

# Prova ottica di specchi per telescopio

**D**alla mole di corrispondenza che ci perviene sull'argomento abbiamo potuto constatare che il numero di lettori appassionati di astronomia è abbastanza grande. Siamo anche stati in grado di rilevare che molti di questi appassionati preferisce effettuare da se la lavorazione ottica degli specchi da installare nei loro telescopi a riflessione, da un lato per ragioni di economia (uno specchio del diametro di una ventina di cm. fatto lavorare da un ottico, infatti costa una cifra non trascurabile) e dall'altro per ragioni di soddisfazione. Ci rivolgiamo dunque a questi appassionati, per parlare di un aspetto molto importante della lavorazione ossia quello delle prove ottiche, e quello della ulteriore lavorazione degli specchi, già portati alla lunghezza focale voluta, per trasformare la loro curvatura, da sferica che era, in parabolica.

Al termine della lavorazione ottica con il contropezzo di tipo convenzionale, infatti, lo specchio ci si presenterà con una curvatura sferoidale; in tali condizioni, comunque, esso si dimostra inadatto otticamente ad essere installato in un telescopio: il perché è presto detto, dei fasci di luce paralleli, quali ad esempio, quelli, provenienti da una sorgente molto distante, quale una stella, quando sono ricevuti dallo specchio sferico, non sono da questo focalizzati in un vero punto ottico come dovrebbero; accade infatti che i raggi che giungono nella zona più centrale dello specchio, sono riflessi in un punto focale che viene a trovarsi alquanto avanzato rispetto al punto in cui si concentrano invece i raggi che colpiscono

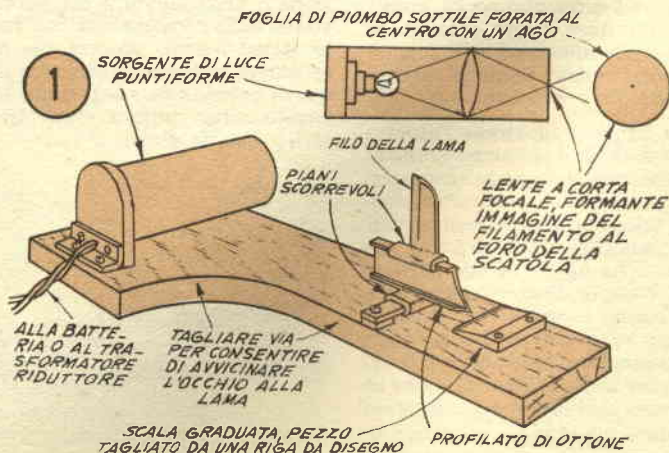
no la zona periferica dello specchio, e che sono anche essi riflessi e focalizzati dalla sfericità dello stesso. Ne risulta quindi, specialmente nel caso di specchi di grande diametro, (partire dai 15 cm. in su), che la immagine non è perfettamente netta come dovrebbe esserlo per la perfetta osservazione dell'oggetto astronomico attraverso l'oculare del telescopio. Tale difetto potrebbe è vero essere parzialmente corretto con l'applicazione di diaframmi più o meno stretti dinanzi allo specchio, ma è evidente che questo rimedio è per lo meno illogico, dato che viene ad annullare i benefici ai quali si puntava quando si è trattato di decidere per la realizzazione di uno specchio di maggiori dimensioni, invece che uno più piccolo. E' bene quindi, trovare il sistema per la eliminazione del difetto, sullo stesso specchio, prima di installare questo nel telescopio.

Il rimedio consiste nel trasformare la curvatura dello specchio stesso, da sferica, come si tro-

va a questo punto, in parabolica.

