeni ondulatori, ma poiché le lunghezze d'onda della luce visibile sono piccolissime, gli ostacoli corrispondenti dovranno essere piccolissimi. Quando Francesco Maria Grimaldi (1618–1663) notò la prima volta che i bordi delle ombre non erano netti, attribuì questo effetto alla diffrazione ed ebbe la netta sensazione che la luce fosse un'onda.

Quest'idea fu confermata dal fisico inglese Thomas Young, quando realizzò il meraviglioso esperimento della doppia fenditura nel 1801, mise un piccolo foro di fronte ad un fascio di luce monocromatica (insieme di radiazioni luminose della stessa frequenza).

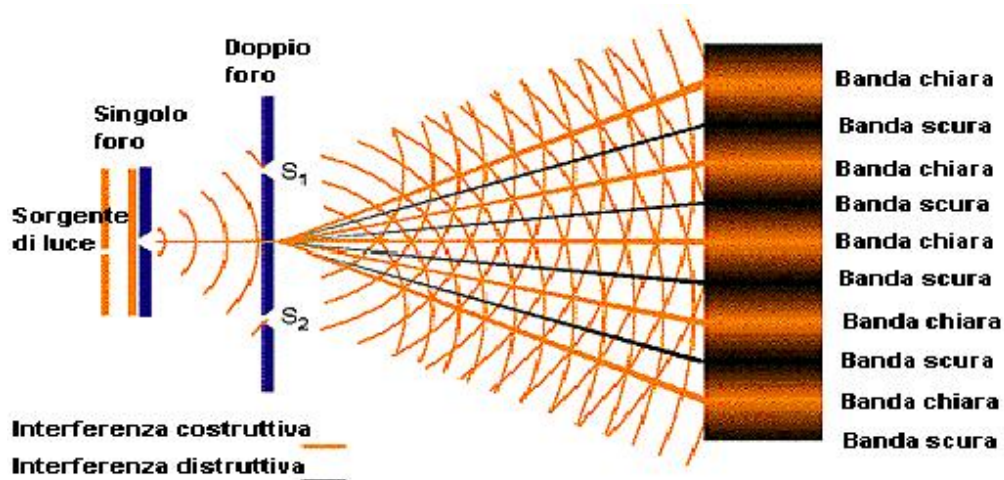
Figure interferenziali in un endoscopio



La luce che passava attraverso la fenditura era tutta in fase e non subiva interferenze distruttive: quella fenditura diventava una sorgente coerente. Ma come fare ad aver due sorgenti di luce coerenti?

Egli piazzò due piccole fenditure di fronte al fascio di luce coerente ed ottenne nel campo elettromagnetico quello che si ottiene in una vaschetta ondoscopica quando due pignoni oscillano periodicamente sulla superficie libera dell'acqua: le frange di interferenza, evidenziabili dietro le due fenditure con particelle di fumo in sospensione nell'aria.

Ma il risultato non fu solo questo! Quando la luce diffratta giunse ad uno schermo si formarono bande illuminate e bande scure come nella figura qui sotto:



La luce evidenzia effetti diffrattivi come tutti i fenomeni ondulatori.

Cosa significa tutto questo?

Le onde interferiscono una con l'altra creando bande luminose di interferenza costruttiva e bande scure di interferenza distruttiva.

STRUMENTI PER OSSERVARE

La caratteristica più importante di un telescopio, contrariamente a quanto si crede, è il **DIAMETRO** del suo **OBIETTIVO**: tanto più grande è il suo valore, tanto maggiore sarà la quantità di luce raccolta dal nostro telescopio e quindi tanto maggiore l'ingrandimento effettivo utilizzabile, la massima magnitudine visibile e il potere risolutivo del telescopio. Le nostre pupille, al buio, si possono dilatare al massimo di 6 o 7 mm e questo vuol dire che c'è una superficie utile di 7 mm che raccoglierà radiazione elettromagnetica proveniente dalle stelle. Se noi aumentiamo questa superficie utile aumenteremo anche il flusso di energia raccolto (proporzionale appunto alla superficie); praticamente raccoglieremo più luce e questo ci renderà possibile la visione di oggetti deboli, che ad occhio nudo non potremmo vedere. Si capisce quindi come il diametro dell'obiettivo di un telescopio sia importante per poter osservare oggetti deboli. Se noi poi raccogliamo più luce, avremo anche più possibilità di ingrandire il nostro oggetto e di riuscire a "risolverne" i particolari. Il potere risolutivo di un telescopio (o di uno strumento astronomico in generale - il discorso vale anche, ad esempio, per i radiotelescopi, i telescopi in infrarosso, ecc.) è la capacità di riuscire a distinguere due oggetti che siano molto vicini tra loro e lontani dall'osservatore. Un esempio: se io prendo due lampadine e le metto davanti a me ad una distanza di due metri, le vedrò separate; se le allontano di 100 o 200 metri, probabilmente non le vedrò più separate ma mi sembreranno una lampadina sola. Usando un telescopio potrei nuovamente riuscire a distinguerle o, come si dice, a "risolverle".

