

FOTOMETRIA FOTOGRAFICA

DELL'ECLISSE TOTALE DI LUNA

DEL 7-8 NOVEMBRE 1938

NELLE ZONE SPETTRALI ATTORNO A 4700, 5600 E 7050 Å.

Nota di GINO CECCHINI

RIASSUNTO. — Sono esposti e discussi i risultati delle osservazioni fotografiche dell'eclisse totale di Luna del 7-8 novembre 1938 eseguite al refrattore Zeiss di 20 cm. nelle zone spettrali attorno a 4700, 5600 e 7050 Å. Le variazioni di luce nella penombra, in funzione della distanza r dal centro dell'ombra, appaiono simmetriche nelle fasi crescente e decrescente e indipendenti da λ almeno per $r > 1.10$. Un'ampia analisi delle osservazioni di questa e di altre eclissi conferma questo risultato. La densità ottica dell'ombra, in funzione della distanza dal centro, dipende non solo da λ , come è noto, ma anche dal raggio d'ombra e , sullo stesso raggio, varia col tempo, almeno entro 30' dal centro. Al centro la densità dell'ombra è pressima a 15,13 e 9 grandezze (relativamente alla Luna non eclissata) per 4700, 5600 e 7050 Å. I presenti risultati e quelli ottenuti altrove per questa e per altre eclissi sono discussi sulla base della teoria fotometrica di LINK; la presenza di strati assorbenti nell'alta atmosfera terrestre sembra confermata, ma la delicatezza della questione richiede osservazioni libere da errori sistematici e più precise di quelle fino ad oggi disponibili, per consentire conclusioni più attendibili e significative di quelle attualmente possibili.

1. - Premessa.

È noto che lo studio fotometrico delle eclissi di Luna ha grande importanza per la possibilità che offre di indagare la struttura dell'alta atmosfera terrestre. Questa infatti contribuisce, per rifrazione ed assorbimento della luce solare, alla distribuzione della luce nell'ombra proiettata sulla Luna; per cui l'accurato esame, qualitativo e quantitativo, della luce residua sul disco lunare durante la totalità, può dare preziosi elementi atti non solo a modificare adeguatamente i dati fondamentali su cui si basano gli sviluppi teorici, ma anche a precisare i fattori che determinano le divergenze fra la teoria e le osservazioni.

Ma, affinché ciò sia possibile, il metodo di osservazione deve essere libero da errori di natura sistematica e principalmente da quelli dovuti all'assorbimento atmosferico e alla luce diffusa dall'atmosfera e dalle parti ottiche dello strumento adoperato; lo stesso dicasi del metodo di riduzione. Se le osservazioni consistono nel confronto, visuale o fotografico,

dell'intensità luminosa di elementi o zone del disco lunare eclissato e non eclissato, esse saranno affette dalla variazione, tra le successive misure, dell'assorbimento atmosferico; in più, la luce diffusa condurrà a sottovalutare le misure di oscuramento. Entro i limiti nei quali è stato possibile il raccordo delle successive osservazioni, per mezzo delle regioni del disco lunare comuni alle varie fotografie, la prima causa di errore è stata eliminata col metodo di riduzione qui usato; la seconda causa, che ha per effetto di velare le lastre, non ha agito in modo appariscente e, del resto, è stata eliminata dalle registrazioni microfotometriche delle fotografie, estese a tutta la regione circondante il disco lunare.

2. - Elementi geometrici dell'eclisse.

La riduzione delle osservazioni e l'analisi dei risultati richiedono il calcolo degli elementi geometrici dell'eclisse (1), che può essere fatto facilmente in base ai dati forniti da un qualunque Annuario. È necessario conoscere, per ciascun tempo di osservazione, la posizione del centro della Luna rispetto all'ombra e l'orientamento del disco lunare, in modo da poter dedurre, per via grafica o col calcolo, la distanza dal centro dell'ombra di tutti i punti (o di tutte le zone) del disco sui quali sono state fatte le misure fotometriche. È chiaro che, per questo scopo, sono necessari e sufficienti tre soli elementi, oltre il tempo dell'opposizione in $AR, 22^h 32^m 2$ (T.U.) e il raggio apparente della Luna, $R_{\zeta} = 962''.2$ (dati direttamente dalle Effemeridi):

1) la distanza apparente a del centro della Luna dal centro dell'ombra all'istante dell'opposizione in AR del Sole e della Luna, misurata dal centro dell'ombra verso Nord:

$$a = \delta_{\zeta} + \delta_{\odot} = 986''.5;$$

2) l'angolo ϑ formato dalla direzione Nord con la direzione del moto del centro dalla Luna rispetto al centro dell'ombra, contato da Nord verso Est. Risulta:

$$\vartheta = \arctg(\Delta \mu_{\alpha} \cos \delta / \Delta \mu_{\delta}) = 78''.5$$

essendo

$$\Delta \mu_{\alpha} = \mu_{\alpha}(\zeta) - \mu_{\alpha}(\odot) = 2008''.0$$

$$\Delta \mu_{\delta} = \mu_{\delta}(\zeta) + \mu_{\delta}(\odot) = 388''.2$$

$$\delta = \frac{1}{2}(\delta_{\zeta} - \delta_{\odot}) = +16^{\circ} 26' 14''.0$$

μ_{α} e μ_{δ} indicando i moti orari, in α e in δ , del Sole o della Luna a seconda del simbolo tra parentesi e δ_{ζ} e δ_{\odot} le declinazioni degli stessi astri, sempre all'istante dell'opposizione in AR ;

3) il moto orario μ del centro della Luna nella detta direzione \mathcal{S} :

$$\mu = \sqrt{(\Delta \mu_{\alpha} \cos \delta)^2 + (\Delta \mu_{\delta})^2} = 1965''.$$

È evidente infatti che con questi elementi si può individuare, sulla retta del moto, il centro della Luna in qualunque momento precedente o seguente il tempo dell' opposizione; e che, avendo determinata durante le osservazioni fotografiche la direzione del parallelo, si può orientare la Luna e quindi determinare, con speditezza e precisione (per via grafica se il disegno è fatto in scala conveniente) la distanza cercata di ogni punto del disco lunare dal centro dell' ombra, che sarà espressa in arco.

Può essere conveniente esprimere queste distanze rispetto al raggio dell' ombra geometrica, che si ha considerando la Terra sferica e priva di atmosfera. Il raggio apparente ρ dell' ombra geometrica, visto dalla Terra alla distanza della Luna è dato da

$$\rho = \pi \text{☾} - R \text{☉} + \pi \text{☉} = 2574'',$$

essendo: $R \text{☉} = 968''.6$ il raggio apparente del Sole;
 $\pi \text{☉} = 8.9$ la parallasse equatoriale orizzontale del Sole;
 $\pi \text{☾} = 3534.0$ la parallasse equatoriale orizzontale della Luna.

Analogamente si può ricavare il raggio apparente ρ' della penombra geometrica alla distanza della Luna:

$$\rho' = \rho + 2 R \text{☉} = 4511''.$$

I valori calcolati, espressi in arco e rispetto a ρ preso come unità risultano quindi i seguenti: *)

$$\begin{aligned} \rho &= 2574'' = 1.000 \\ \rho' &= 4511 = 1.753 \\ a &= 986 = 0.383 \\ \mu &= 1965 = 0.763 \\ R \text{☾} &= 962 = 0.374 \\ \mathcal{S} &= N 78^{\circ}.5 E \end{aligned}$$

*) Il confronto fra i dati geometrici da me conclusi con quelli in parte analoghi pubblicati dal Prof. COLACEVICH ²⁾ mostra un sensibile disaccordo nel valore del moto μ e fa sospettare una imprecisione anche nel valore della minima distanza del centro dell' ombra dal centro della Luna, che egli considera. Mentre il valore di μ in arco dato dall' A., 1964', si accorda col mio, non appare invece corretto lo stesso valore, 0.748, riferito a ρ . La causa dell' inesattezza, che appare confermata anche dalla figura 1 dell' A., non è chiara, perché il valore $\mu = 0.748$ si accorda sia con quello del moto *in AR* del centro della Luna rispetto all' ombra, 1926', sia con quello dello stesso moto *totale*, riferito non a ρ , ma al raggio, 2626', dell' ombra *allargata* per effetto dell' atmosfera terrestre, calcolato nell' ipotesi della Terra sferica.

3. - Osservazioni e metodo di riduzione.

Le osservazioni, nel corso delle quali sono stato cortesemente aiutato dal Dr. KRÜGER, sono state fatte al cannocchiale di guida del grande Riflettore, sostituendo al micrometro un portalastra di legno, nel quale erano adattabili i filtri scelti. Lo strumento ha 20 cm. di apertura e 3 m. di distanza focale; la piena apertura è stata adoperata solo durante la totalità, e nelle successive fasi dell'eclisse è stato fatto uso di diaframmi di diverso diametro a seconda della fase e del tipo di lastra. Le immagini della Luna sulle lastre ottenute hanno il diametro di mm. 28.5.

Le osservazioni comprendono tre serie di fotografie eseguite con le seguenti lastre:

a) Cappelli blu antialo, non ortocromatiche, senza filtro, per le quali, nelle attuali osservazioni, la massima sensibilità media può essere stimata attorno a 4700 Å;

b) Agfa Isochrom, combinate con filtro giallo Wratten K3, con la massima sensibilità a 5600 Å;

c) Agfa Infra 700 Rapid, combinate con filtro rosso Agfa n. 82, con la massima sensibilità a 7050 Å.

Su ogni lastra, escluse quelle impressionate durante la totalità, sono state impresse 4 immagini della Luna, ottenute con tempi di posa in progressione generalmente geometrica. Le lastre sono state sviluppate di volta in volta, per assicurarne la giusta esposizione, tenendo accuratamente costanti lo sviluppo, il tempo e la temperatura. Scelte le immagini migliori, ho effettuato la calibrazione usando lastre delle medesime emulsioni, con

In quanto alla minima distanza ricordata, d , che l'A. assume eguale a 0.357 e che dai miei elementi risulterebbe, con facile calcolo, 0.376, osserverò che è vero che essa può derivarsi, come ha fatto l'A., dalla grandezza G dell'eclisse ($G = 1.359$) data dagli Annuari, ma a condizione di riferirsi non già al raggio dell'ombra *geometrica*, ma a quello dell'ombra *allargata*, $\rho(a)$, che precisamente è dato da:

$$\rho(a) = \frac{51}{50} (\pi'_{\text{C}} - R_{\odot} + \pi_{\odot}) = 2620'',$$

dove π'_{C} è la parallasse della Luna ridotta alla latitudine di 45°, per tener conto della sferoidicità della Terra: $\pi'_{\text{C}} = [9.99929] \pi_{\text{C}}$.

L'espressione di d in funzione della grandezza G dell'eclisse è:

$$d = \rho(a) - R_{\text{C}} (2G - 1) = 967'' = 0.376$$

se si tiene conto della sferoidicità terrestre e

$$d = 973'' = 0.378$$

se essa viene trascurata. E' chiaro che l'A. ha introdotto nella formula precedente, o in altra analoga, ρ invece di $\rho(a)$. Tutto ciò concorre a rendere più piccole di quanto siano in realtà le distanze dei punti della superficie lunare dal centro dell'ombra, per quantità dell'ordine di 0.02—0.03, inesattezza in generale di non grande entità, ma che acquista grande importanza presso il limite dell'ombra, dove, stando ai risultati pubblicati dall'A. per λ 4700, una variazione di solo 0.025 nella distanza dal centro corrisponde a 3 grandezze nella variazione luminosa.

A. CACCIARI. — Fotometria fotografica dell'eclisse totale di Luna del 7-8 novembre 1938, nelle zone spettrali attorno a 4700, 5600 e 7050 Å.

