

APPARATO AUSILIARIO DEL FOTOMETRO A CUNEO PER LE OSSERVAZIONI COL METODO DI CON- FRONTO CON IMMAGINI STELLARI ARTIFICIALI

NOTA di G. SILVA

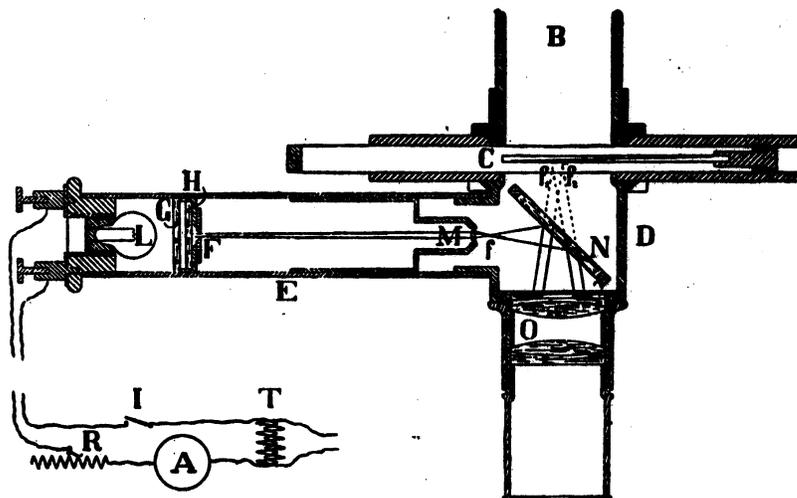
1. Le misure di grandezze stellari, eseguite mediante il fotometro a cuneo con il procedimento ordinario dell'estinzione dell'impressione luminosa, sono tanto più precise, come è noto, quanto meno variabile è la sensibilità dell'occhio. Perciò esse sono più precise quando si confrontano tra loro stelle vicine che non quando si confrontano stelle lontane, poichè nel primo caso il cannocchiale può essere successivamente e rapidamente diretto alle varie stelle, agendo soltanto con le sue viti di richiamo, senza alterare lo stato dell'occhio con l'accendere luci per letture di cerchi strumentali, mentre l'inverso avviene nel secondo caso, specialmente se si adopera lo stesso occhio per l'osservazione fotometrica e per le letture dei cerchi.

È pure noto che, per ovviare almeno in parte agli errori provenienti dalla incostanza della sensibilità visiva, è opportuno, dopo ogni volta che l'occhio è venuto a trovarsi in condizioni diverse dall'osservazione, attendere qualche po' di tempo prima di iniziare le misure, o meglio prima di registrare quelle da prendere in conto, escludendo così le prime; il che ha per conseguenza perdite notevoli di tempo.

Tale inconveniente non si verifica invece in quelle misure nelle quali, anzichè osservare l'estinzione dell'immagine stellare, si stima l'eguaglianza di due immagini. Per poter seguire questo secondo procedimento, particolarmente in misure che desideravo compiere su stelle fra loro lontane, al fine di studiare l'assorbimento atmosferico della luce, cercai un modo semplice per avere nel campo del fotometro a cuneo un'immagine stellare artificiale di intensità luminosa costante: avrei allora potuto, mediante il cuneo, diminuire le intensità luminose delle immagini reali delle stelle fino a renderle eguali a quella della immagine artificiale e dedurre con tal mezzo le differenze di grandezza tra stelle diverse o le variazioni di grandezza di una medesima stella.

Descrivo anzitutto l'apparato costruito a tale scopo, dietro le mie indicazioni, nell'officina di questo Osservatorio e indico poi, con il sussidio della figura, le variazioni introdotte rispetto ad altri apparati dai quali ebbi l'idea di quello da me progettato. Aggiungerò fin d'ora che il meccanismo può essere facilmente levato dal fotometro a cuneo di Toepfer, al quale è applicato, così da poter adoperare questo nella sua forma originaria; del resto, anche ad apparecchio applicato, il fotometro può essere usato col procedimento della estinzione, quando si voglia invece approfittare del vantaggio che questo procedimento ha di poter seguire variazioni di grandezza di astri fino all'estremo limite consentito dalla potenzialità del cannocchiale e dall'acutezza visiva dell'osservatore.