La seconda caratteristica importante è la **LUNGHEZZA FOCALE**, che determina la luminosità (soprattutto quella fotografica) del sistema. La lunghezza focale è praticamente la lunghezza che deve percorrere la luce per arrivare dall'obbiettivo all'oculare dove, appunto, sta il fuoco. Attenzione: non è il telescopio che ingrandisce l'immagine! Il telescopio serve solo, come descritto prima, a raccogliere più luce. È l'oculare, cioè un altro sistema di lenti, che ingrandisce l'immagine. L'ingrandimento di uno strumento si trova dividendo la sua lunghezza focale per la lunghezza

focale dell'oculare. Per esempio se ho un telescopio con 2 metri (2000 mm) di focale e un oculare di 10 mm di focale avrò:

$$2000 \text{ mm} / 10 \text{ mm} = 200 \text{ ingrandimenti}$$

Quindi la lunghezza focale e' importante per calcolare gli ingrandimenti. Non è conveniente però scegliere uno strumento con lunghezza focale elevata perchè questo si pagherebbe in termini di luminosità: il discorso è del tutto analogo a quello degli obiettivi fotografici. Più un obiettivo è luminoso e minore sarà il tempo di esposizione necessario per la fotografia. Lo stesso vale per i telescopi, considerando che i tempi di posa possono venire ridotti di parecchi minuti (ore!) usando strumenti luminosi. Il rapporto focale e' un indice della luminosità di uno strumento e si trova dividendo la lunghezza focale per il diametro dell'obiettivo:

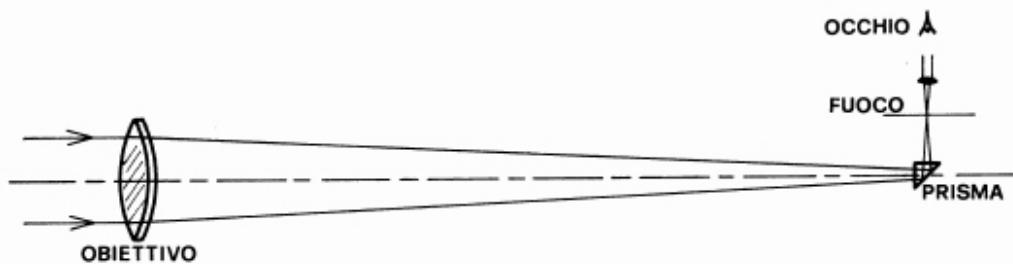
$$F \text{ (mm)} / D = f$$

Più questo numero e' basso e più il telescopio e' luminoso.

Telescopi rifrattori

Un telescopio rifrattore e' uno strumento che sfrutta il principio fisico della rifrazione per focalizzare i raggi luminosi provenienti dalla volta celeste. Tale principio dice che se un raggio luminoso attraversa la superficie di interfaccia tra due mezzi diversi, esso subisce una deviazione che dipende dalle caratteristiche dei due mezzi. Se un raggio luminoso passa quindi dall'aria al vetro dell'obiettivo di un telescopio rifrattore, subirà un cambiamento di traiettoria. Tutti i raggi luminosi vengono quindi focalizzati nel fuoco, dove si trova l'oculare che ingrandisce l'immagine.

L'obiettivo di un rifrattore e' costituito da una lente biconvessa o, in combinazioni con prestazioni migliori, da un gruppo di due o tre lenti. L'aumento del numero di lenti riesce a correggere alcune aberrazioni della lente singola (aberrazione cromatica, sferica). I rifrattori si presentano di solito come dei tubi stretti e lunghi (quelli che si usano anche per osservazioni terrestri). Già questo ci fa capire che sono strumenti con un rapporto Focale/diametro molto alto e quindi strumenti poco adatti alla fotografia di oggetti deboli diffusi o nebulosi. I rapporti focali tipici di un rifrattore sono f/10, f/15 quindi il diametro dell'obiettivo e' la decima, quindicesima parte della lunghezza focale.



Lo schema ottico completo di un telescopio rifrattore. L'ingrandimento è dato dal rapporto tra lunghezza focale dell'obiettivo e lunghezza focale dell'oculare.

I telescopi rifrattori sono i più adatti per l'osservazione dei pianeti e della luna e danno di solito delle immagini molto nitide ed incise. Sono molto facili da usare e non richiedono particolari tipi di manutenzione necessari invece ai telescopi riflettori. Unico neo: costano tanto e più il diametro aumenta e più sale il prezzo! I costi sono alti perché la lavorazione di una lente (nel caso di più lenti ancora peggio!) richiede più tempo: bisogna lavorare due superfici e non semplicemente una come per uno specchio.

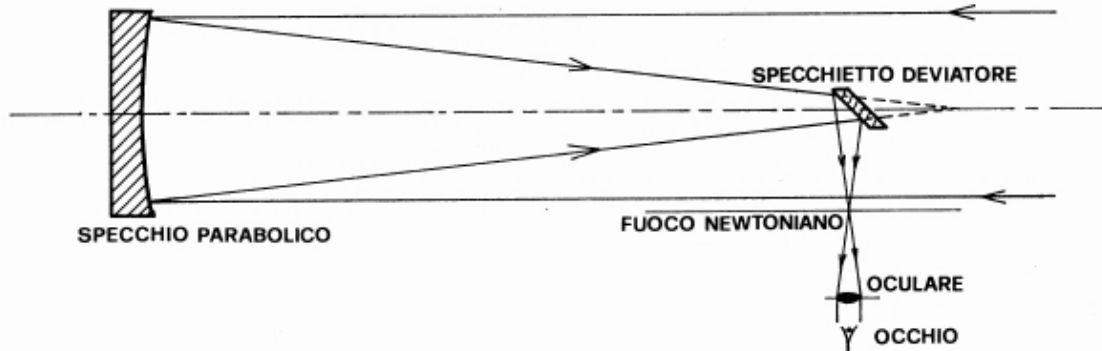
E per questo che piuttosto che spendere milioni per un rifrattore di 30, 40 cm di diametro, che peraltro sarebbe molto scomodo da utilizzare avendo un tubo di 3,4 metri(!), si preferiscono i riflettori, strumenti molto più compatti e trasportabili.