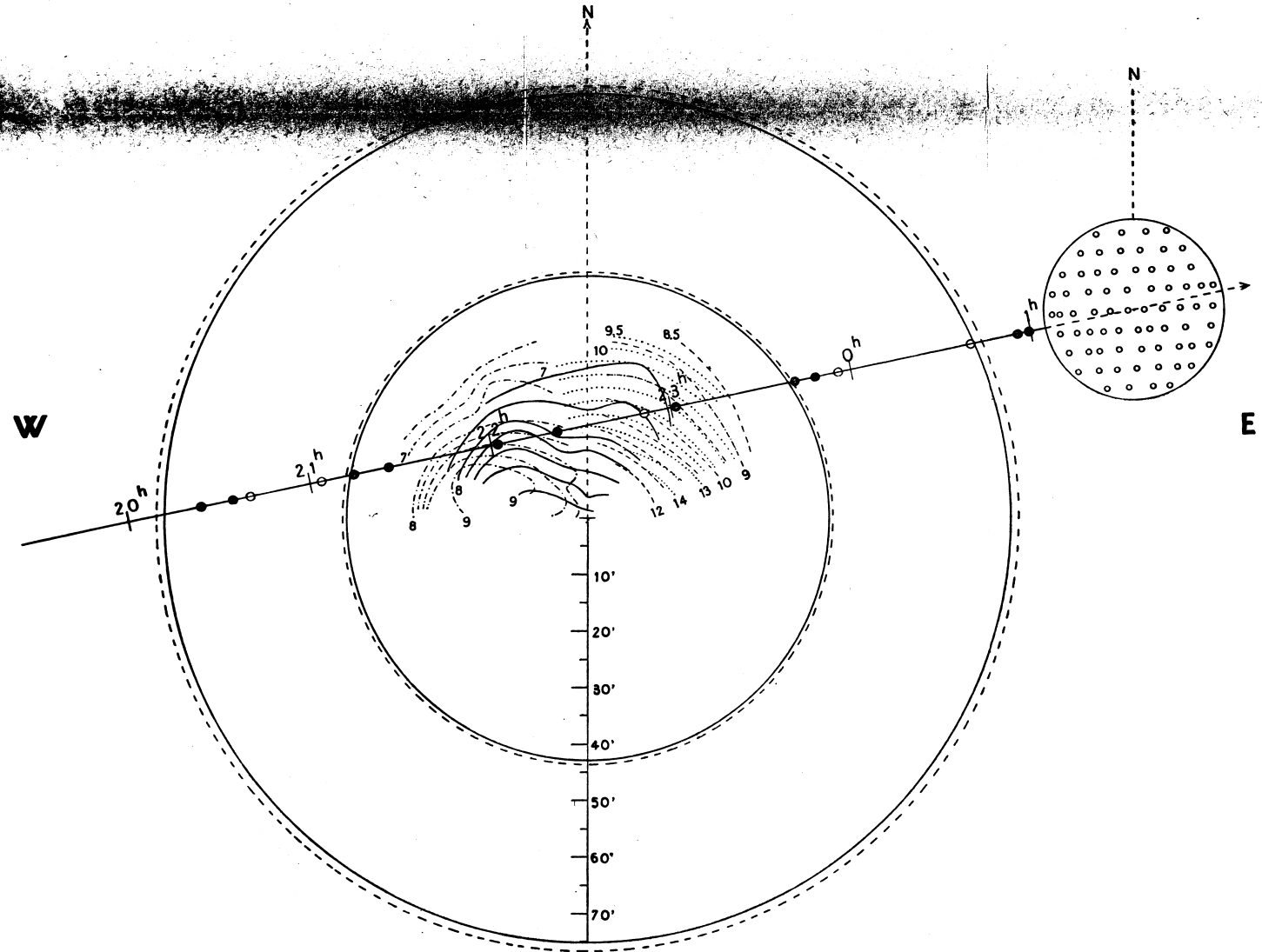


Fig. 1. - Schema dell'eclisse totale di Luna del 7-8 novembre 1938. Le circonferenze continue indicano i limiti dell'ombra e della penombra geometriche; quelle tratteggiate, i limiti dell'ombra e della penombra allargate. La retta con l'orientamento $N 78.5 E$ rappresenta il cammino, da W verso E, del centro della Luna; i tempi sono T.U.; i piccoli cerchi indicano la posizione del centro della Luna ai successivi tempi di osservazione in varie lunghezze d'onda (cerchi vuoti, 4700 Å; doppi 5600 Å; pieni 7050 Å). Il cerchio esterno rappresenta la Luna, su cui sono indicate le zone scelte per le misure fotometriche. Le curve interne all'ombra sono le isofote per le diverse zone spettrali; punteggiate, 4700 Å; tratteggiate, 5600 Å; a tratto e punto, 7050 Å, a $22^h 3^m$; continue, 7050 Å, a $22^h 22^m$. Le isofote sono contrassegnate da numeri che rappresentano la densità dell'ombra, in grandezza, rispetto alla Luna fuori eclisse.

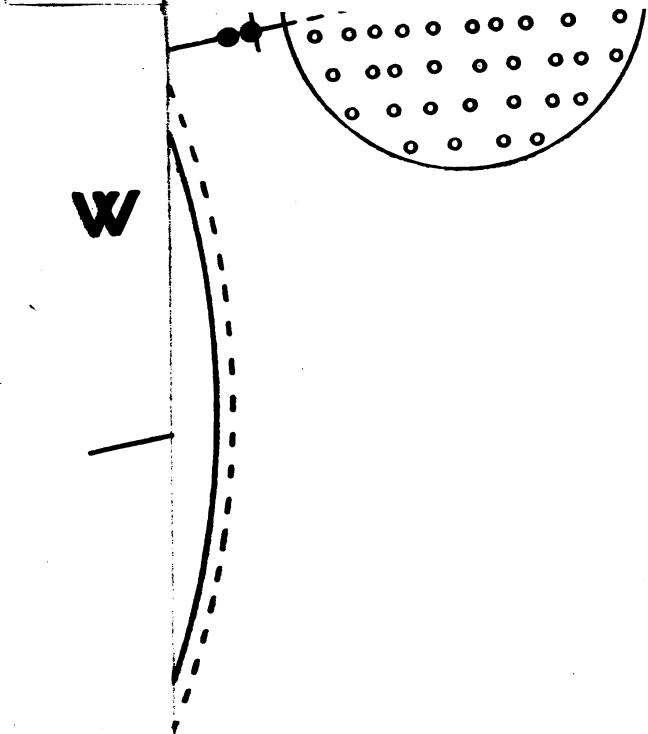


Fig. 1. *... i limiti dell'ombra e della penombra allargate.
... al centro della Luna ai successivi tempi di osser-
... per le misure fotometriche. Le curve interne
... Le isofote sono contrassegnate da numeri che*

le stesse combinazioni di filtri e tempi di posa che comprendessero tutti quelli di osservazione; lo sviluppo delle lastre di calibrazione è stato fatto nelle identiche circostanze dello sviluppo delle lastre della Luna.

La calibrazione è stata fatta con lo spettrografo del Riflettore, opportunamente adattato allo scopo con la sostituzione di un *raster* alla normale fenditura. Il *raster* dà, sulle lastre di calibrazione, 11 spettri disposti uno sotto l'altro, con una variazione d'intensità luminosa, dal più debole al più intenso, di 2^m.90. Il *raster* fu tarato dapprima in base all'accurata misura della larghezza delle 11 finestre che lo compongono; più recentemente, il controllo di questa taratura geometrica è stato da me ripetuto con appropriate osservazioni all'apparato stesso di calibrazione, usando una sorgente di luce costante e diaframmando il collimatore dello spettrografo secondo rapporti noti. Le curve di riduzione delle lastre, derivate dagli spettri di calibrazione, esaminati col microfotometro dell'Osservatorio, sono risultate praticamente indipendenti dal tempo di posa e anche insensibili a variazioni di lunghezza d'onda entro la regione di sensibilità delle lastre.

La Tab. I riassume, per ciascuna serie di osservazioni: 1) il tempo (T.U.), che nel caso di più pose si riferisce a quella scelta come posa fondamentale (la migliore), alla quale le altre sono state ridotte; 2) i diaframmi adoperati (D0, piena apertura, mm. 200; D1, D2, D3: aperture di mm. 100, 49.1, 25.9 rispettivamente) e i tempi di posa relativi alle immagini prese in considerazione nelle riduzioni; 3) la distanza r , al tempo di osservazione, del centro della Luna dal centro dell'ombra, espressa rispetto al raggio dell'ombra geometrica, preso come unità.

La Fig. 1, disegnata in base agli elementi geometrici dell'eclisse conclusi nel paragrafo precedente, illustra le dimensioni relative dell'ombra e della penombra geometriche; dell'ombra e della penombra allargate per effetto dell'atmosfera terrestre; della Luna, e le posizioni del centro della Luna ai successivi tempi delle diverse osservazioni. Sul disco lunare sono state indicate le piccole zone dove sono state fatte le misure fotometriche, nel modo che dirò fra breve.

Le immagini scelte su ogni lastra sono state esaminate al microfotometro di Merate, che ho momentaneamente modificato nel sistema di proiezione. Nella sua ordinaria sistemazione lo strumento dà, sul piano della fenditura posta di fronte alla pila termoelettrica, un ingrandimento dell'immagine da analizzare di oltre 20 volte. Un tale ingrandimento (necessario nell'uso normale dello strumento) rendeva lo strumento non utilizzabile, non solo per l'impossibilità di riconoscere le zone lunari scelte per lo studio, ma anche perchè - pure ampliando al massimo la fenditura - l'ispezione di una sola immagine della Luna avrebbe richiesto oltre 150 diagrammi microfotometrici, senza che questa minuziosa analisi portasse alcun vantaggio da giustificare un così immane lavoro. Con opportune modifiche transitorie (allontanamento adeguato della lampada di proiezione dal piano della lastra, eliminazione della lente anteriore del condensatore, sostituzione dell'attuale microscopio di proiezione con una lente ben corretta