2. Nell'apparecchio su menzionato il cilindro *D*, applicato al fotometro al posto dell'oculare originario, porta il nuovo oculare *O*, la lastrina di vetro *N* a faccie piane e parallele e, ad angolo retto con il proprio asse, il tubo *E*. All'estremità di questo tubo sta la sorgente luminosa, che è



una lampadina elettrica *L* di 4 volts, alimentata dalla corrente che un piccolo trasformatore *T*, atto a ridurre a pochi volts la tensione della corrente elettrica cittadina, fornisce quando, a mezzo dell'interruttore *I*, si chiude il circuito dell'indotto, comprendente anche un amperometro *A* ed una resistenza *R*.

Il tubo *E* è attraversato da una piastrina metallica, la quale ha 5 forellini di diverso diametro e 5 intaccature nel suo bordo. Quando l'estremità di una piccola molla, penetrando in una delle intaccature, impedisce alla piastrina di scorrere su se stessa attraverso il tubo, uno dei forellini *F* viene a trovarsi sull'asse del tubo *E* e il piccolo fascio di luce che proviene dalla lampadina e attraversa il detto foro viene concentrato dalla lente *M* in un punto *f* a questa molto vicino.

I raggi, proseguendo, incontrano la lastrina trasparente N , inclinata di 45° sul loro percorso ed in parte l'attraversano, in parte vengono riflessi o dalla prima o dalla seconda faccia di essa verso l'oculare O . I raggi riflessi dalla prima faccia continuano perciò come se provenissero dal punto f_1 simmetrico di f rispetto a detta prima faccia; quelli riflessi dalla seconda, i quali subiscono anche una rifrazione all'entrare nella lastrina e una all'uscirne, continuano come se provenissero *approssimativamente* da un medesimo punto f_2 , spostato all'indietro e lateralmente rispetto ad f_1 (¹).

(¹) Un raggio, situato, per es., nel piano della figura, che provenga da f ed incontri la lastra facendo con la normale a questa l'angolo di incidenza i , dopo le due rifrazioni e la riflessione sulla seconda faccia, esce con l'angolo di emergenza eguale ad i e quindi parallelamente al raggio riflesso dalla prima faccia. Un sottile fascio di raggi, uscenti da f e di cui il raggio precedente sia l'asse, dà origine a un sottile fascio di raggi emergenti, i quali, per il noto fenomeno di astigmatismo, non convergono più in un punto, ma si riuniscono invece in due segmenti elementari, perpendicolari alla direzione del raggio emergente centrale e situati: l'uno nel piano della figura, l'altro in direzione perpendicolare allo stesso piano e parallela quindi alle facce della lastra. La posizione dei due segmenti si può avere considerando rispettivamente una coppia di raggi situati in un piano perpendicolare a quello della figura e incidenti sulla lastra con lo stesso angolo i e una coppia di raggi appartenenti al piano della figura e incidenti con gli angoli i e $i + di$. La prima coppia dà origine a due raggi emergenti i cui prolungamenti si incontrano in un punto f_2' del primo segmento, punto che è anche situato sulla perpendicolare ff_1 condotta da f alle facce della lastra; la seconda coppia dà origine a due raggi emergenti i cui prolungamenti si riuniscono in un punto f_2'' del secondo segmento, più vicino alla lastra che non f_2' . La posizione dei due punti f_2' , f_2'' , che si trovano sul prolungamento del raggio emergente centrale, resta determinata dalla distanza $f_2'f_1$ del primo punto f_2' dal simmetrico di f rispetto alla prima faccia della lastra e dalla distanza $f_2'f_2''$ tra i due segmenti, la quale misura l'astigmatismo del sistema rifrangente. Si trova

$$f_1 f_2' = \frac{2s \cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \quad f_2' f_2'' = \frac{2s (n^2 - 1) \sin i}{\sqrt{(n^2 - \sin^2 i)^3}}$$

dove s è lo spessore della lastra ed n l'indice di rifrazione del vetro.