Telescopi riflettori

I telescopi riflettori usano un'altro principio fisico per focalizzare la luce: la riflessione. La riflessione è forse più intuitiva della rifrazione (la sperimentiamo tutte le volte che ci guardiamo allo specchio!). Nel rifrattore, l'obiettivo è costituito da uno specchio concavo sferico o parabolico che manda i raggi luminosi verso un secondo specchio (detto specchio secondario) piano o convesso che può essere disposto in diverse configurazioni:

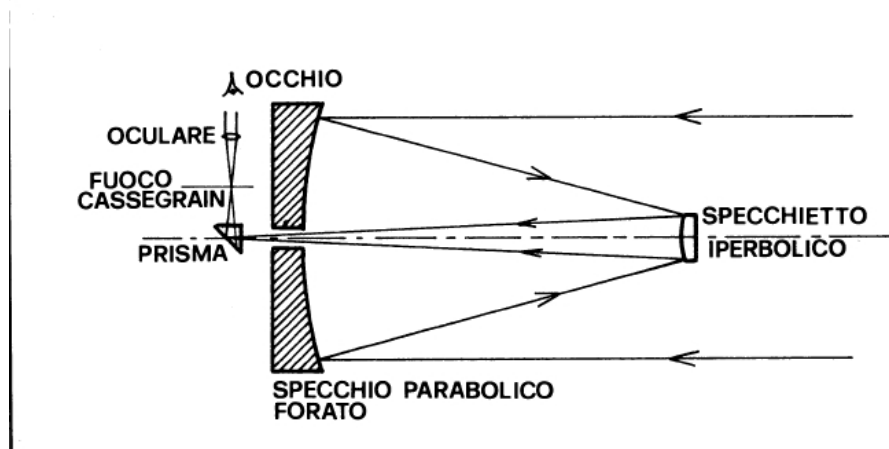
- configurazione NEWTON (la più semplice): lo specchio secondario è piano e inclinato di 45 gradi in modo da riflettere il fascio luminoso proveniente dallo specchio primario verso un lato del tubo del telescopio, vicino alla sua estremità aperta (da dove entrano i raggi). L'osservatore si mette

quindi a lato del tubo; per grossi strumenti (30, 40 cm di diametro), puo' essere necessaria una scala!

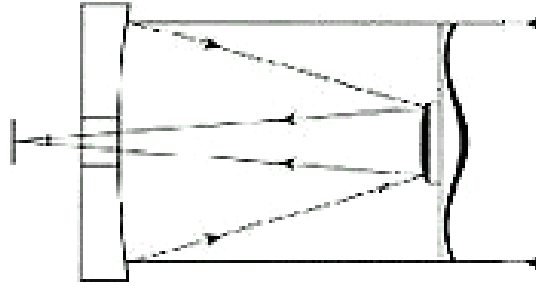


Schema ottico completo di un telescopio di tipo riflettore « Newton »; lo specchietto deviatore è piano e ha unicamente la funzione di deviare a 90 gradi il percorso dei raggi ottici.

- configurazione CASSEGRAIN: lo specchio secondario è convesso e posto di fronte al primario e riflette i raggi nuovamente verso il primario, che, essendo forato ne permette il passaggio fino all'oculare che, stavolta, si trova sul fondo dello strumento (analogamente ai telescopi rifrattori).



- configurazione SCHMIDT-CASSEGRAIN: e' identica alla Cassegrain tranne che per la presenza di una lente correttrice davanti all'apertura del telescopio. Tale lente serve per correggere l'aberrazione sferica dello specchio primario.



Esistono molte altre configurazioni e qui ci siamo limitati alle principali. I vantaggi del telescopio riflettore sono la sua luminosità ($f/4.5$ $f/7$) e la sua compattezza che lo rende uno strumento con vaste possibilità di utilizzo e facilmente trasportabile, almeno fino a diametri dell'obiettivo di 25, 30 cm. La fotografia di oggetti deboli come galassie, nebulose viene fatta proprio con questi strumenti. I telescopi più grossi del mondo (Palomar, e molti altri) sono riflettori. Provate ad immaginare un riflettore di 5 m di diametro con un tubo lungo 50 metri e più...!

Un rifrattore, come visto nella puntata precedente sono meno costosi dei rifrattori a parità di diametro ma necessitano di qualche accorgimento in più come ad esempio la periodica centratura delle ottiche e, dopo qualche anno la rilluminatura della superficie riflettente dello specchio.