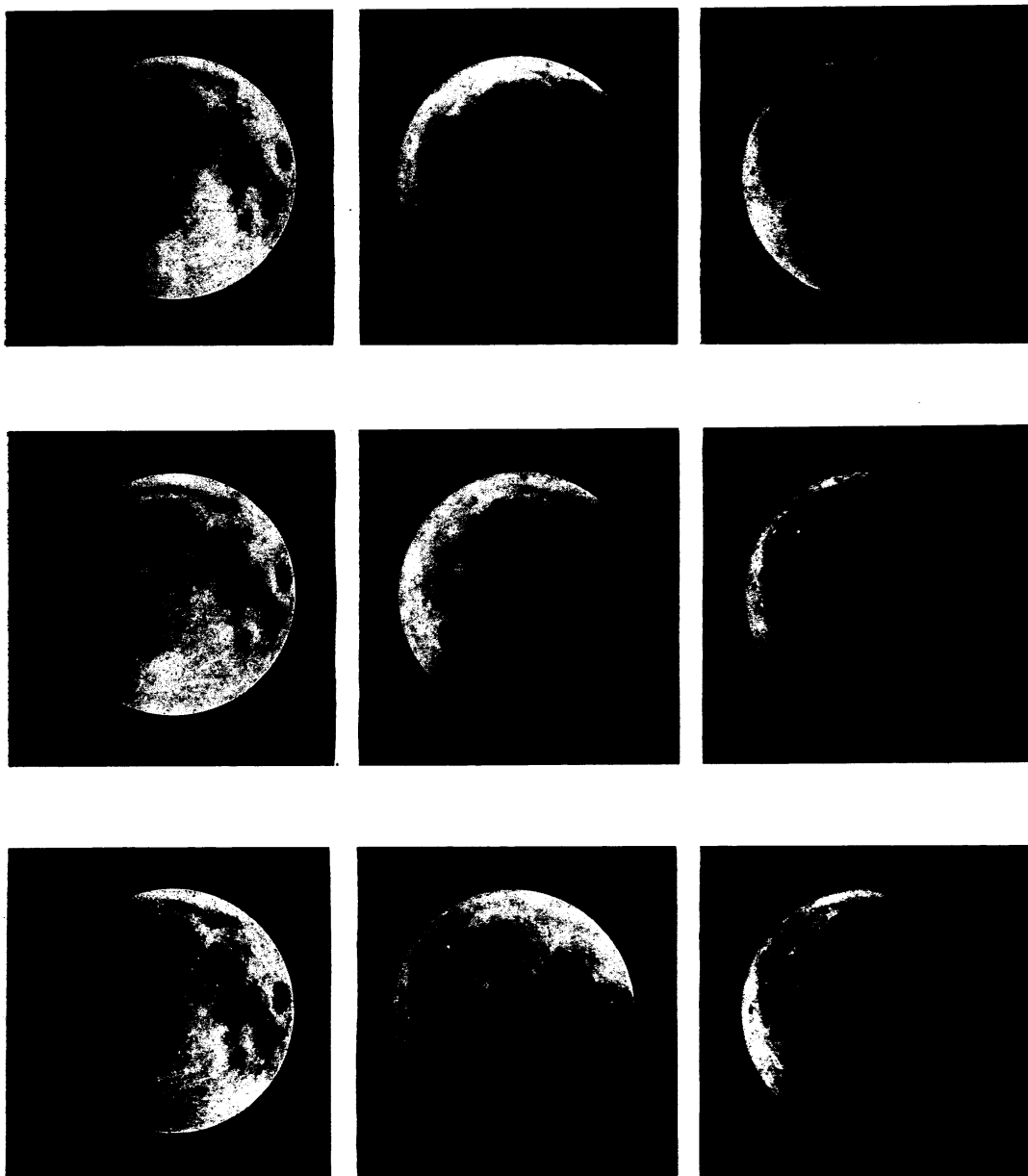
di maggiore distanza focale) ho realizzato le condizioni ideali per l'analisi microfotometrica delle immagini lunari. L'immagine della Luna, proiettata sul piano della fenditura aveva, coi dispositivi adottati, il diametro di soli 55 mm., e tutta la superficie poteva essere analizzata con un numero ragionevole di registrazioni. In pratica, ho suddivisa la superficie lunare in 18

TABELLA I. — Dati di osservazione.

N.	T. U.	Diaframmi e tempi di posa	Distanze r	Note
a) Lastre Cappelli blu (4700 A)				
1	20 ^h 40.0 ^m	D3: 1/2, 1, 2, 4	1.40	
2	21 3.9	D2: 1/2, 2	1.11	
3	22 51.1	D0: 540	0.49	
4	23 55.6	D2: 1/2, 1, 2	1.20	
5	0 39.7	D3: 1, 2	1.73	
6	1 48	D3: 1/4, 1/2, 1		fuori eclisse
b) Lastre Agfa Isochrom (5600 A)				
7	20 24.0	D2: 1 2, 1; D3: 1/4	1.60	
8	21 14.8	D2: 1 2, 2, 6	0.99	
9	23 1.6	D0: 600	0.58	
10	23 41.3	D2: 1 2, 1, 2, 4	1.02	
11	0 47.7	D3: 2	1.93	
12	1 39	D3: 1/4, 1/2, 1		fuori eclisse
c) Lastre Agfa Infra 700 (7050 A)				
13	20 35.0	D2: 2, 4, 8	1.47	
14	21 26.6	D1: 3; D0: 3	0.85	
15	22 2.7	D0: 600	0.48	
16	22 22.2	D0: 1020	0.38	
17	23 48.0	D1: 2, 4, 6	1.11	
18	0 58.9	D2: 2, 4	1.98	
19	1 32	D2: 1, 2, 4		fuori eclisse

zone parallele ad un diametro ed ho fatto l'analisi microfotometrica di 9 zone, alternativamente, in modo che le registrazioni sono state fatte su un totale di oltre 300 zone, che ho individuato sulle diverse fotografie lunari con adeguati accorgimenti. Sulle registrazioni delle zone delle fotografie

G. CECCHINI. — *Fotometria fotografica dell'eclisse totale di Luna del 7-8 novembre 1938 nelle zone spettrali attorno a 4700, 5600 e 7050 A.*



Fotografie dell'eclisse totale di Luna del 7-8 novembre 1938

Nel blu, 4700 A (prima riga); nel giallo, 5600 A (seconda riga) e nell'infrarosso, 7050 A (terza riga). Le fotografie a sinistra si riferiscono alla fase crescente nella penombra; quelle centrali alla totalità e quelle a destra alla fase decrescente nella penombra. (T. U. : $20^{\text{h}} 40^{\text{m}}.0$, $22^{\text{h}} 51^{\text{m}}.1$, $23^{\text{h}} 55^{\text{m}}.6$ per 4700 A ; $20^{\text{h}} 24^{\text{m}}.0$, $23^{\text{h}} 1^{\text{m}}.0$, $23^{\text{h}} 41^{\text{m}}.3$ per 5600 A ; $20^{\text{h}} 35^{\text{m}}.0$, $22^{\text{h}} 22^{\text{m}}.2$, $23^{\text{h}} 48^{\text{m}}.0$ per 7050 A).

fuori eclisse ho fatto la scelta dei punti sui quali avrei dovuto fare le misure: in sostanza l'analisi è stata fatta su un complesso di 69 punti, ben distribuiti sul disco lunare e ben visibili nella Fig. 1.

La riduzione delle osservazioni è consistita nella determinazione, per ciascun tempo di osservazione, della differenza di grandezza - in ogni punto scelto - tra l'immagine lunare fuori eclisse e quella ottenuta al tempo di osservazione considerato. Questa differenza di grandezza è stata assunta come misura della *densità ottica* dell'ombra o della penombra, nel punto scelto, in quanto corrisponde al rapporto delle intensità luminose della Luna nel punto stesso, in eclisse e fuori eclisse. È chiaro che in questo modo si può analizzare la distribuzione della densità ottica nell'ombra e nella penombra, eliminando l'eterogeneità della superficie lunare su cui l'ombra e la penombra sono proiettate.

Gli elementi occorrenti per la riduzione, oltre le curve di calibrazione concluse per ciascuna serie di lastre, di cui ho già detto, sono: 1) la costante p di Schwarzschild, necessaria per riportare le misure ad un tempo di posa costante, assunto come unità, mediante la correzione $\Delta m = 2.5 p \log t$, t essendo il tempo di posa della immagine da ridurre; 2) le costanti di riduzione dovute all'introduzione dei diaframmi $D1, D2, D3$, in confronto della piena apertura $D0$.

La determinazione di p è stata fatta studiando le lastre con l'apparato di calibrazione già ricordato. Gli spettri, ottenuti variando largamente i tempi di posa e insieme variando - secondo rapporti noti - l'intensità di una sorgente luminosa alimentata da accumulatori, sono stati esaminati al microfotometro. Le misure mi hanno condotto a stabilire per p i valori 0.87, 0.83, 0.85 rispettivamente per le lastre blu, Isochrom, infrarosse, con incertezze al più, di qualche unità dell'ultima cifra decimale, che si traduce in un possibile errore sistematico dell'ordine di due decimi di grandezza nelle Δm concluse dalle osservazioni fatte durante la totalità.

Per quanto riguarda i diaframmi, da osservazioni istituite appositamente su una superficie luminosa estesa, la Luna piena, con lastre calibrate e dal controllo interno delle diverse pose fatte su un stessa lastra durante l'eclisse, ho concluso le costanti di riduzione:

D0 - D1	$\Delta m = 1.50$
D1 - D2	$= 1.50$
D2 - D3	$= 1.45$

le quali si scostano ben poco dai valori teorici 1.50, 1.55 e 1.39.

Per ciascuna lastra ho scelto la posa o le pose più adatte all'esame fotometrico. Ho avuto così modo di controllare non solo la bontà della curva di riduzione adottata, ma anche di rendere minimi gli errori dei tempi di posa delle immagini fondamentali, fuori eclisse e in eclisse. È chiaro, infatti, che le differenze di grandezza, rispetto a un'origine arbi-

traria, corrispondenti ai punti scelti, lette sulla curva di densità della lastra che si considera, debbono coincidere esattamente, a meno di una costante, per tutte le pose prese sulla stessa lastra (se la curva di densità è esatta e se è trascurabile, o calcolabile, la variazione dovuta al progredire dell'eclisse): così è stato possibile il controllo delle curve di riduzione. È altrettanto chiaro, inoltre, che riducendo attraverso la costante p le immagini ottenute con un tempo di posa diverso da quello delle pose fondamentali di ogni lastra, si ha la possibilità di controllare quest'ultimo; controllo specialmente necessario per le lastre fuori eclisse per un più corretto passaggio alle lastre esposte durante la totalità, non collegate alle precedenti.

Biassumendo, la riduzione delle lastre è stata fatta nel modo seguente. Le lastre 6, 12 e 19, ottenute fuori eclisse, hanno dato, attraverso le rispettive curve di riduzione e a meno di una costante, le differenze di grandezza Δm per ciascuno dei 69 punti scelti per le misure fotometriche; queste Δm hanno costituito, per ciascuna serie di osservazioni, i dati fondamentali di riferimento. Consideriamo una determinata serie, per es. quella delle lastre Cappelli blu; le misure eseguite sulla lastra 1 danno, per ciascuno dei 69 punti scelti, le quantità Δm analoghe a quelle della lastra 6, fuori eclisse, che sono riportate al tempo di posa unitario scelto per la lastra 6; per i punti fuori eclisse, della lastra 1, le Δm debbono corrispondere alle analoghe della lastra 6 (o differirne di una piccola costante, dovuta ad errori residui nei tempi di posa, all'estinzione atmosferica, o ad effetti sistematici di lastra), per cui, determinata questa costante, dell'ordine di $0^m.1$, risulta individuata dagli altri punti la variazione luminosa che misura la densità della penombra nei punti eclissati. Determinata, per ciascun punto, la distanza r dal centro dell'ombra mediante un disegno a grande scala analogo alla Fig. 1, ho potuto così tracciare un primo tratto della curva che rappresenta la densità della penombra in funzione di r . Come la lastra 1 è stata collegata alla lastra 6, così la lastra 2 è stata collegata alla 1; poiché il tratto di curva comune alle due lastre ha permesso l'eliminazione di eventuali errori sistematici. Questo collegamento non è stato evidentemente possibile (né sarebbe stato consigliabile, per l'incostanza della densità dell'ombra, come meglio vedremo più avanti) per la lastra 3 (e per le analoghe 9, 15 e 16 delle altre serie) ottenute durante la totalità; e il raccordo di queste lastre con quelle fondamentali fuori eclisse è stato fatto direttamente attraverso p e le costanti di riduzione dei diaframmi, per cui le misure della densità dell'ombra possono essere affette da errori sistematici di alcuni decimi di grandezza.

Nella fase decrescente della penombra sono mancati punti di raccordo immediato per le lastre 10 e 17; ma l'esistenza di punti alla stessa distanza dal centro nella fase crescente ha permesso il controllo delle misure fatte su queste lastre e valorizzato egualmente il decorso parallelo delle curve che rappresentano la densità della penombra in funzione di r .