Per $n = 1,5$, $i = 45^\circ$, ed $s = \text{mm. } 2,5$, come nel mio caso, si ha:

$$f_1 f_2' = 1,07s = \text{mm. } 2,7 \quad f_2' f_2'' = 0,54s = \text{mm. } 1,3$$

Ne viene che lo spostamento laterale di f_2' e di f_2'' rispetto ad f_1 è eguale a $f_1 f_2' \cos 45^\circ = 0,76s = \text{mm. } 1,9$, come ho potuto verificare direttamente, portando il taglio del cuneo successivamente sulle due immagini f_1 ed f_2 e leggendo lo spostamento sulla scala del cuneo, che è divisa in millimetri.

Egual al precedente valore è lo spostamento all'indietro di f_2' rispetto ad f_1 , mentre l'analogo spostamento di f_2'' è eguale a $0,76 - 0,54s = 0,22s = \text{mm. } 0,6$.

Poichè i raggi riflessi dalla seconda faccia non concorrono tutti in un me-

La lente M è tenuta da un tubo, che può scorrere entro il tubo E e può essere a questo fissato, mediante due piccole viti di pressione, in tale posizione che le immagini artificiali f_1 ed f_2 vengano a trovarsi all'incirca nel piano del cuneo C , dove si vengono pure a portare le immagini delle stelle quando si faccia convenientemente scorrere entro il tubo del cannocchiale il tubo B che porta tutto il fotometro.

L'oculare originario di questo non si presta che all'osservazione di immagini stellari vicine ad esso, mentre le due immagini artificiali f_1 , f_2 e l'immagine reale della stella devono essere lontane dall'oculare almeno quanto è necessario per interporre la lastra N ; pertanto l'oculare O deve essere costruito appositamente per tale scopo.

Per rendere più uniforme la luce che deve attraversare il foro F , tra questo e la lampadina L , è interposto un vetro smerigliato G e accanto ad esso trovasi inoltre un vetro azzurro H al fine di rendere più bianche, e più simili quindi alla generalità delle immagini stellari, quelle artificiali, che altrimenti riuscirebbero rossastre, sia per la natura stessa della sorgente luminosa, sia perchè nell'attraversare i mezzi rifrangenti interposti vengono prevalentemente assorbiti i raggi di lunghezza d'onda più piccola.

3. Nel dire come sia arrivato alla costruzione sopra descritta, voglio anzitutto ricordare che la prima idea mi venne da una citazione bibliografica ⁽¹⁾ scritta di pugno del Lorenzoni su un biglietto che trovai racchiuso nella cassetta del fotometro. Essa si riferiva ad un apparato nel quale l'immagine del forellino F era data da una pallina di vetro riempita di mercurio e agente come uno specchietto sferico concavo.

Seppi di poi che il fotometro a cuneo dell'Osservatorio del Campidoglio, fotometro costruito dal Toepfer, come quello dell'Osservatorio di Padova, aveva un analogo dispositivo, col quale l'immagine impicciolita f del foro F era data, sempre per riflessione, da uno specchietto sferico di vetro argentato, e quando, nell'anno scolastico 1915-16, questo Osservatorio poté avere la piccola somma occorrente alla costruzione, ottenni dalla cortesia del chiar.^{mo} Prof. Di Legge il prestito del detto fotometro per fare eseguire una copia dell'apparato ausiliario. Lo stesso Professore mi segnalava però un inconveniente di tale apparato, quello cioè di presentare nel campo un'aureola luminosa quando si volevano avere le immagini artificiali f_1 ed f_2 ,

desimo punto, la seconda immagine f_2 risulta meno nitida della prima f_1 , ma tuttavia bene definita.

Anche i raggi stellari provenienti dall'obbiettivo devono attraversare la lastra e incontrandola con l'angolo di 45° , danno origine a un analogo fenomeno di **astigmatismo**, ma tale aberrazione è in tal caso metà di quella dianzi considerata.