Accessori per i telescopi

Anche per parlare di accessori ci vorrebbe tanto tempo e quindi mi limito ad alcuni esempi:

oculari: in realtà non sono così "accessori" in quanto averne almeno uno è indispensabile altrimenti non si potrebbe usare il telescopio. Ce ne sono di diverse focali e di diversi tipi. La qualità di un oculare dipende dal tipo di gruppo ottico che sta al suo interno: ci sono oculari semplici (e scadenti!) e oculari più complicati (e costosi!)

filtri: i filtri che di solito vengono dati in dotazione con i telescopi commerciali sono due: quello solare e quello lunare. **NON USARE MAI IL FILTRO SOLARE PER OSSERVARE IL SOLE DIRETTAMENTE!!!!** Tale filtro infatti deve sopportare tutta la radiazione proveniente dal sole concentrata sulla sua superficie ed è molto facile che dopo alcuni minuti si rompa. Chiaramente se lui si rompe mentre voi state lì a guardare...non si romperà solo lui ma anche la vostra retina! Ci

sono altri metodi per osservare il sole: usare dei filtri posti DAVANTI all'obiettivo oppure proiettarne l'immagine su degli schermi (forniti di solito in dotazione con i piccoli telescopi rifrattori). Il filtro lunare serve a limitare la luminosità del nostro satellite che, se in fase avanzata, ci manda una luce che può essere fastidiosa. Altri filtri servono per le osservazioni dei pianeti, per far risaltare certi particolari. Altri ancora servono per poter osservare meglio in presenza di inquinamento luminoso.

prismi vari: prismi per raddrizzare l'immagine (che al telescopio appare capovolta) da usare per le osservazioni terrestri.

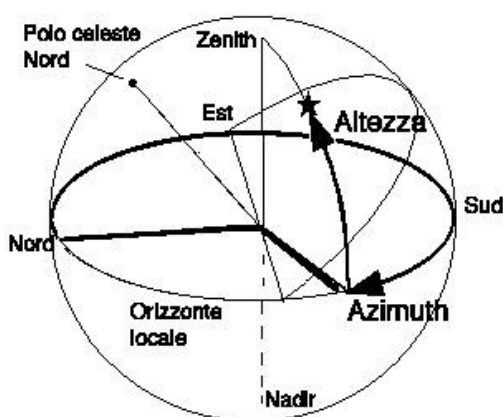
minicomputer per puntamento automatico, motorini per i movimenti.

...e tante altre cose...!

MONTATURE ED ORIENTAMENTO DEL TELESCOPIO

Allo scopo di comprendere meglio il discorso sulle montature dei telescopi bisognerà prima parlare delle "coordinate celesti" e dei sistemi di riferimento sulla volta celeste. Analogamente a come è stato fatto per la Terra, anche sulla sfera celeste è stata ideata una rete immaginaria di linee simili ai meridiani e ai paralleli terrestri, onde poter stabilire con precisione e sicurezza la posizione di qualsiasi astro ad un dato istante. Esistono diversi sistemi di coordinate della sfera celeste, ed

ognuno di essi è più pratico per certi scopi rispetto ad altri. Noi vedremo due soli sistemi, quelli che ci interessano per le montature: sistema altazimutale e sistema equatoriale.

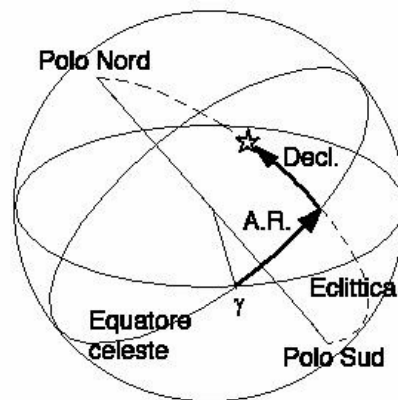


Il sistema altazimutale è il più semplice ed intuitivo caratterizzato da due coordinate: l'altezza (h) e l'azimut (A). L'altezza è l'arco di cerchio verticale compreso fra l'orizzonte e il punto considerato sulla sfera celeste, cioè la distanza angolare tra la linea dell'orizzonte ed il corpo

celeste che interessa; si conta da 0° a 90° verso lo zenit, cioè verso il punto della sfera celeste che

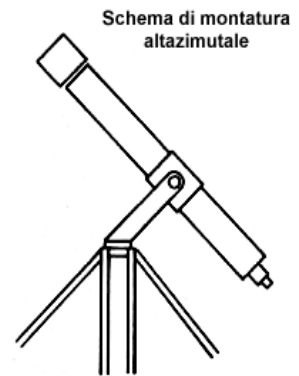
sta sulla verticale dell'osservatore. L'azimut è l'arco di cerchio orizzontale compreso tra la direzione sud e la verticale calata dal corpo celeste interessato: si misura positivamente verso ovest, negativamente verso est. Un astro esattamente ad ovest ha un azimut di $+90^\circ$. Le coordinate del sistema altazimutale variano da luogo a luogo e nei diversi momenti della giornata.

Il sistema equatoriale è il più utile e più usato dagli astrofili, caratterizzato anch'esso da due coordinate fondamentali: ascensione retta (A.R.) e declinazione (D). L'Ascensione Retta che corrisponde alla longitudine terrestre, si conta in ore e minuti e secondi sull'equatore celeste, a partire da un punto fisso ben determinato, chiamato "punto vernale" o "punto gamma". Il punto gamma è il punto della volta celeste scelto per convenzione dove l'eclittica incrocia l'equatore celeste. E' anche chiamato "punto d'Ariete" perché in primavera, in questa posizione della volta celeste, anticamente si trovava la costellazione dell'Ariete. (L'equatore celeste, cerchio fondamentale del sistema equatoriale, è la proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste; l'eclittica è l'orbita apparente percorsa dal Sole sulla volta celeste in un anno). La Declinazione, che corrisponde alla latitudine terrestre, si misura in gradi lungo un cerchio orario, cioè lungo un cerchio massimo passante per i poli, a partire dall'equatore celeste: verso nord è positiva e va da 0° a $+90^\circ$, verso sud è negativa e va da 0° a -90° . La declinazione è una coordinata in prima approssimazione immutabile nel tempo e indipendente dal luogo. Poiché nel sistema equatoriale le coordinate sono fisse (a prescindere da movimenti propri di un astro), una stella qualsiasi può essere identificata in base ad esse. Gli atlanti e i cataloghi stellari riportano la posizione di ogni oggetto astronomico usando l'ascensione retta e la declinazione. Questa introduzione ci permette di capire che le montature dei telescopi, rispettivamente altazimutale ed equatoriale, si basano per il loro orientamento e la loro costruzione sui sistemi di coordinate che abbiamo spiegato. Entrambe sono caratterizzate da due assi rispetto ai quali può ruotare il tubo del telescopio.