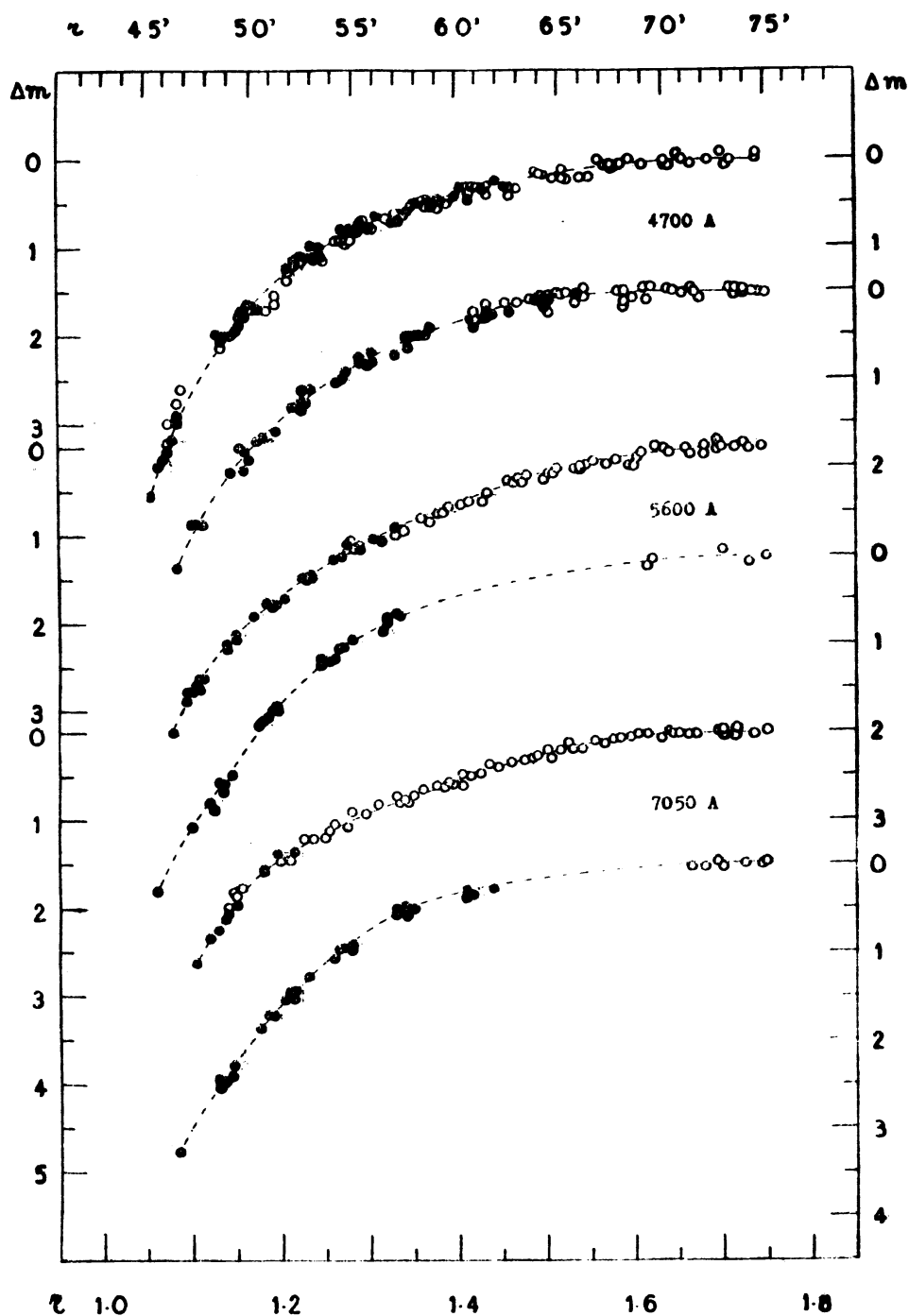


Fig. 2. - Correlazioni fra la densità ottica nella penombra (Δm , espressa in grandezze, rispetto alla Luna fuori eclisse) e la distanza r dal centro dell'ombra geometrica, espressa in primi d'arco e rispetto al raggio dell'ombra. Per ciascuna zona spettrale indicata, la curva superiore si riferisce alla fase crescente, quella inferiore alla fase decrescente (ordinate a sinistra e a destra, rispettivamente): i cerchi vuoti e i cerchi pieni rappresentano punti osservati in lastre diverse.

4. - Densità della penombra. Discussione dei risultati.

I risultati delle misure della densità della penombra, nelle zone spettrali attorno a 4700, 5600 e 7050 Å, sono dati in funzione della distanza r dal centro dell'ombra nella Tab. II e sono illustrati dalla Fig. 2. Si noti il buon accordo interno delle misure fotometriche effettuate, il buon collegamento delle successive lastre e soprattutto lo stretto parallelismo della variazione della densità ottica con r non solo nelle fasi crescente e decrescente per ciascuna zona spettrale, ma anche per tutte e tre le zone spettrali.

TABELLA II. — *Variazioni nella penombra della densità ottica Δm in funzione della distanza r dal centro dell'ombra.*

r		Osservazioni				Calcolo	O — C			
		4700 Å	5600 Å	7050 Å	Medie		4700 Å	5600 Å	7050 Å	Medie
1.70	73'	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	-.03	-.03	-.03	-.03
1.60	69	0.06	0.10	0.05	0.07	0.15	-.09	-.05	-.10	-.08
1.50	64	0.18	0.25	0.22	0.22	0.34	-.16	-.09	-.12	-.12
1.40	60	0.37	0.53	0.42	0.44	0.60	-.23	-.07	-.18	-.16
1.30	56	0.75	0.96	0.82	0.84	1.00	-.25	-.04	-.18	-.16
1.25	54	1.03	1.27	1.12	1.14	1.23	-.20	+.04	-.11	-.09
1.20	51	1.40	1.68	1.49	1.52	1.55	-.15	+.13	-.06	-.03
1.15	49	1.92	2.23	2.04	2.06	1.96	-.04	+.27	+.08	+.10
1.125	48	2.29	2.60	2.37	2.42	2.22	+.07	+.38	+.15	+.20
1.10	47	2.73	3.02	2.82	2.86	2.55	+.18	+.47	+.27	+.31
1.075	46	3.25	3.60	3.45	3.43	3.00	+.25	+.60	+.45	+.43
1.05	45	3.95	—	—	(3.95)	3.60	+.35	—	—	(+.35)

Non bisogna credere, tuttavia, che il piccolo errore medio di ogni misura, che è stimabile attorno a $0^m.05$, possa garantire una eguale precisione nell'andamento delle curve rappresentative. Questo andamento, infatti, può essere alterato anche profondamente da varie cause di errore, tra le quali la principale consiste certamente nelle inevitabili incertezze delle curve di riduzione delle lastre, che, di necessità, sono adoperate spesso al di là del tratto rettilineo in cui garantiscono la massima precisione. Il buon accordo interno delle misure, quindi, deve subire il collaudo di controlli esterni; ed è quanto mi propongo di fare in questa discussione.

L'andamento delle curve della Fig. 2, in linea di massima, corrisponde a quello generalmente osservato in tutte le eclissi. Un primo esame dei valori medi, per le fasi crescente e decrescente, che figurano, per le tre lunghezze d'onda considerate, nella 3^a, 4^a e 5^a colonna della Tab. II, è stato fatto confrontandoli con i valori teorici della densità della penombra dati nella 7^a colonna. Ho calcolato questi valori supponendo la Terra sferica e priva di atmosfera, e uniforme la luminosità del disco solare *). Le

*) Il rapporto tra l'illuminazione di un punto P della Luna situato alla distanza apparente r dal centro dell'ombra e l'illuminazione dello stesso punto fuori dell'eclisse, viste dalla Terra, corrisponde evidentemente al rapporto tra la lunula del disco solare non eclissata dalla Terra, vista da P e l'intero disco solare. Consideriamo, nella Fig. 3, la Terra e il Sole visti da P , coi centri in T e in S ; il cerchio piccolo rappresenti il disco solare, parzialmente eclissato dalla Terra. Saranno perciò:

$$TA = \pi\epsilon, \quad SA = R_{\odot}$$

e, a meno di circa 1/400 del suo valore, $ST = r$.

Poniamo

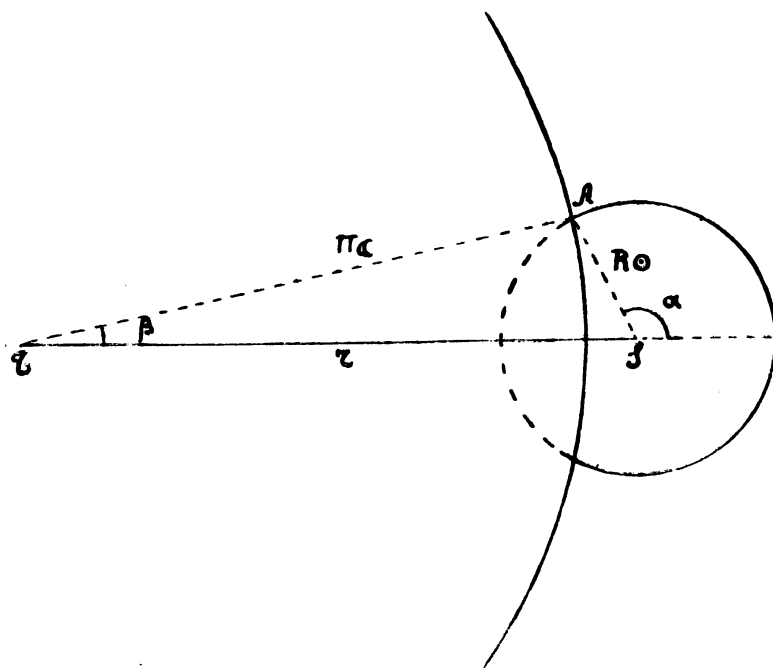


Fig. 3.

$$\widehat{STA} = \beta, \quad \widehat{SA} = \pi - \alpha;$$

si ricava allora facilmente, per il rapporto cercato espresso in grandezze, l'espressione:

$$[1] \quad \Delta m = 1.243 - 2.5 \log \left[\alpha + \frac{\pi\epsilon}{R_{\odot}} \operatorname{sen}(\alpha - \beta) - \left(\frac{\pi\epsilon}{R_{\odot}} \right)^2 \beta \right].$$

differenze $O - C$, che figurano nelle successive colonne, hanno il comportamento che ci si doveva attendere; negative nei primi tratti delle curve, perchè le Δm calcolate sono più alte del vero essendo fondate sull'ipotesi del disco solare uniformemente illuminato; positive successivamente, e cre-

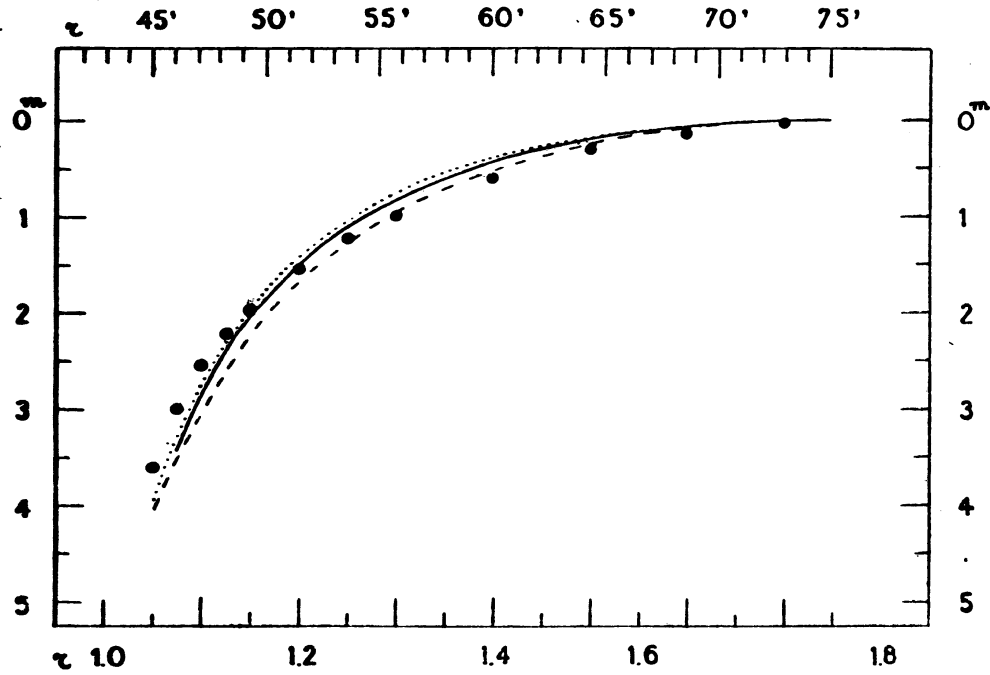


Fig. 4. - Correlazioni $(\Delta m, r)$ nella penombra per 4700 (.....), 5600 (- - -) e 7050 Å (——). I punti ● indicano i valori teorici.

scenti con r , per il sovrapporsi dell'effetto di questa ipotesi di calcolo e dell'effetto dell'assorbimento atmosferico. Ciò dimostra, in sostanza, che

Una formula differente da quella da me ricavata è stata ottenuta da W. WHIPPLE⁽³⁾ e conduce agli stessi risultati numerici indicati nella Tab. II. Gli stessi risultati ho anche ottenuto facendo uso della Tabella pubblicata da H. N. RUSSELL in *Aph. J.* **35**, 333, a proposito della determinazione degli elementi orbitali delle variabili a eclisse.