⁽¹⁾ H. ROSENBERG, *Ueber eine neue Form des Keilphotometers*, in *Astr. Nachr.* Bd. 172, n. 4120.

Tale inconveniente è dovuto al fatto che lo specchietto sferico trovasi da parte opposta al forellino F rispetto alla lastra N , cioè, riferendomi alla figura, mentre lo specchietto sta a sinistra (nel posto dove trovasi la lente M) la lampadina e il foro F si trovano a destra, dalla parte dove è segnata la lettera D . Con tale disposizione i raggi luminosi provenienti dal foro suddetto devono anzitutto attraversare la lastra N da destra a sinistra, giungendo fino allo specchietto e da questo essere riflessi in senso contrario, continuando poi come nell'apparato descritto al paragrafo precedente. Ora, quando i detti raggi arrivano alla lastra la prima volta, vengono in parte riflessi verso il cuneo, illuminandolo, d'onde la luce diffusa in mezzo alla quale si dovrebbero confrontare le immagini stellari e artificiali.

Per togliere l'inconveniente pensai di ottenere l'immagine f per rifrazione, anzichè per riflessione, nel modo dianzi descritto e cioè mediante la piccola lente M situata col forellino F da una stessa parte rispetto alla lastra N . Mi rivolsi allora alla Ditta Koristka di Milano per avere le parti ottiche (lente M ed oculare O) più rispondenti allo scopo, ma in quella epoca la Ditta stessa era oramai impegnata, in causa della guerra, in tale cumulo di lavori e di studî, da dover declinare ogni altro incarico e non potè darmi l'aiuto richiesto. Soltanto, in seguito a mia domanda, potè fornirmi come lente M un obiettivo da microscopio che, fungendo in senso contrario al solito, poteva darmi l'impacciamento desiderato del forellino F .

Quando, alla fine di quell'anno scolastico, io pure fui chiamato alle armi, la costruzione, già quasi terminata, poichè mancava oramai soltanto l'oculare, dovette essere sospesa. Ritornato agli studi nel 1919, e rivoltomi nuovamente alla cortesia del Prof. Di Legge, ebbi a prestito l'oculare, di cui la Ditta Koristka eseguì un'ottima copia (*) e con essa l'apparato potè dirsi compiuto.

4. Le due immagini f_1 ed f_2 , disposte secondo l'asse longitudinale del cuneo (direzione del cerchio di declinazione) hanno posizione invariabile nel campo. Il cannocchiale viene diretto alla stella che si deve osservare per modo che la sua immagine, data dall'obiettivo, venga a trovarsi esattamente in mezzo alle due immagini suddette, ciò che si può bene

(*) Nell'inviarmi l'oculare, la Ditta mi scriveva: «...il lavoro è stato curato in modo particolare, e così pure il calcolo del sistema ottico, costituito da una coppia di obiettivi acromatici di alta precisione. Abbiamo realizzato una correzione che, ad onor del vero, giudichiamo superiore a quella dell'oculare tedesco originale e saremo lieti se riceveremo conferma...». Non ho potuto confrontare direttamente i due oculari, ma posso affermare che quello ricevuto dalla Ditta Koristka dà immagini perfette.

Applicato all'equatoriale Starke-Merz (distanza focale m. 1,65) esso dà l'ingrandimento di 30 volte.

apprezzare con l'occhio, senza bisogno di ricorrere alle due lamelle necessarie nelle osservazioni con il procedimento dell'estinzione. Se di poi il cannocchiale sta fermo, o comunque non segue il moto diurno, l'immagine stellare percorre il diametro del campo perpendicolare al segmento $f_1 f_2$ nel suo punto di mezzo, rimanendo perciò sempre ad egual distanza dalle due immagini.

Le misure fotometriche consistono, come ho già accennato, nel diminuire a mezzo del cuneo la luminosità della stella che si osserva fino a quando la grandezza appare eguale a quella delle due stelline, o meglio intermedia fra le grandezze di esse, che presentano tra loro una leggerissima differenza.