Non si deve però temere che questa altra lavorazione aggiuntiva rappresenti una notevole complicazione, dal momento che se eseguita con la cura necessaria essa risulterà addirittura meno laboriosa della lavorazione sferica eseguita sino a questo punto. Occorrerà solamente continuare per un certo tempo la lavorazione con un contropezzo, avente una particolare sagomatura ed eseguire mentre tale lavorazione viene portata avanti, a più riprese, delle prove con una speciale apparecchiatura destinata a rilevare il momento in cui la parabolizzazione dello specchio sia giunta ad un punto sufficiente alle necessità; anche la apparecchiatura da usare per la esecuzione delle prove sulla parabolizzazione, può essere preparata a casa, così che in sostanza questo perfezionamento allo specchio non viene che ad incidere per un certo numero di ore aggiuntive di lavorazione.

L'apparecchio in questione è



Dettagli costruttivi dell'apparato di Foucault per prove ottiche su specchi concavi, ed in alto, sezione del sistema di illuminazione a luce puntiforme

quello illustrato nella sua versione semiprofessionale nella figura 1; nulla impedisce che il costruttore lo realizzi in una forma alquanto diversa, purché anche in essa, lo strumento risponda a certe caratteristiche essenziali. Innanzi tutto, una sorgente puntiforme di luce, di tipo però radiante, ossia che proietti raggi luminosi in tutte le direzioni e non un fascio unico, più o meno concentrato od anche di raggi semplicemente paralleli. L'altro elemento di notevole importanza è la lama, ossia in sostanza, un oggetto metallico o di legno, avente un bordo sottile, ma ben netto e diritto, appunto come la lama di un coltello. Tale elemento deve poi essere montato su di una incastellatura tale che gli permetta un movimento verso destra e verso sinistra ed uno in avanti ed indietro. Il movimento in avanti ed indietro, poi deve essere parallelo all'asse della sorgente luminosa; infine il bordo della lama e la sorgente luminosa in questione debbono essere quanto più vicini possibile. Nella disposizione illustrata, la lama viene a trovarsi sul lato destro della sorgente di luce, ma naturalmente nulla impedisce che questa sia fatta risultare sulla sinistra.

Il complesso deve essere fissato su di una base abbastanza solida, la quale a sua volta non tenda a spostarsi o ad oscillare, è utile fare sì che il complesso risulti al livello dell'occhio dell'operatore che esegue le varie prove, stando seduto su di una sedia. Va da sé che una posizione ed un livello analoghi a quelli adottati per l'apparecchio, deve anche essere adottata per lo specchio che si intende esaminare. La distanza dello specchio deve poi essere quella del raggio di curvatura al quale esso è stato lavorato.

La sorgente luminosa la quale è sistemata in una scatola di cartone o di metallo, annerita internamente, e nel cui fondo, al centro è praticato un forellino, deve essere disposta in modo che l'operatore posto dietro di questa, leggermente a lato, possa vedere la luce emessa dal forellino stesso. Accertata questa condizione la disposizione dell'apparato deve essere perfezionata in modo che l'immagine

sullo specchio del forellino luminoso dell'apparato, si formi in prossimità della linea orizzontale che parte dall'occhio dell'osservatore e sfiora appena il bordo della lama, ad altezza media. Queste operazioni si eseguono meglio in una stanza piuttosto oscura usando magari un pezzetto di cartoncino bianco per cercare la immagine. In ogni modo, è importante accertare che la immagine del puntino luminoso riflessa dallo specchio sia delle stesse dimensioni del puntino stesso come appare al punto di partenza e che sia perfettamente in fuoco. Non è inutile provvedere un supporto qualsiasi, in modo da rimettere lo specchio anche in epoche successive, nelle stesse condizioni, per la prova, bisogna infatti ricordare che durante le operazioni della parabolizzazione, più volte deve essere eseguita la prova con l'apparecchio, per stabilire quando la parabolizzazione sia giunta ad un livello sufficiente.