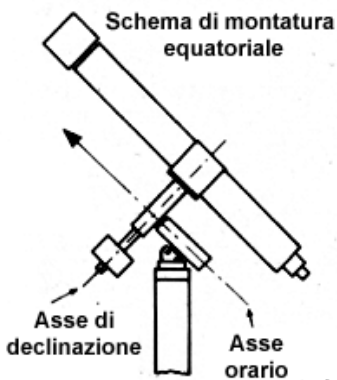
Montatura altazimutale

Un asse è verticale ed intorno ad esso avviene il movimento in azimuth; l'altro, orizzontale, consente il movimento in altezza. I due assi, che assicurano al telescopio la possibilità di essere diretto in qualsiasi direzione, sono perpendicolari fra di loro. E' questa la montatura più semplice, ma è anche la meno comoda. Infatti, siccome col moto apparente della sfera celeste tutti gli astri eseguono cerchi paralleli all'equatore celeste, per seguire un astro per un certo tempo occorre far girare lo strumento contemporaneamente su entrambi gli assi.



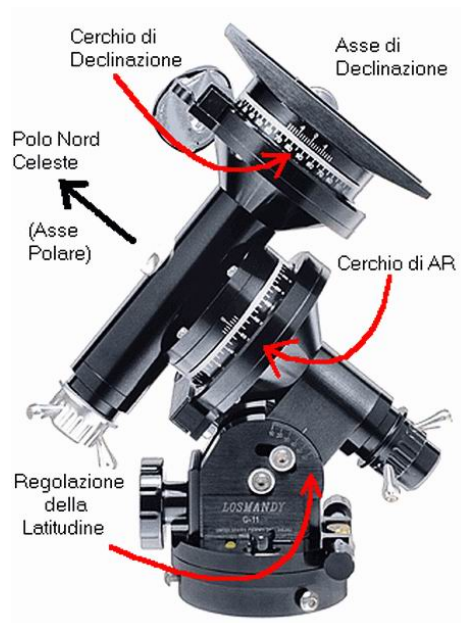
Montatura equatoriale

Un'asse, quello che era verticale nell'altazimutale, ora è di retto verso il polo celeste e prende il nome di asse polare o asse orario. Poiché la latitudine è indicata dall'altezza del polo sull'orizzonte, l'asse polare è inclinato in modo da formare, rispetto al piano dell'orizzonte, un angolo uguale alla latitudine del luogo di osservazione. L'altro asse è chiamato asse di declinazione, perché intorno ad esso il tubo dello strumento viene spostato lungo la coordinata celeste che abbiamo visto in precedenza. Nella montatura equatoriale è possibile, con un motorino opportunamente regolato, far girare lo strumento attorno all'asse orario con la stessa velocità angolare della Terra (un giro completo in 24 ore): in questo modo qualunque



astro rimane sempre fisso nel campo di visibilità. La montatura equatoriale, per merito della sua praticità, è la più usata in ambito amatoriale. Di essa esistono diverse versioni, ma la più classica è quella definita "**alla tedesca**", nella quale il tubo è a sbalzo e controbilanciato dalla parte opposta da un contrappeso. Questa soluzione è particolarmente consigliabile con i rifrattori e con tutte le configurazioni ottiche che prevedono un tubo lungo rispetto al diametro. Molto diffusa tra i riflettori medio-grandi è la montatura "**a forcella**", con la forcella posta sul prolungamento dell'asse polare, inclinata verso il polo. Questa versione presenta molti vantaggi, come l'accessibilità a qualsiasi punto del cielo, buona stabilità a parità di ingombro e peso, necessità di un solo appoggio. Molte altre soluzioni sono state studiate e realizzate per i telescopi professionali, tra queste, quella sicuramente più famosa è la montatura cosiddetta "**a ferro di cavallo**" del telescopio da 5 m di

Monte Palomar. E' chiamata in questo modo per la caratteristica sagoma con la quale termina superiormente l'asse polare.



COME LAVORARE UNO SPECCHIO

Un'impresa che da grande soddisfazione e tutto sommato non difficilissima

La differenza dell'obiettivo di un rifrattore, la costruzione dello specchio di un telescopio di tipo Newton può venire intrapresa anche da un dilettante con buone possibilità di successo. Le doti che si richiedono sono: costanza, pazienza, pulizia e accuratezza. L'unico punto del lavoro che necessita di abilità è la parabolizzazione, ma questa fase si può tralasciare se si sceglie un diametro non eccedente i 15-16 cm ed un rapporto di apertura di almeno f/9. Una scelta del diametro sui 15 cm ci viene consigliata da una breve riflessione.