Lo splendore delle due stelline artificiali varia a seconda del diametro del forellino F e a seconda dell'intensità luminosa della lampadina elettrica, e la variazione può essere determinata confrontando quello splendore con la grandezza costante di una stella.

Facendo variare il diametro del forellino, ho dedotto, da 7 serie di osservazioni, che passando dal foro più grande n. 1, a quello intermedio n. 3 e da questo a quello più piccolo n. 5, la grandezza delle stelline artificiali diminuisce rispettivamente delle quantità seguenti:

$$N. 1 - N. 3 = 0^m,86 \quad N. 3 - N. 5 = 0^m,68$$

e facendo variare l'intensità della corrente elettrica di 3 in 3 centesimi di Ampère, da $0^A,30$ a $0^A,42$, ho ottenuto, da 10 serie di osservazioni, i seguenti aumenti di grandezza delle due stelline

$$\begin{array}{ll} 0^A,33 - 0^A,30 = 0^m,72 & 0^A,36 - 0^A,33 = 0^m,61 \\ 0^A,39 - 0^A,36 = 0^m,77 & 0^A,42 - 0^A,39 = 0^m,75 \end{array}$$

Nelle osservazioni fotometriche di stelle, in causa delle variazioni di voltaggio dell'energia elettrica cittadina, si sono spesso notate dal principio alla fine di una osservazione variazioni dell'intensità di corrente di pochi milliampères, in via eccezionale anche di un centesimo di Ampère. Poiché la variazione di grandezza delle stelline è in media di $0^m,024$ per ogni milliampères, l'effetto di tali variazioni non è sempre trascurabile di fronte agli errori di osservazione, ma può esser valutato leggendo frequentemente l'Amperometro, od essere anche evitato badando a ridurre, mediante la resistenza R , l'intensità di corrente sempre allo stesso valore (¹).

(¹) Al momento di correggere le bozze di stampa posso aggiungere che con la recente introduzione di una piccola batteria di accumulatori al posto del trasformatore T , l'accennato inconveniente più non si verifica, poichè, per un dato valore della resistenza R , l'intensità di corrente rimane costante.

Circa la precisione raggiungibile in ogni singola misura fotometrica noterò che da 26 serie di confronti, comprendenti complessivamente 210 misure singole, fatte per lo studio dell'assorbimento atmosferico della luce, ho dedotto come error medio di una misura

$$e. m. = \sqrt{\frac{[v v]}{210 - 26}} = \pm 0^m.20$$

mentre nelle osservazioni col metodo dell'estinzione, ricorrendo ad osservazioni relative alla stella ST Ursae majoris, già da me pubblicate, da 93 serie comprendenti 3 misure ciascuna, dedussi per lo stesso errore medio il valore

$$e. m. = \sqrt{\frac{[v v]}{279 - 93}} = \pm 0^m.27$$

I due numeri sopra scritti mettono in evidenza la maggior precisione delle osservazioni consentita dal metodo per confronto rispetto al metodo per estinzione ed è notevole il fatto che il rapporto delle due precisioni, circa 4 : 3, è pressochè eguale a quello ottenuto dal dott. Padova ⁽¹⁾ confrontando misure da lui fatte con i due metodi rispettivamente al fotometro di Zöllner e al fotometro a cuneo.

È poi da osservare che il valore suddetto del rapporto tra le due precisioni vale *a parità di misure*, cioè quando si confrontano risultati di misure eseguite in egual numero con i due metodi. Se si tiene conto che in uno stesso tempo si possono fare più misure col metodo di confronto, che non con il metodo per estinzione, essendo quello più speditivo di questo, si può concludere che quando il paragone si facesse *a parità di tempo* risulterebbe più evidente e notevole la maggior precisione consentita dal primo metodo rispetto a quella che può dare il secondo.

R. Osservatorio astronomico di Padova, febbraio 1920.

⁽¹⁾ E. PADOVA, *Confronto fra le osservazioni astrofotometriche eseguite col fotometro ad estinzione e quelle fatte col fotometro di Zöllner*, vol. I, n. 2 di queste Memorie.