L'operatore deve compiere l'operazione tenendo aperto un solo occhio (da qui la convenienza di tenere il complesso della lama, dalla parte destra del dispositivo di illuminazione). La posizione dell'operatore inoltre deve essere tale per cui la linea partente dalla immagine del punto sullo specchio, giunga all'occhio, dopo avere sfiorato il bordo della lama. Nei primi esperimenti anzi è bene disporsi proprio dietro alla lama, in modo che appena questa viene spostata verso destra, sui suoi piani scorrevoli, la luce dallo specchio, può raggiungere l'occhio; in queste condizioni, l'intero specchio deve essere visibile come un disco uniforme, bene illuminato. Ciò accade per il fatto che la immagine del punto luminoso dell'apparecchio, riflessa dallo specchio si forma così vicino all'occhio dell'operatore che il cristallino di tale occhio risulta incapace di deformarsi tanto da produrre una immagine regolare sulla retina. D'altra, parte, essendo, l'apertura dell'angolo dello specchio, tanto limitata, tutta la luce da esso riflessa entra nell'iride dell'occhio. Il risultato è che mentre la forma dello specchio e degli oggetti che lo circondano, risulta bene in fuoco sulla retina,

il punto luminoso riflesso dallo specchio, non lo è e pertanto, invece che in un unico punto, tutto lo specchio appare illuminato.

A questo punto si tratta di avanzare la lama lentamente da destra verso sinistra sino a che il suo bordo comincia a proiettarsi sul disco di luce. A questo punto, se lo specchio è perfettamente sferico, e la lama si trova nel suo punto focale, lo specchio stesso prenderà ad oscurarsi gradualmente e regolarmente, mentre la lama stessa viene via via avanzata verso sinistra.

Quando il bordo della lama si trova in corrispondenza del fuoco dello specchio, si avrà l'impressione di una ombra che avanzi attraverso la superficie dello stesso, con il movimento avente la stessa direzione dello spostamento della lama; quando invece la lama si trova fuori dal punto focale, sia troppo avanzata che troppo arretrata rispetto ad esso, si noterà che il movimento della ombra avverrà in direzione opposta a quella della lama stessa. Da ciò deriva la facilità con una tale esperienza di controllare con la dovuta precisione la lunghezza focale dello specchio, per accertare quando sia stata raggiunta quella voluta.

Il raggio di curvatura dello specchio può essere determinato con sufficiente esattezza misurando la distanza che intercorre tra il bordo della lama e lo specchio, oppure tra questo ultimo ed il forellino luminoso dell'apparecchio. Dal momento poi che metà di questa distanza è uguale alla lunghezza focale dello specchio, si dovrà annotare questa grandezza che sarà utilissimo conoscere più tardi, nel corso della costruzione del telescopio.

Nella disposizione per la prova di Foucault degli specchi per telescopi, illustrata nella fig. 2 siano presi in considerazione due casi diversi, il primo è quello che si riferisce ad uno specchio sferico (a); il secondo invece, (b), si riferisce ad una superficie ottica di specchio lavorata però secondo una sorta di legge parabolica. Nel primo, sono illustrati tre casi tipici delle caratteristiche con le quali si presenta l'ombra sullo specchio in funzio-

ne di tre diverse disposizioni della lama dell'apparecchio. I casi sono naturalmente quello in cui la lama si trova ad una distanza inferiore di quella del fuoco esatto dallo specchio; in quanto la sua ombra si muove nella stessa direzione del movimento della lama stessa, il secondo è quello della posizione della lama nel fuoco esatto ed in questo si nota un graduale oscuramento dello specchio, man mano che la lama viene avanzata (in queste condizioni si ha una vera e propria perdita di luminosità, senza però che su di esso vengano a formarsi effettivamente delle ombre). Il terzo caso è quello in cui la lama si trova fuori dal fuoco ed in questo caso, l'ombra si viene praticamente a muovere in direzione opposta a quella del movimento della lama che la determina.

Nella figura 2b, si ha uno specchio lavorato a superficie parabolica; in questo caso, quando la lama si trova nel centro esatto di curvatura dello specchio, non si riscontra alcuna posizione della lama per la quale si abbia un oscuramento veramente uniforme della superficie dello specchio. Questo si verifica perché il raggio di curvatura di uno specchio di questo genere aumenta leggermente e gradatamente dalla zona centrale dello specchio verso i margini.