Per calcolare Δm mediante la [1], ho determinato, per tutti i valori di $\alpha - \beta$ da 0° a 180° , di 15° in 15° , gli angoli:

$$\alpha = \arctg \frac{\pi \zeta \sin(\alpha - \beta)}{\pi \zeta \cos(\alpha - \beta) - R \odot}, \quad \beta = \alpha - (\alpha - \beta)$$

che consentono il calcolo di Δm , corrispondente alla distanza

$$r = \frac{\pi \zeta \sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha}$$

Il supporre uniforme l'illuminazione del disco solare conduce ovviamente a valori teorici di Δm più alti del vero per i valori di r maggiori di quello che corrisponde all'eclisse di metà del disco solare e a valori più bassi del vero per i valori di r minori.

nella penombra l'atmosfera terrestre interviene in grado estremamente ridotto a modificare le variazioni luminose, almeno fino a valori di r maggiori di 1.10 e che perciò, entro questo limite, la densità ottica della penombra deve risultare *indipendente dalla lunghezza d'onda*. Modificazioni sensibili, da parte dell'atmosfera terrestre, debbono attendersi invece per valori di r inferiori a 1.10 e specie nei pressi del limite tra l'ombra e la penombra, a partire dalla penombra allargata ($r=1.02$); beninteso che le locuzioni *penombra*, *ombra allargata* ed *ombra*, hanno qui un significato del tutto convenzionale e in rapporto agli elementi geometrici dell'eclisse,

TABELLA III. — Confronto con le osservazioni di Praga e di Arcetri.

r	Praga	Merate-	Arcetri: O — C			Merate — Arcetri			Praga -
	O — C	- Praga	4700	5600	6500	4700	5600	7050-6500	- Arcetri
1.70	^m — .03	^m 0.00	^m — .03	^m — .03	^m — .03	^m 0.00	^m 0.00	^m 0.00	^m 0.00
1.60	— .10	+ .05	.00	— .03	— .10	— .09	— .02	0.00	— .07
1.50	— .09	.00	— .04	— .04	— .09	— .12	— .05	— .03	— .05
1.40	— .02	— .05	— .12	— .05	— .15	— .11	— .02	— .03	+ .03
1.30	+ .05	— .09	— .32	— .08	— .25	+ .07	+ .04	+ .07	+ .13
1.25	+ .12	— .08	—	—	—	—	—	—	—
1.20	+ .15	— .02	— .40	— .13	— .30	+ .25	+ .26	+ .24	+ .28
1.15	+ .19	+ .08	— .61	— .08	— .34	— .43	+ .35	+ .42	+ .27
1.125	+ .18	+ .20	—	—	—	—	—	—	—
1.10	+ .25	+ .22	+ .20	— .20	— .43	— .02	+ .67	+ .70	+ .45
1.075	+ .50	+ .10	+ .70	— .18	— .58	— .45	+ .78	+ 1.03	+ .68
1.05	+ 1.15	—	+ .65	—	— .75	— .30	—	—	—

poichè in realtà la densità ottica varia con r senza discontinuità: la variazione è lenta, dapprima, cresce poi rapidamente al decrescere di r e in particolare attorno ad $r=1.02$; cresce successivamente ma in modo meno rapido fino al centro dell'ombra, presso il quale, specie per le radiazioni meno rifrangibili, si nota spesso un decrescimento (aumento di luminosità).

Quanto precede mostra, in definitiva, che l'apparente e lieve diversità di andamento delle curve per 4700, 5600 e 7050 Å, ben visibile nella Fig. 4, in relazione coi valori teorici della densità nella penombra, deriva dagli inevitabili errori di riduzione delle osservazioni, che hanno carattere sistematico; essi sono dell'ordine di $0^m.1$ e forse meno, per le tre serie,

per tutti i valori di r esclusi gli ultimi, per i quali sono probabilmente un po' maggiori. Ho ritenuto perciò legittimo di considerare le medie delle tre serie, le quali sono state ridotte indipendentemente, e di assumere che questa media rappresenti molto da vicino il vero andamento della densità ottica nella penombra.

Confronti fra i miei risultati e quelli di altri osservatori sono possibili, per la penombra, solo per le osservazioni fatte a Praga da LINK e GUTH⁽⁴⁾ con un tripletto di Cook su lastre Isochrom e filtro giallo (5800 Å) e per quelle fatte ad Arcetri da COLACEVICH⁽²⁾ al riflettore di 30 cm. con combinazioni di lastre e filtri che hanno permesso l'analisi attorno a 4700, 5600 e 6500 Å. La discussione precedente mi consente di non dare importanza eccessiva, nei confronti, alle differenze nelle λ per il giallo con Praga e per il rosso con Arcetri.

La Tab. III, che contiene i risultati dei confronti delle osservazioni di Praga e di Arcetri con la curva teorica e con le mie osservazioni, non ha bisogno di delucidazioni; i risultati di LINK e GUTH, essendo espressi in altra unità, sono stati ridotti e i valori delle Δm occorrenti per il confronto, al variare di r , sono stati ottenuti con interpolazione grafica.

Cominciamo a considerare le differenze Praga-calcolo, Arcetri-calcolo, Praga-Arcetri. Le deviazioni delle osservazioni di Praga dalla curva teorica sono praticamente identiche alle mie, che figurano nella 9ª colonna della Tab. II; quelle di Arcetri, invece, sono tutte negative, esclusi gli ultimi tre valori per 4700 Å, e fanno pensare all'esistenza di un errore sistematico di oltre mezza grandezza per i piccoli valori di r . Questo fatto confermerebbe che effettivamente l'A. ha adoperato per le riduzioni elementi geometrici inesatti (cfr. nota a pag. 195) e difatti se le r dell'A. vengono aumentate di 0.02-0.03 le deviazioni rispetto al calcolo per 5600 Å, diventano normali, e per 6500 sono meno grandi; ma per 4700 una tale correzione ha l'effetto contrario, nel senso che le deviazioni dalla teoria diventano molto più notevoli. Per 4700 Å si noteranno ancora i due valori per $r = 1.20, 1.15$, corrispondenti all'inflessione della curva blu, messa in evidenza dall'A., che rappresentano un'anomalia, non confermata, di mezza grandezza. Le differenze Praga-Arcetri, che figurano nell'ultima colonna della Tab. III, confermano perfettamente quanto precede, per 5600 Å.

I confronti dati nella stessa Tab. III fra le osservazioni di Merate e quelle di Praga ed Arcetri, quando si tenga presente la variazione della densità della penombra, lenta dapprima e poi rapidissima, permettono di concludere che: 1) le differenze Merate-Praga sono entro i limiti di modesti errori di osservazione di ambedue le serie, per cui queste possono ritenersi in ottimo accordo; 2) le differenze Merate-Arcetri non sono entro i limiti di errori di osservazioni ragionevoli per i valori di r per i quali la variazione della densità è meno lenta: tranne la serie 5600 Å, che corretta dell'errore sistematico in r si accorda abbastanza bene coi miei risultati, la serie 6500 Å e, in grado notevole la serie 4700, quando la r sia corretta, ne differiscono per quantità di gran lunga superiori ai normali errori insiti nelle osservazioni e nelle riduzioni.

Può essere interessante, al termine di questa analisi, di controllare attraverso le osservazioni della penombra di altre eclissi, le conclusioni tratte dalle mie osservazioni circa l'indipendenza della densità ottica dalla lunghezza d'onda, almeno per i valori di r superiori a 1.10, dato che per la presente eclisse, le misure di Merate e di Arcetri hanno dato valori molto discordanti che possono così riassumersi:

	Merate					Arcetri				
	1.05	1.075	1.10	1.125	1.175	1.05	1.075	1.10	1.125	1.175
blu-giallo	—	— ^m .35	— ^m .29	— ^m .31	— ^m .30	—	—	+ ^m .88	+ ^m .40	+ ^m .47
giallo-rosso	—	+ .15	+ .20	+ .23	+ .19	—	—	+ .40	+ .23	+ .26
blu-rosso	—	— .20	— .09	— .08	— .10	3.95	1.40	1.28	+ .63	+ .73

In questa tabella le r , per Arcetri, sono state aumentate di 0.025 per renderle confrontabili con le mie. In tratti di curve così ripide non si può dar peso nè significato a scarti di qualche decimo di grandezza nelle differenze e si può ritenere che le mie osservazioni non mostrino variazioni con λ . Per Arcetri, specialmente la differenza blu-rosso appare notevole, ed è di circa una grandezza per r attorno a 1.10 e di quattro grandezze per $r = 1.05$.

Per altre eclissi, le osservazioni disponibili per questo esame sono le seguenti:

1) Osservazioni col fotometro a doppia immagine di A. DANJON⁽⁵⁾ (eclisse del 16-17 ottobre 1921). L' A. trova identiche le misure ottenute a 5400 e 6100 Å lungo tutta la penombra.