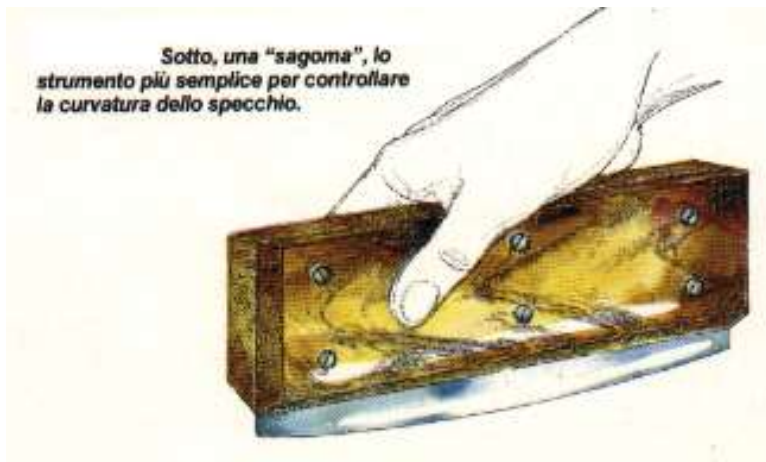


Gli specchi fino a 10-12 cm di diametro hanno un prezzo molto contenuto (perché sono sferici e lavorati commercialmente); dall'altra parte, non è consigliabile tentare subito la costruzione di un diametro oltre i 20 cm, perché le difficoltà e i costi crescono velocemente con le dimensioni.

Come primo tentativo, quindi, il neofita dovrebbe orientarsi su un diametro compreso fra i 15 e i 20 cm. Noi pensiamo che per la prima lavorazione 15 cm rappresenti, in assoluto, il valore più consigliabile: specchi più grandi si possono levigare in seguito dopo la fondamentale esperienza acquisita con il 15 cm. Uno specchio fino ai 17-18 cm, inoltre, non richiede vetro speciale e non si deforma anche se sostenuto in soli tre punti.

Attrezzatura e materiale

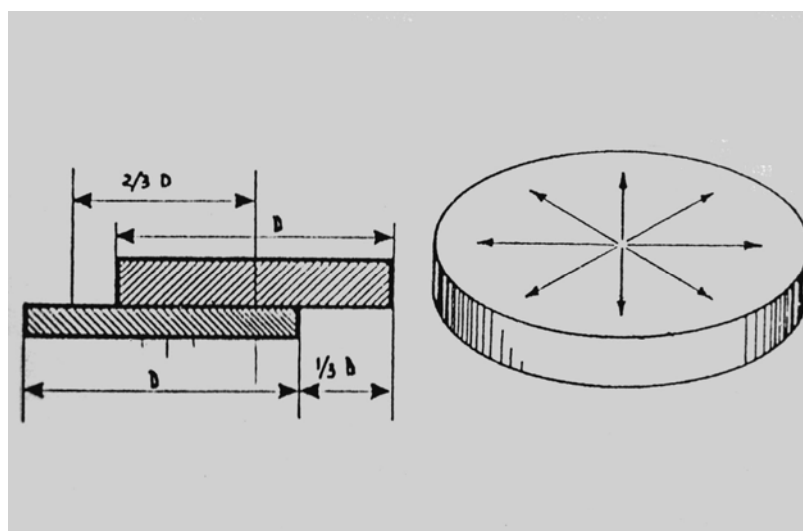
Per la lavorazione di uno specchio, occorre disporre di un locale adatto, asciutto e con un lavello,



nonché di un "banco di lavoro" piccolo e rotondo, alto circa 90 cm e appesantito alla base per evitare che ondeggi durante il lavoro di levigatura.

Con un diametro di 15 cm come materiale basta il vetro comune, del tipo fornito in lastre spesse circa 2 cm.

Uno dei due dischi necessari, l'utensile, viene fissato al banco di lavoro, l'altro, quello che diventerà lo specchio del telescopio, viene fatto sfregare sopra con movimenti regolari di "va e vieni" in tutte le direzioni.

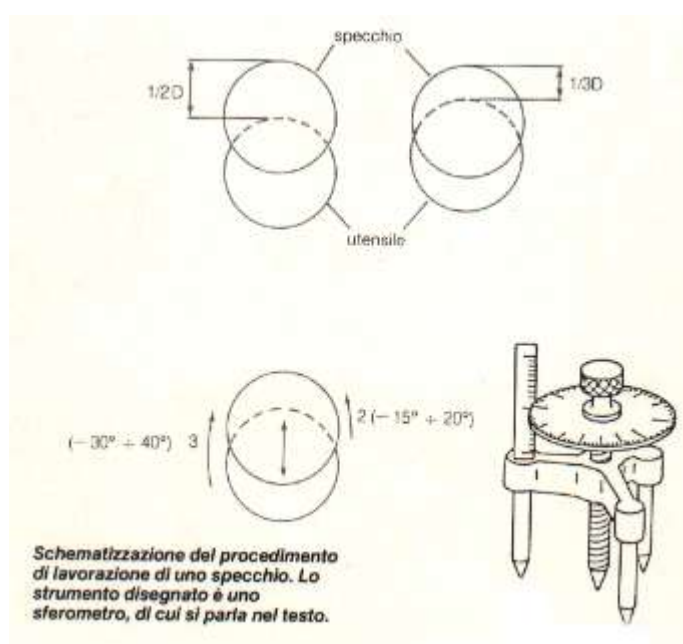


Tra i due dischi di vetro viene posto dell'abrasivo che, asportando ad ogni sfregamento piccole particelle di vetro, fa assumere "naturalmente" una forma concava allo specchio superiore e convessa a quello inferiore.