Nella figura, pertanto sono segnalate, a titolo di esempio, due zone dello specchio ossia quella esterna prossima ai bordi e quella interna, prossima invece al centro. Nei tre casi illustrati, in quello più alto, ci si riferisce alla lama disposta presso a poco in corrispondenza del punto focale della zona centrale, in quello in basso ci si riferisce alla lama disposta in corrispondenza del punto focale della zona centrale dello specchio; nel particolare centrale, infine ci si riferisce ad una condizione intermedia, quando cioè la lama viene a trovarsi in una posizione mediana tra quella del fuoco della parte centrale e quella del fuoco della parte periferica del disco.

Quando la lama è a fuoco sulla porzione centrale del disco, è appunto questa porzione dello specchio che viene via via oscurata dalla lama che viene fatta

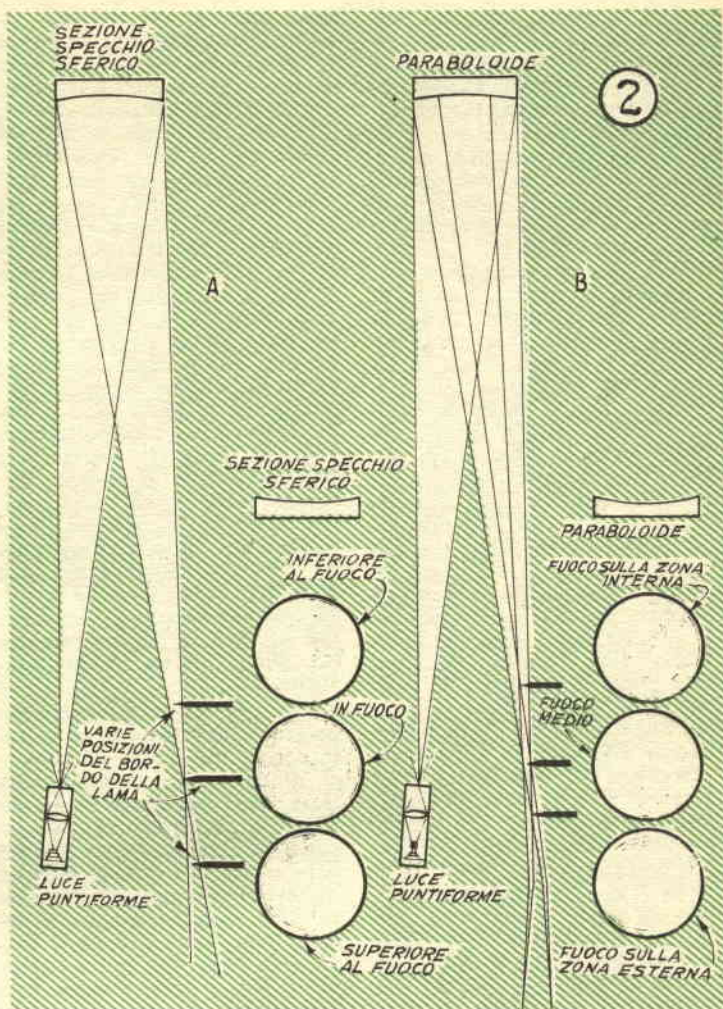


Illustrazione schematica dell'uso dell'apparato di Foucault per la prova di specchi concavi: a destra, prove relative a specchio sferico, a sinistra, prove su di uno specchio parabolico

avanzare mentre nel contempo si nota anche una piccola ombra che avanza da destra verso sinistra lungo il bordo periferico dello specchio. Quando invece la lama viene posta sul fuoco della zona esterna del disco, si nota che solo la porzione di destra della zona interna di questo risulta libera da ombre. Quando invece la lama si trova nella posizione mediana ossia in quella del fuoco intermedio tra il fuoco della zona centrale e quella del fuoco della zona periferica, si nota che l'ombra interna si muove da sinistra verso destra mentre si nota invece che l'ombra nella porzione marginale del-

lo specchio stesso, si muove da destra verso sinistra.