2) Osservazioni fotografiche di P. M. MILLMAN⁽⁶⁾ (eclisse del 27 novembre 1928), atte a dare solo valori *relativi* d'intensità. In corrispondenza a tre tempi di progressivo inoltrare della Luna nella penombra (fase decrescente), l' A. trova i seguenti rapporti per le λ indicate:

6400/4490	6300/4490	5400/4490
0.83	1.66	1.08
0.81	1.69	1.13
0.78	1.71	1.16

i quali mostrano una diminuzione della radiazione di maggior lunghezza d'onda rispetto alla radiazione blu per il primo rapporto e un aumento per gli altri due rapporti. Questi dati non possono essere ben discussi, ma

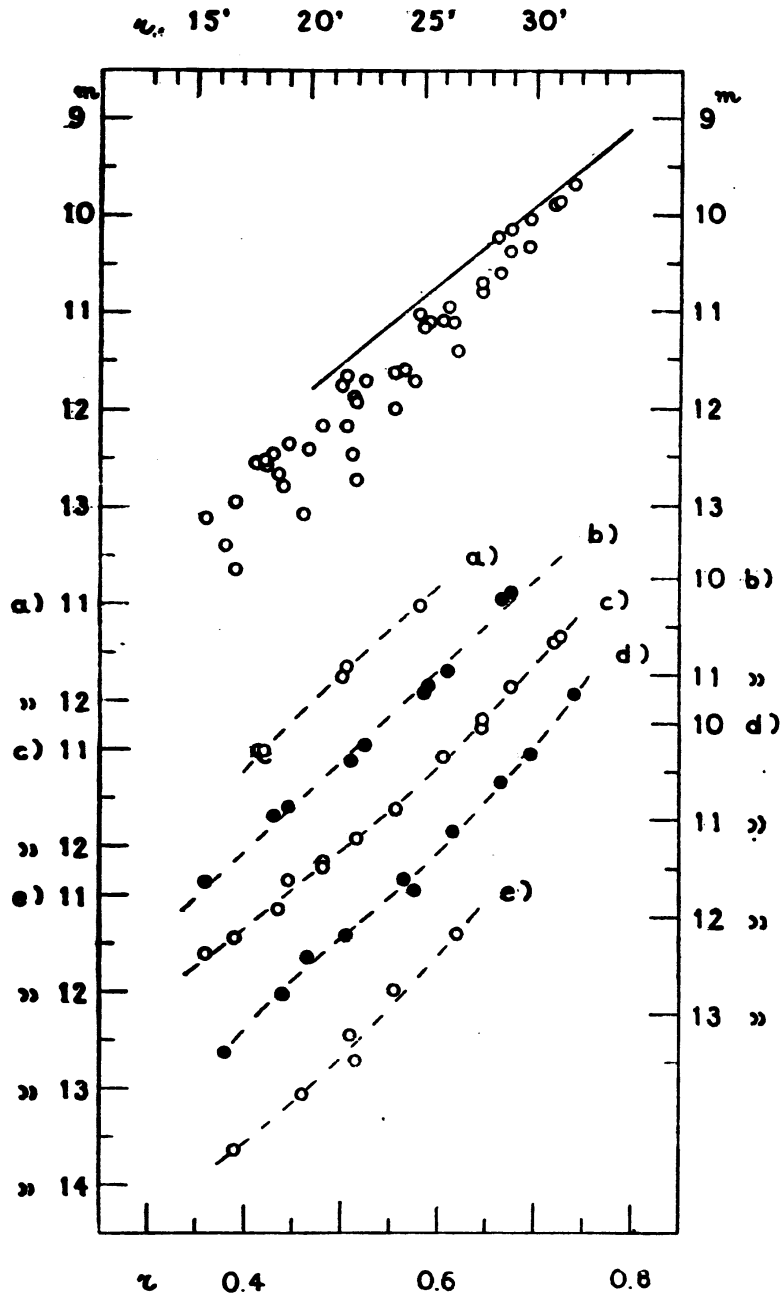


Fig. 5. - Correlazioni ($\Delta m, \tau$) nell'ombra per 4700 Å. In alto i punti osservati e la correlazione teorica, secondo la teoria di LINK (retta continua); le curve a), b), c), d), e), derivate dai cerchietti vuoti e pieni, alternati, danno la stessa correlazione, osservata nei settori d'ombra attorno agli angoli di posizione $-11^\circ, +8^\circ, +28^\circ, +48^\circ, +68^\circ$ contati da N verso E, rispettivamente.

sembra almeno che escludano una grande diminuzione relativa della radiazione blu col decrescere di r .

3) Osservazioni fotografiche all'astrografo Zeiss di 12 cm. di Charkow, fatte da N. BARABASCHEFF e B. SEMEJKIN (?) (eclisse del 2 aprile 1931), a 4630 e 6340 Å. Gli AA. ottengono per i successivi valori di r :

r	1.40	1.35	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10
blu-rosso	m 0.00	m + .09	m + .18	m + .31	m + .45	m + .82	m + 1.32

La variazione trovata è notevolissima; ma il suo valore è completamente aleatorio perchè la lastra su cui sono state fatte le misure nel rosso era velata. «Dieser Umstand - scrivono gli AA. - machte es unmöglich, die Helligkeiten der Mondetails im Halbschatten mit denen, die sie ausserhalb der Finsternis besitzen, zu vergleichen. Weil zur Berücksichtigung dieses Schleiers eine etwas künstliche Methode verwendet wurde, kann die Genauigkeit dieser Ausmessungen nicht gross sein».

4) Osservazioni fotometriche di F. LINK (8) (eclisse del 26 settembre 1931) a 4600 e 6200 Å. Ridotte alle unità qui adoperate, queste osservazioni danno:

r	1.83	1.57	1.44	1.31	1.18	1.10	0.91	0.79
blu-rosso	m 0.00	m 0.00	m 0.00	m 0.00	m + .15	m + .50	m + .57	m + .55

cioè una differenza praticamente nulla fino a $r = 1.18$ e una differenza costante di mezza grandezza fino all'ombra ed all'interno di questa (*).

5) Osservazioni fotometriche di G. ROUGIER (9) (eclisse del 14 settembre 1932) nel blu, nel rosso e nel verde. Opportunamente ridotte, queste osservazioni danno:

(*) È interessante osservare che se per l'eclisse del 26 settembre 1931 prendiamo, come ha fatto LINK (8), le osservazioni di LINK nel blu e quelle di DANJON nel verde e nel rosso (15), queste ultime sono identiche anche per $r = 1.00$ e 0.95 e le differenze blu-rosso, per questi valori di r sono soltanto $+0^m.2$ e $+0^m.3$.

r	1.70	1.60	1.50	1.45	1.40	1.35	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10	1.05
blu-verde	0.00^m	$+ .10^m$	$+ .20^m$	$+ .15^m$	$+ .10^m$	$+ .05^m$	$+ .10^m$	$.00^m$	$+ .05^m$	$+ .25^m$	$+ .55^m$	$+ .70^m$
blu-rosso	$-.10$	$.00$	$+ .05$	$+ .05$	$+ .05$	$+ .05$	$+ .15$	$+ .10$	$+ .10$	$+ .30$	$+ .60$	$+ .80$

cioè una variazione sistematica certa e significativa solo per valori di r attorno a 1.10.

Dall'insieme di questi confronti, legittimi in quanto le osservazioni sono state ridotte tutte a valori di r relativi al raggio dell'ombra geometrica, risulta che se si escludono le osservazioni nelle quali si sono introdotti invalutabili errori sistematici, cioè quelle di BARABASCHEFF e SEMEJKIN, le altre si accordano per stabilire che, in media, la densità dell'ombra è indipendente da λ per i valori di r maggiori di 1.10 entro un grande intervallo di lunghezze d'onda.

Un ultimo riferimento, non privo di interesse, si può avere considerando la teoria fotometrica di LINK⁽⁴⁰⁾. Dalla sua Tabella delle densità ottiche normali, date in funzione della distanza in primi dall'orlo dell'ombra geometrica e di λ , per 4600, 5400 e 6200 Å, si ricava facilmente che la teoria prevede, nelle condizioni dell'attuale eclisse, le seguenti densità dell'ombra, al limite con la penombra ($r = 1.00$):

	4700	5300	6500	7050
$\Delta m =$	6.7^m	6.1^m	5.8^m	5.7^m

e che, estrapolando i dati della Tabella, la regione esterna all'ombra per cui Δm è indipendente da λ è attorno a $r = 1.08$ e che la comune densità è attorno a 4^m . Questi numeri non vanno presi, per troppe ragioni, in senso assoluto; ma sembrano sufficienti a chiarire soprattutto la circostanza che l'atmosfera terrestre, attorno e al di là di $r = 1.10$ non modifica la densità ottica della penombra rispetto a λ , come le mie osservazioni dimostrano e come è avvalorato dalla discussione delle altrui osservazioni (*).

(*) Molto significativo appare anche l'esame dei valori assoluti della densità dell'ombra nelle varie λ , per diverse eclissi. Esso richiede naturalmente di riferirsi alle medesime distanze apparenti dall'orlo dell'ombra geometrica e di tenere conto della π ; ma semplici considerazioni numeriche mostrano che il riferirsi agli stessi r , espressi rispetto al raggio dell'ombra conduce a differenze trascurabili, dell'ordine di $0^m.1$. I dati presi in considera-

5. - Densità dell'ombra. Discussione dei risultati.

Il maggiore interesse scientifico dello studio fotometrico delle eclissi lunari consiste, come è noto, nella determinazione della densità dell'ombra, specialmente nelle regioni prossime al limite dell'ombra geometrica, nelle quali la teoria prevede ridotte al minimo le perturbazioni e le anomalie della troposfera terrestre, che influenzano invece grandemente le regioni più interne dell'ombra. La teoria di LINK (¹⁰) che può essere considerata la più accurata e completa, non può essere applicata a distanze inferiori a 20' dal centro ($r=0.47$) e anche tra 20' e 30' prevede sensibili perturbazioni dovute alle alte nubi dell'atmosfera. Le presenti osservazioni si riferiscono più specialmente alle regioni interne dell'ombra, ma si prestano ancora ad un utile confronto con la teoria.

La variazione con r della densità ottica dell'ombra Δm , è rappresentata dalle Figure 5, 6 e 7 per 4700, 5600 e 7050 Å (lastra 15) e dalla Fig. 8 per 7050 Å (lastra 16). Notevole, specialmente nelle zone rosse, la dispersione dei punti, che non rende neanche possibile la formazione ragionevole di una curva media, e che in alcun modo potrebbe essere spiegata con errori di osservazione. La spiegazione di questa dispersione anormale è mostrata nelle stesse figure dalle curve che definiscono la correlazione ($\Delta m, r$) entro successivi settori d'ombra; l'ampiezza di questi settori è variabile (al minimo 10°) per ottenere un numero sufficiente di punti e nonostante questo e gli errori accidentali di osservazione, le curve di variazione risultano ben rappresentate. Esse indicano una più lenta variazione della densità verso il centro; caratteristico appare inoltre l'andamento di alcune curve della Fig. 7, le quali rivelano anzi un aumento di luminosità a meno di 20' dal centro.

zione sono: eclisse del 16 ottobre 1921, DANJON (⁵); dell'8 dicembre 1927, SEMEJKIN (¹⁶) (dati corretti di $+0^m.5$ per il punto zero); del 7 ottobre 1930, SEMEJKIN (¹⁷) (dati corretti di $+0^m.5$); del 2 aprile 1931, BARABASCHEFF e SEMEJKIN (⁷) (dati corretti di $+0^m.5$); del 26 settembre 1931, LINK (⁹); del 14 settembre 1932, ROUGIER (⁸); dell'8 gennaio 1936, LINK (¹⁸); del 7 novembre 1938, LINK (⁴). I valori medi conclusi sono i seguenti:

	blu	giallo-verde	rosso
$r = 1.10$	m 2.8	m 2.8	m 2.9
$r = 1.05$	3.6	3.7	3.8

I valori singoli scartano spesso parecchio ma nessuna esclusione è stata fatta; i valori medi confermerebbero ottimamente i risultati della precedente discussione e le mie osservazioni.