La sbozzatura

La prima fase della lavorazione prende il nome di sbozzatura e serve a dare alla superficie una forma molto vicina a quella sferica; consiste nello scavare lo specchio con un abrasivo a grana grossa, come il carborundum n. 80, del quale basta depositare un cucchiaino da tè con alcune gocce d'acqua sull'utensile. Ma prima di iniziare questa fase conviene molare i bordi dei dischi con un panetto di abrasivo per evitare che, durante la lavorazione, dei bordi taglienti si stacchino e finiscano insieme all'abrasivo tra i due dischi, provocando brutte rigature.

Si inizia con movimenti di va e vieni dello specchio, o meglio, del disco che dovrà diventarlo, sull'utensile, in modo che la corsa sia di $\frac{2}{3}$ del diametro e quindi $\frac{1}{3}$ da una parte e $\frac{1}{3}$ dall'altra; per esempio con uno specchio di 15 cm si hanno 10 cm di corsa e 5 di sporgenza. Ogni volta che si



e eseguono questi movimenti si deve ruotare intorno all'utensile (due volte al minuto) e dare allo specchio un piccolo spostamento angolare. Queste due rotazioni, che devono continuare anche durante le lavorazioni successive, hanno lo scopo di distribuire uniformemente il lavoro di levigazione, dando forma ad una superficie di rivoluzione.

Per uno specchio di 15 cm a f/9 il lavoro di sgrossatura dura circa un paio d'ore, durante le quali il carborundum deve essere

cambiato diverse volte: ogni volta che la poltiglia cui dà luogo con la polvere di vetro non "morde" più lo specchio.

Alla fine di questa lavorazione, prima di passare alle fasi successive, conviene misurare la concavità raggiunta.

La misura della concavità

Questa, chiamata freccia, è data dalla formula $r^2/2R$, dove r è il raggio del disco e R è il raggio della curvatura della superficie. Nel caso di uno specchio di 15 cm di diametro a $f/9$ (raggio di curvatura = 270 cm; il doppio della focale) la freccia è uguale a: $7,5^2/2 \times 270 = 0,104$ cm.

Per misurare questa piccola quantità lo strumento più adatto è lo sferometro, un piccolo "treppiede", con i piedi ai vertici di un triangolo equilatero, che sostiene una vite centrale, con passo molto fine, alla quale è collegata una graduazione.

Lo sferometro consente di leggere con facilità intervalli di 1/100 di millimetro. In mancanza di esso, la misura della profondità si può rilevare ponendo sopra lo specchio una barra rigida e sopra di questa si appoggia un buon calibro. La freccia si misura con l'astina posteriore, mentre il calibro è posato (con la parte posteriore) sulla barra. La conoscenza esatta della freccia, e quindi della lunghezza focale, non è comunque determinante, perché se anziché di m 1,35 lo specchio esce con una focale di m 1,3 o m 1,4, le prestazioni rimangono praticamente inalterate; bisognerà solo modificare un po' la lunghezza del tubo destinato ad ospitare le ottiche.

A differenza di un obiettivo rifrattore, infatti, la superficie dello specchio del newtoniano non deve combinare con altre superfici, ma forma l'immagine da sola. Comunque, è bene ricordare, se si desidera apportare delle correzioni in questo senso, che una profondità maggiore si ottiene continuando la sgrossatura, una minore invertendo lo specchio con l'utensile.

Le fasi successive della lavorazione prevedono l'impiego di abrasivi via via più fini; dopo l'80 il 120, quindi il 240, 320, 400 e 600.

Sia gli abrasivi che i dischi di vetro si acquistano presso gli stessi costruttori di materiale ottico oppure ci si può rivolgere direttamente alle ditte che li producono, i cui indirizzi sono presenti negli elenchi telefonici o noti alla più vicina associazione di astrofili.

Gli abrasivi più fini, il cui impiego prende il nome di smerigliatura, hanno lo scopo di rendere la superficie più liscia, asportando la granulazione residua allo scopo di preparare una superficie per la levigatura. Ogni abrasivo dev'essere utilizzato per almeno 20 minuti prima di passare al successivo. Saltare un passaggio non conviene assolutamente, perché il tempo così risparmiato lo si pagherebbe salato con quello molto più lungo che richiederebbe la lavorazione con l'abrasivo più fine. È molto importante, passando da un abrasivo al successivo, lavare bene i dischi in modo che tra di essi non rimanga neppure un granello dell'abrasivo precedente, che provocherebbe delle rigature, con

l'obbligo di ripetere il lavoro. Se, per un qualsiasi motivo, si dovesse interrompere la lavorazione, non si lascino i due dischi a contatto con l'abrasivo in mezzo: si cementerebbero e il loro distacco avverrebbe solo in seguito a forti colpi. Si tolga, invece, l'abrasivo e, fra i dischi, si frapponga un foglio di carta.

Si prosegue con la levigatura, che ha il compito di rendere ancora più liscia la superficie di quello che sarà lo specchio. Per questa lavorazione, che non è altro che il proseguimento della smerigliatura, si utilizzerà un materiale più morbido del carborundum, che spiana le irregolarità provocate dagli abrasivi precedenti.