Nella figura 3 sono illustrati altri tipi di ombre che possono formarsi sulla superficie dello specchio, quello del particolare A si riferisce al caso in cui il bordo periferico dello specchio sia alquanto arrotondato verso l'esterno, il particolare B, invece illustra il caso in cui lo specchio abbia la porzione centrale eccessivamente incavata.

#### PARABOLIZZAZIONE DI UNO SPECCHIO SFERICO

Questa operazione intimorisce la maggior parte degli appassio-

nati di astronomia, i quali a volte rinunciano di attuarla preferendo accontentarsi di uno specchio sferico, oppure affidano il lavoro a qualche ottico attrezzato.

Nella fig. 2, nei particolari *a* e *b* sono illustrati in alto le sezioni mediane di uno specchio sferico e di uno parabolico, naturalmente le curvature non sono in scala e sono alquanto esagerate per mettere meglio in evidenza le due differenze tra i due tipi di specchio. In pratica la parabolizzazione di uno specchio sferico consiste nell'asportare da esso un certo spessore delle zone prossime al centro; da notare che lo spessore dello strato di vetro asportato in questa lavorazione è estremamente ridotto ed in genere si riduce a frazioni di un millesimo di mm. Tale modifica apportata alla superficie dello specchio è infatti talmente minuta che è praticamente impossibile rilevarla con mezzi meccanici mentre la si può controllare facilmente e con precisione, usando invece la prova di Foucault.

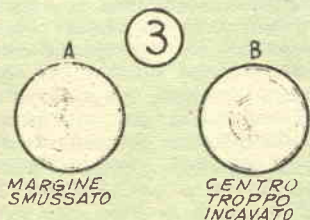
Dopo la lucidatura che comunque può anche non essere portata ad un grado elevatissimo, dello specchio, questo va sottoposto alla prova di Foucault, con l'apparato della lama; se tale esame indica che la superficie non è perfettamente uniforme, e presenta ad esempio, un arrotondamento di una porzione del margine, è assai più conveniente interrompere le prove del genere per riportare lo specchio sul piano di lavoro e continuare su di esso la lavorazione in modo da eliminarne il difetto; da notare infatti che difetti del genere sono assai difficili da eliminare con l'utensile a pece.

Se la prova preliminare ha dimostrato che lo specchio ha una superficie perfettamente sferica, allora si potrà procedere senza altro con il trattamento di parabolizzazione; per la precisione tale trattamento si attua con il contropezzo di pece, ma in cui i blocchetti siano stati modificati in modo che la sua azione abrasiva avvenga in proporzione maggiore in prossimità del centro dello specchio. Nella figura 5 è appunto illustrato l'a-

spetto del contropezzo di pece adatto per questa fase della lavorazione; le faccette di pece debbono essere tali da rendere a decrescere di dimensione man mano che ci si avvicina ai bordi dell'utensile.

In queste condizioni si effettua dunque la lavorazione dello specchio con il nuovo utensile per un breve periodo di tempo: è anzi buona norma quella di recedere per cautela, in questa fase in modo da non andare incontro a qualche spiacevole sorpresa. Tale fase del trattamento può ad esempio, protrarsi per un periodo di una diecina di minuti, tenendo però presente che vi sono diversi fattori che intervengono a variare il tempo del trattamento stesso; quale ad esempio, la pressione esercitata sull'utensile, la lunghezza delle passate, il grado di durezza della pece ecc.

Lo specchio si lucida con rosso inglese quindi la sua superficie viene accuratamente deterisa con uno straccio soffice e pulitissimo, poi, lo si sistema sul supporto che si era preparato in precedenza per esso, durante la prima fase delle prove con l'apparato di Foucault; a questo punto, però lo specchio deve essere lasciato a se stesso per un tempo di almeno un'ora, specie in estate, allo scopo di consentire alle deformazioni manifestatesi nel cristallo, per effetto del calore prodotto con l'attri-



Forme di ombre, che possono denunciare la presenza di difetti nelle curvature dello specchio. Quella della fig. A è tipica di uno specchio in cui i bordi siano stati troppo smussati. Quella della fig. B, si riferisce invece a specchi in cui la lavorazione inaccurata abbia determinato una concavità eccessiva nella zona centrale

to, di annullarsi, con il raffreddamento del cristallo stesso.