L' esame delle curve considerate consente alcune interessanti conclusioni:
 1) le curve di una medesima zona spettrale mostrano sensibili differenze nell' andamento e nel valore medio della densità; le isofote non sono

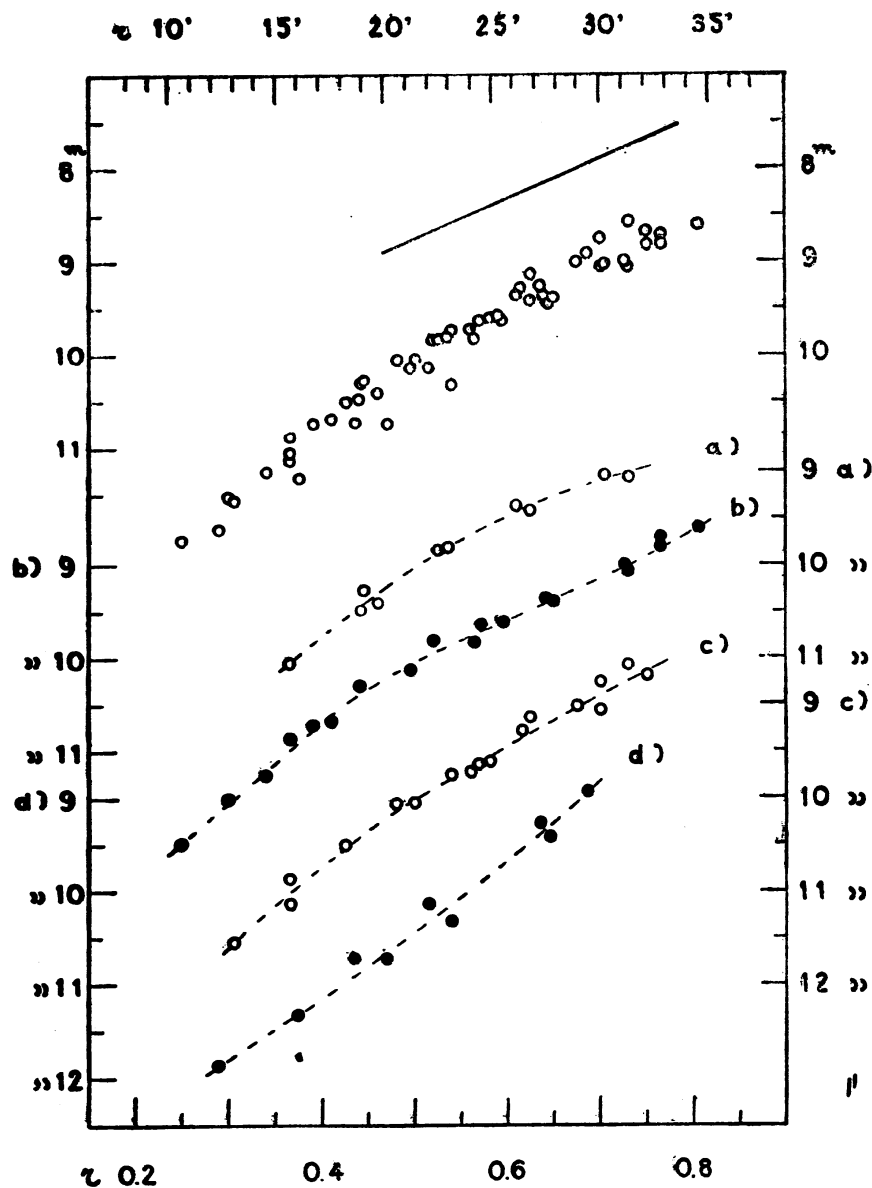


Fig. 6. - Correlazioni (Δm , r) nell'ombra per 5600 A, analogamente alla Fig. 5. Le curve a), b), c), d), corrispondono rispettivamente agli angoli di posizione $+8^\circ$, $+28^\circ$, $+48^\circ$, $+68^\circ$.

cioè nè circolari, nè parallele tra loro: la relazione tra Δm ed r dipende notevolmente dall'orientamento del raggio d'ombra lungo il quale si con-

sidera. Le isofote sono tracciate nella Fig. 1 e illustrano bene il comportamento della densità ottica dell'ombra per le diverse zone spettrali. Per 4700 Å, a parità di distanza dal centro, le densità differiscono di una

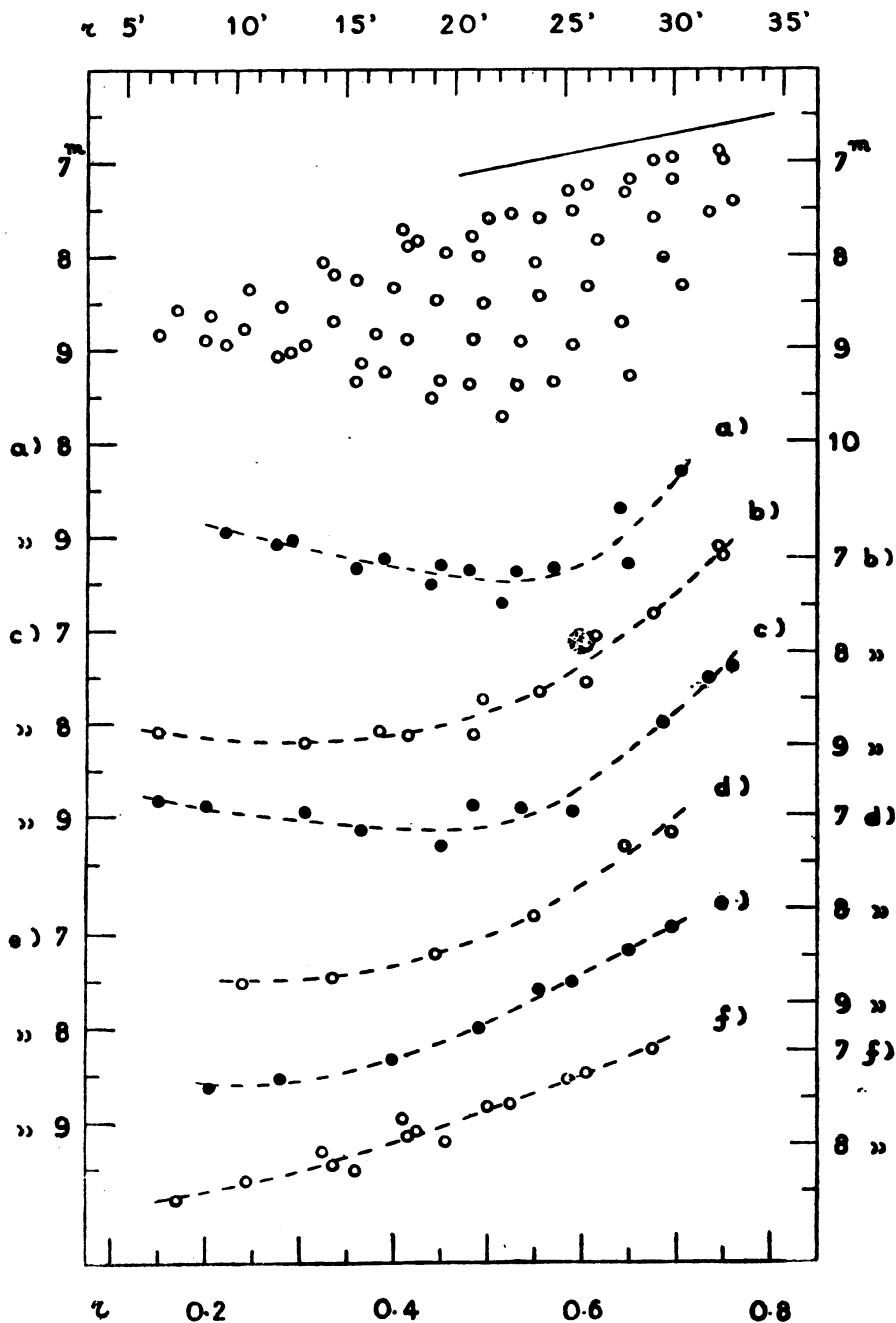


Fig. 7. - Correlazioni (Δm , r) nell'ombra per 7050 Å, a 22^h 3^m, analogamente alla Fig. 5. Le curve a), b), c), d), e), f) corrispondono rispettivamente agli angoli di posizione - 86°, - 56°, - 66°, - 46°, - 36° - 16°.

grandezza per $r=0.50$ ($21'$) nelle direzioni -11° e $+68^\circ$ e le isofote, circolari per $r=0.75$ ($32'$), diventano man mano più eccentriche al diminuire di r ; per 5600 \AA le anomalie della densità nell'ombra appaiono meno rilevanti nella regione centrale che in quella periferica; per 7050 \AA a $22^{\text{h}} 3^{\text{m}}$

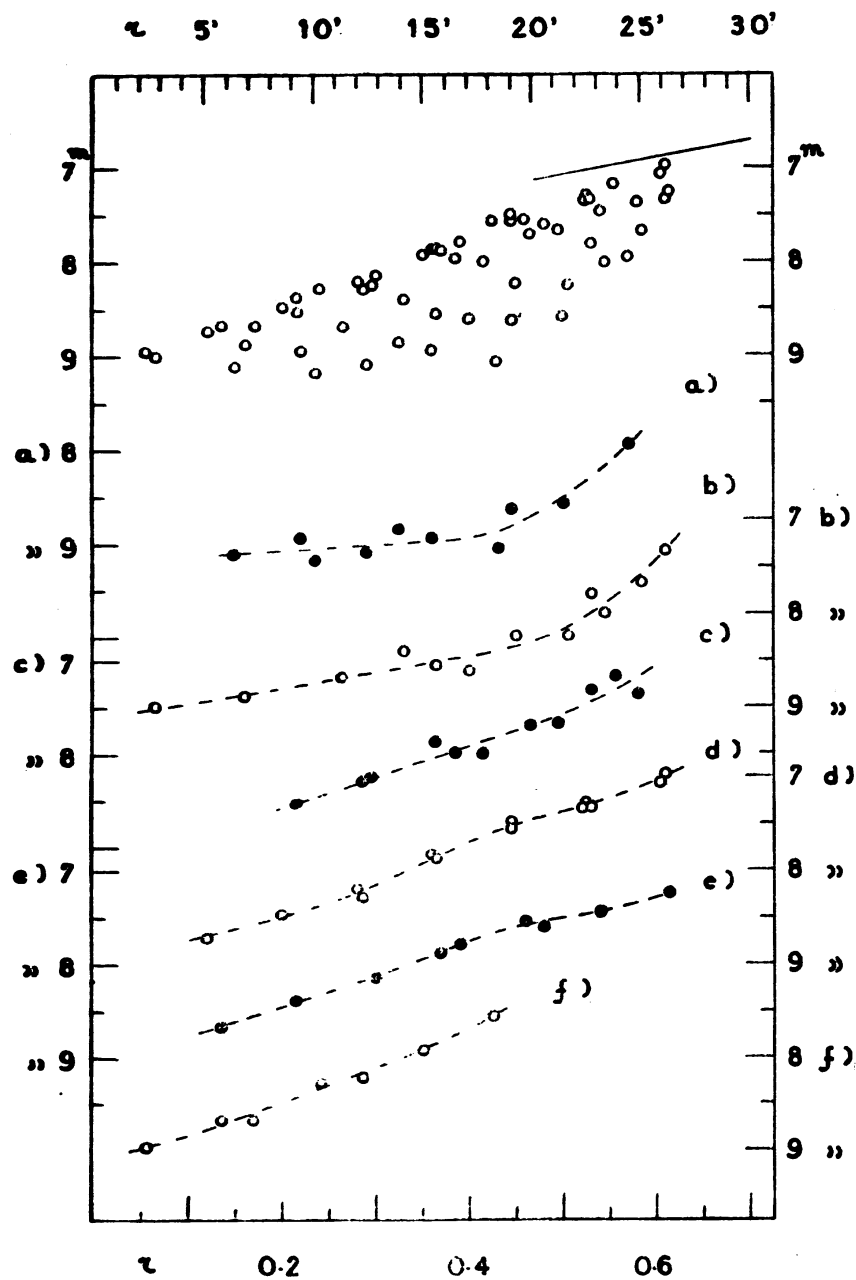


Fig. 8. - Correlazioni ($\Delta m, r$) nell'ombra per 7050 \AA , a $22^{\text{h}} 22^{\text{m}}$, analogamente alla Fig. 5. Le curve a), b), c), d), e), f) corrispondono rispettivamente agli angoli di posizione $-71^\circ, -41^\circ, -21^\circ, -1^\circ, +18^\circ, +43^\circ$.

si hanno differenze anche di due grandezze alla stessa distanza dal centro, fra 20' e 30', nelle direzioni -86° e -16° ; anche a $22^{\text{h}} 22^{\text{m}}$ le isofote centrali sono molto irregolari, tanto che il centro appare più luminoso di zone circostanti;

2) le curve isofote relative alla zona spettrale infrarossa, ottenute a solo 19 minuti d'intervallo, sono notevolmente diverse: lungo lo stesso raggio d'ombra e a parità di distanza dal centro, si hanno differenze di oltre una grandezza nella direzione -71° ; in altre direzioni le differenze appaiono minori e talvolta piccolissime, ma in sostanza la densità ottica dell'ombra, in uno stesso punto, varia col tempo;

3) le curve di correlazione ($\Delta m, r$) sono assai diverse, nell'andamento e nel valore medio della densità, per le varie zone spettrali; fatto questo ben noto e completamente spiegato con la rifrazione e l'assorbimento dei raggi solari da parte dell'atmosfera terrestre, senza la quale, la Luna, nella totalità, sarebbe invisibile. La massima densità dell'ombra apparirà nelle corte lunghezze d'onda, che sono le più assorbite; la minima densità apparirà invece nelle radiazioni rosse e infrarosse (vedi Tab. IV e Fig. 9). In vicinanza del centro la densità dell'ombra è prossima a 15^{m} , 13^{m} e 9^{m} per 4700, 5600 e 7050 Å rispettivamente; valori che si accordano, per quanto è possibile, con quelli trovati da COLACEVICH: $14^{\text{m}}.9$, $11^{\text{m}}.6$ e $9^{\text{m}}.5$.