La lucidatura

L'ultima fase, la lucidatura, è la più lunga. Molti astrofili autocostruttori alle prime armi, arrivati a



Sopra. Ecco l'utensile con le tavolette di pece durante la lucidatura, la fase più stressante e lunga di tutta la lavorazione. Il disco superiore è

quello che diventerà lo specchio del nostro telescopio. I dischi di questa fotografia hanno un diametro di 20 centimetri.

questo punto, ritengono d'aver quasi terminato il lavoro; non sanno che il più deve ancora arrivare. Per la lucidatura occorre, innanzitutto, preparare l'apposito utensile. Forse il metodo più semplice consiste nell'usare delle tavolette di pece di 2 o 3 cm di lato e di non più di 1 cm di altezza da fissare sopra l'utensile, dopo averle riscaldate e aver interposto una vernice per farvele aderire. Esse non devono toccarsi; inoltre, il centro dell'utensile non deve corrispondere

né ad uno spazio vuoto, cioè ad un "canale" tra una tavoletta e un'altra né, preferibilmente, al centro di una tavoletta di pece.

Dopo un abbondante lavaggio con acqua e una compressione della pece, ottenuta con un peso di circa 5 kg per diverse ore, si pennella sulla pece l'ossido per lucidatura (ossidi di cerio e di cesio, per i quali si prepara una sospensione in acqua nelle proporzioni di un cucchiaino per bicchiere) e si inizia l'operazione con gli stessi movimenti indicati nella parte precedente.

L'intenso lavoro richiede circa 8-10 ore, durante le quali è necessario di tanto in tanto (quando si nota un'aumentata aderenza delle superfici) aggiungere altro ossido, possibilmente senza fermare

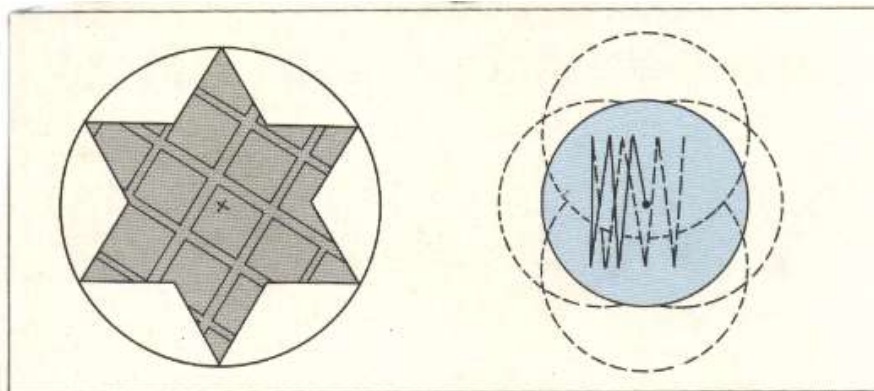
del tutto i movimenti. Affinché la pece non sia ne troppo morbida ne troppo dura, la temperatura del locale dovrebbe essere compresa fra i 15 e i 19 gradi.

Alla fine della lucidatura si ottiene, o si dovrebbe ottenere, uno specchio sferico. Come sappiamo, questa forma non fornisce immagini perfette di oggetti posti all'infinito, ma se il rapporto d'apertura e il diametro sono sufficientemente contenuti, l'aberrazione sferica risultante non altera in modo sensibile la figura di diffrazione.

Per un diametro di 15 cm ciò avviene quando la focale raggiunge 126 cm, un valore molto vicino a $f/8$. Questo significa che uno specchio sferico di 15 cm di diametro a $f/9$ funziona altrettanto bene di un parabolico. Se, quindi, non ci si sente in grado di intraprendere il difficile lavoro di parabolizzazione, si può lasciare lo specchio sferico, senza timore di perdere molto in qualità.

La parabolizzazione

Se, al contrario, lo specchio ha un diametro maggiore o un rapporto d'apertura più spinto, come $f/7$ o $f/5$, allora è indispensabile procedere alla parabolizzazione, che non è un'operazione semplice. Si



I disegni riprodotti sopra schematizzano le operazioni riportate nel testo: quello di sinistra

si riferisce a come modificare la forma della patina di pece (e stella) per ovviare a una lucidatura non

perfettamente riuscita; a destra si illustrano i movimenti per ottenere la parabolizzazione.

raggiunge con movimenti a zig-zag vicino ai bordi per circa una decina di minuti, se gli spostamenti avvengono alla velocità di uno al secondo. Cioè, rispetto alle lavorazioni precedenti, oltre al movimento di va e vieni, si deve fare contemporaneamente anche

uno spostamento in senso perpendicolare in modo di ottenere un moto a zig-zag, e inoltre si allunga la corsa da $2/3$ a $4/5$ il diametro dello specchio. Tra lo specchio e l'utensile si frappono il materiale per la lucidatura.

Parabolizzare uno specchio sferico significa scavare di più al centro.

Se lo specchio risulta più lucido ai bordi vi si rimedia allungando le passate; viceversa nel caso che risulti maggiormente lucidato al centro. Normalmente queste correzioni sono sufficienti; in caso

contrario bisogna prendere misure più drastiche. Si ritaglia via la pece dai bordi nel primo caso e dal centro nel secondo. Alla parte di pece lasciata o tagliata via si dà la forma di una stella.

Dopo la lucidatura lo specchio dovrebbe essere terminato; se la lavorazione è stata accurata o meno lo si potrà controllare tramite i vari test esistenti per saggiare le qualità delle ottiche astronomiche come quelli noti sotto il nome di reticolo di Ronchi o lama di Foucault.

A questo punto il nostro specchio può essere ricoperto da uno strato sottilissimo di alluminio, operazione che bisogna fare effettuare presso un laboratorio ottico che possieda una campana sotto vuoto.

Lo specchietto secondario piano è più conveniente acquistarlo che costruirlo, dato il suo basso costo.