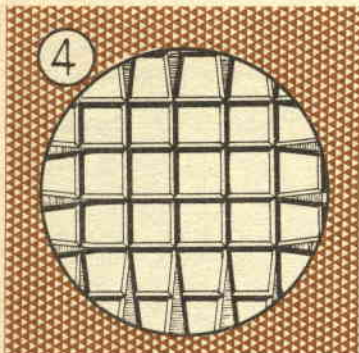
Passato tale periodo, dunque si esegue su di esso la prova con l'apparecchio, analizzando con la lama di questo le varie zone della superficie alla ricerca di eventuali difetti, quali incisioni lasciate dal bordo del contropezzo di lavorazione, lasciati in particolare dall'attrezzo quando questo è di pece piuttosto dura e quando i bordi dell'utensile durante la lavorazione raggiungono sempre la stessa distanza radiale dal centro del cristallo in lavorazione; il rimedio a questo inconveniente è quello di adottare durante la lavorazione delle passate di lunghezza diversa.

Un certo numero di passate via via più leggere saranno necessarie prima che lo specchio sia portato ad uno stato che nel corso della prova di Foucault, si presenti nel modo illustrato nel particolare centrale della figura 2b.

Un perfetto parabolòide dovrebbe presentare un numero infinito di raggi di curvatura, con una lunghezza focale crescente in modo appena percettibile dal centro del disco, verso la sua periferia. E' ovvia, la impossibilità di misurare il fuoco di ciascuna piccola zona concentrica, di esso, così che per convenzione si preferisce immaginare che lo specchio stesso sia formato da due o tre distinte zone concentriche ciascuna con il suo centro di curvatura e delle quali, quella più centrale è quella che presenta la minore lunghezza focale.

La figura 2 sia nel caso di uno specchio sferico come nel caso di uno parabolico illustra come si è visto tre casi specifici ossia a fuoco sulla zona più centrale, a fuoco sulla zona intermedia ed a fuoco sulla zona periferica (dicendo « a fuoco », in questo caso intende alludere il fuoco che si manifesta quando il radiante si trova nel centro medio di curvatura).

La differenza tra i fuochi della zona centrale e di quella periferica, quando viene misurata dal centro di curvatura è una quantità definita per ogni spec-



Forma dell'utensile di pece, adatto per la parabolizzazione di uno specchio sferico

chio parabolico e viene ottenuta applicando la formula  $(r, f): R$ , nel quale il simbolo  $r$  indica il raggio del disco dello specchio ed il simbolo  $R$  indica invece il raggio medio di curvatura.

In questo caso, ad esempio, quando  $r = 75$  mm. ed  $R = 3000$  mm. la differenza sarà di circa 1,9 mm. tra la lunghezza focale dello specchio nella sua parte centrale e la lunghezza focale nella sua parte periferica.

Una mascherina di cartone sottile e solido, di diametro pari al diametro del disco ed avente delle aperture come quella illustrata nella fig. 4 sistemata sullo specchio, permetterà il rilevamento delle tre zone, centrale mediana e periferica; la formula citata in precedenza, dovrà essere applicata due volte, e cioè per i due raggi, di 50 e di 75 mm.

La scala che si trova sulla parte posteriore della incastellatura della lama e che è disposta in modo da rilevare la entità dello spostamento in avanti ed indietro, della lama stessa, può essere usata per la esecuzione di questi rilevamenti, la procedura da seguire è quella illustrata qui appresso.

La lama viene regolata in modo che con il suo spostamento si determina l'uniforme oscuramento della superficie dello specchio, nella sua zona centrale: ciò fatto senza spostare la lama si annoterà la posizione di questa rispetto alla scala fissa, posizione questa che si chiamerà, per convenienza, con il simbolo  $f_1$ .

Successivamente si fa arretra-

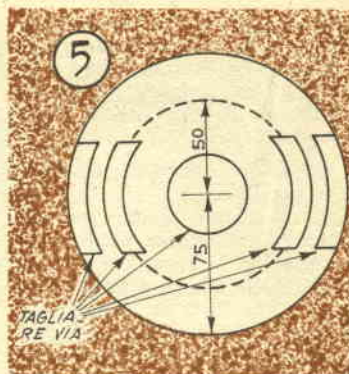
re di un piccolo tratto la lama e si stabilirà così, il fuoco della zona interna, annotando anche per questo la posizione della lama rispetto alla scala, e contrassegnandola con il simbolo  $f_2$ . Successivamente si ripete la operazione arretrando ancora la lama in modo da determinare il fuoco della zona periferica, annotando anche questa posizione della lama rispetto alla scala e contrassegnandola con il simbolo  $f_3$ .

Poi la differenza  $d_1$ , di  $f_2 - f_1$  potrà essere di circa mm. 0,838, mentre la differenza  $d_2$ , data da  $f_3 - f_1$ , potrà essere di circa mm. 1,9.

Da precisare che le prove con l'apparecchiatura di Foucault, oltre che di carattere diremo così metrico, possono anche riferirsi alla ricerca di possibili difetti di curvatura e di profilo delle superfici lavorate.

Uno dei difetti più facili da verificarsi, specialmente in quei casi in cui il contropezzo viene passato sulla superficie dello specchio, con passate aventi sempre una direzione diametricale al suo centro ed aventi tutte una lunghezza presso a poco identica, è quella della formazione di anelli in cui il livello della superficie è alquanto diverso a quello che essa dovrebbe avere per essere regolare; difetti di questo genere debbono quasi sempre essere eliminati nella fase della molatura dato che se si cercasse di correggerli nella fase della lucidatura, il successo non potrebbe essere certo ed inoltre le operazioni risulterebbero assai lunghe. Dal momento che nella maggior parte dei casi tali anelli sono ad un livello inferiore di quello medio della superficie, per porvi rimedio si tratta quasi sempre di molare tutta la superficie dello specchio sino a portarla ad un livello corrispondente al punto più profondo dell'anello, e quindi operare come al solito, agendo però l'avvertenza di adottare delle passate di lunghezza inconstante, anche se aventi tutte una direzione corrispondente al diametro del disco di cristallo.

Il difetto illustrato nel particolare  $a$  della figura 3, può an-



Mascherina con finestrelle, da realizzare per la prova del fuoco degli specchi, nella zona centrale, in quella mediana ed in quella periferica

che esso considerarsi una specie di anello e per questo conviene porvi rimedio nella maniera solita.

Le prove di Foucault possono essere eseguite usando il cristallo scoperto, e quindi mettendo a profitto la capacità di riflessione dello stesso, anche se non coperto di argento o di alluminio, in questo caso, occorre però inibire alla superficie posteriore di cristallo, in genere piana o più o meno regolare, di avere a sua volta delle riflessioni che potrebbero disturbare le riflessioni della superficie lavorata alternando le indicazioni. Un sistema abbastanza semplice per bloccare questa riflessione consiste nel sabbiare molto finemente la faccia posteriore dello sbozzo di cristallo. Nel compiere questa operazione, comunque, occorre la massima attenzione per evitare che dei granuli di abrasivo grossolani come quelli che qui è necessario usare giungano a scalfire la superficie ottica dello specchio, nel quale caso comprometterebbero un risultato conquistato con moltissime ore di lavoro. Onde evitare del tutto questo inconveniente semmai è preferibile attuare questa operazione prima di ogni altra fase della lavorazione, e quindi eliminare del tutto le minime tracce di abrasivo grossolano.