Il fatto che la densità ottica dell'ombra, anche nelle regioni non troppo vicine al centro, varia notevolmente nelle varie direzioni e col tempo rende problematici i confronti con le varie osservazioni della stessa eclisse e con la teoria. Le cause sono quelle stesse che possono spiegare la differente densità media dell'ombra nelle diverse eclissi; esse risiedono nelle condizioni meteorologiche della troposfera, per quanto riguarda le regioni centrali dell'ombra e in variazioni stratosferiche per quanto concerne le regioni marginali; in queste ultime regioni, quindi, dovremmo attenderci irregolarità minori.

Il problema che qui interessa maggiormente è di stabilire se, ad onta del carattere complesso delle isofote dell'ombra, è possibile valorizzare in media le osservazioni, in modo da trarre qualche plausibile conclusione dal confronto con la teoria. Un giudizio si può avere solo confrontando le varie osservazioni disponibili, che per la presente eclissi sono state fatte da:

1) LINK e GUTH (⁴) su lastre Isochrom, per 5800 Å. Gli AA. hanno pubblicato curve che danno la densità ottica in funzione di r per vari angoli di posizione, e curve isofote dell'ombra. Le loro osservazioni si riferiscono al quadrante NW, mentre le mie, per 5600 Å, sono tutte nel quadrante NE; solo due punti delle loro isofote sono comuni alle mie curve, nella direzione $+8^{\circ}$ e sono stati da me osservati 52^{m} dopo. Le differenze, nel senso Merate-Praga, a 15' e 20' rispettivamente sono $-0^{\text{m}}.1$ e $-0^{\text{m}}.4$ e debbono essere considerate soddisfacenti. Gli AA. notano, in accordo con la mia precedente discussione, una forte dipendenza della variazione luminosa dall'angolo di posizione e, dalle loro curve, risulta pure una notevole

TABELLA IV. — *Densità ottica dell'ombra Δm , in funzione della distanza r dal centro.*

r		4700 A			5600 A			7050 A		
		O	C	$O - C$	O	C	$O - C$	O	C	$O - C$
0.80	34'				^m 8.5	^m 7.5	+ 1.0	^m 6.8	^m 6.5	+ 0.3
0.75	32	^m 9.6	^m 9.5	+ 0.1	8.8	7.7	+ 1.1	7.0	6.6	+ 0.4
0.70	30	10.1	9.9	+ 0.2	9.0	7.9	+ 1.1	7.3	6.7	+ 0.6
0.65	28	10.7	10.3	+ 0.4	9.3	8.1	+ 1.2	7.5	6.8	+ 0.7
0.60	26	11.2	10.7	+ 0.5	9.6	8.3	+ 1.3	7.8	6.9	+ 0.9
0.55	24	11.7	11.1	+ 0.6	9.8	8.5	+ 1.3	8.0	7.0	+ 1.0
0.50	21	12.1	11.5	+ 0.6	10.1	8.7	+ 1.4	8.2	7.1	+ 1.1
0.45	19	12.6			10.5			8.3		
0.40	17	13.0			10.8			8.4		
0.35	15	13.5			11.2			8.5		
0.30	13				11.6			8.6		
0.25	11				12.0			8.7		
0.20	9							8.7		
0.15	6							8.7		
0.10	4							8.8		
0.05	2							8.8		

dipendenza della densità dal tempo di osservazione; le zone equatoriali verso W appaiono più scure di quelle polari; al contrario, dalle mie osservazioni le zone equatoriali verso E sono più chiare di quelle polari.

2) T. R. WIDORN⁽¹¹⁾, con un fotometro a cuneo. L'A. dà solo gli elementi per dedurre l'andamento medio della densità con r ; esso è dato dai cerchietti pieni nella Fig. 9, applicando la correzione di + 5^m.5 ai valori medi relativi dati dall'A., e si accorda perfettamente coi miei risultati.

3) J. YOUNG⁽¹²⁾ su lastre pancromatiche associate a filtri vari. La correlazione ($\Delta m, r$) è data lungo raggi dell'ombra. Per il giallo le mie osservazioni sono ben confrontabili lungo la direzione + 28° (salvo la differenza di 11^m nel tempo); l'andamento medio, per $r > 20'$ è abbastanza d'accordo con le mie osservazioni a 5600 A, con una differenza sistematica di mezza grandezza. Per 4700 la curva di YOUNG dà una variazione molto più lenta della mia; i valori medi si accordano per $r = 25'$. Nel rosso YOUNG ottiene, in quattro tempi diversi, risultati sensibilmente differenti; la sua curva (E3) per 6350 A, osservata ad un tempo intermedio fra le

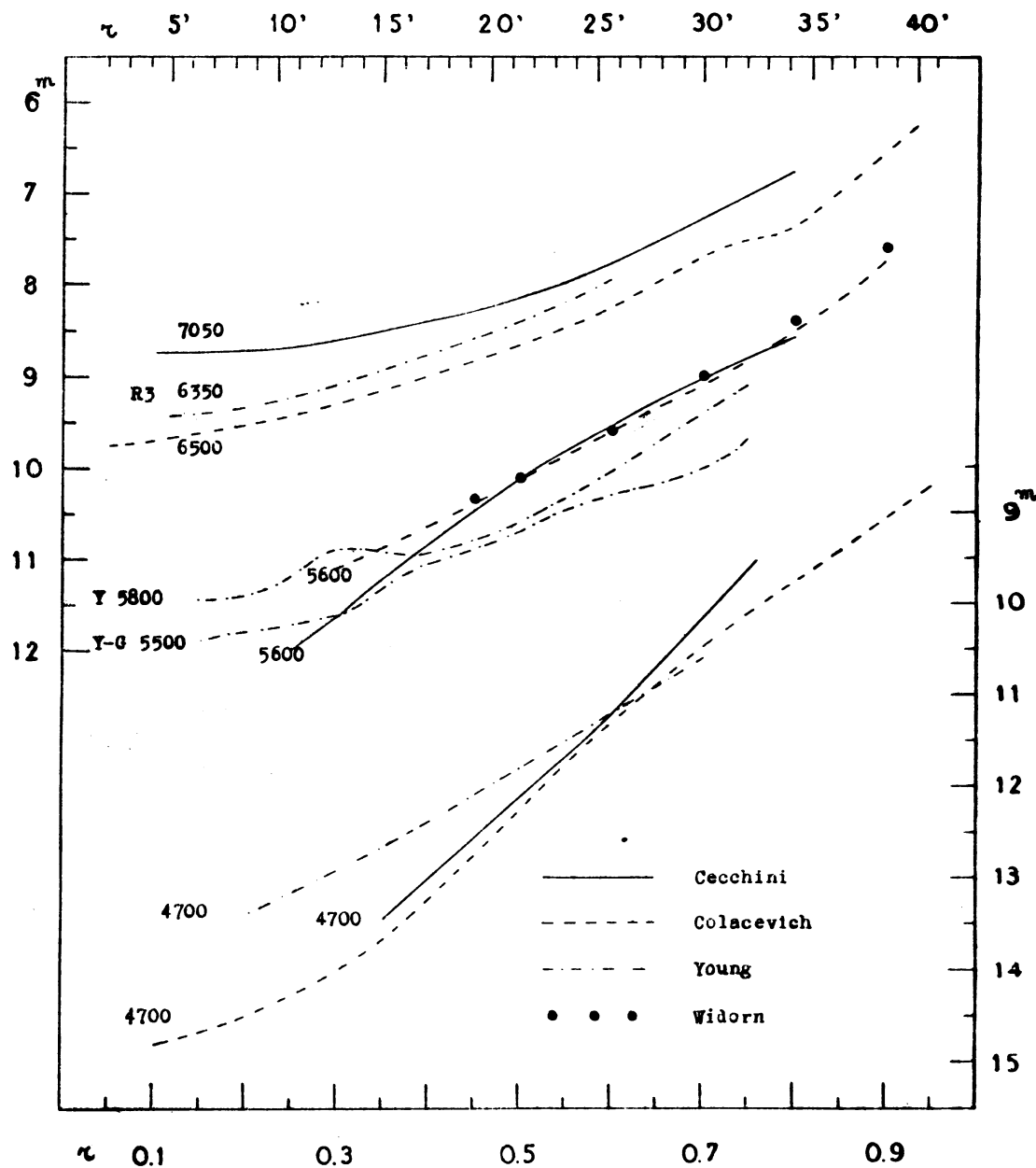


Fig. 9. - Confronto fra le correlazioni ($\Delta m, r$) nell'ombra trovate da vari osservatori. Le misure relative di WIDORN sono state corrette di $+5^{m.5}$.

mie osservazioni a 7050 Å si accorda discretamente con la mia (Fig. 9), e dà densità maggiori, in armonia con la diversa lunghezza d'onda.

4) A. COLACEVICH⁽²⁾ ad Arcetri. L'A. dà valori medi della densità dell'ombra per 4700, 5600 e 6500 Å, i quali si accordano in modo notevolissimo coi miei (Fig. 9). La deviazione sistematica nel rosso è spiegata

con la diversa λ ; più importante appare invece la tendenza della mia curva per 4700 a salire più rapidamente al crescere di r ; ma sarebbe strano il pretendere che gli accordi esterni fossero migliori degli accordi interni, notevolmente influenzati dalle zone d'ombra osservate e dal tempo di osservazione.

Si può concludere che, entro i valori di r considerati, l'accordo fra i vari osservatori è entro i limiti di tolleranza degli errori di osservazione e del carattere vario del fenomeno osservato.

Per quanto riguarda il confronto con la teoria di LINK, dalla quale, con opportuna interpolazione per π_C e λ (ed estrapolazione per l'infrarosso) sono stati derivati i valori C che figurano nella Tab. IV, e quindi gli $O - C$, osserverò subito che, per quanto precede, non possono essere valorizzati i confronti fatti neanche tra 20' e 30' dal centro dell'ombra. Il comportamento degli $O - C$, in confronto delle masse d'aria medie M , è mostrato nella Fig. 10. Per quanto precede, l'andamento degli $O - C$ con M può essere grandemente falsato dalle osservazioni, che sono fatte nelle regioni interne dell'ombra; per cui non appare legittima un'extrapolazione delle curve verso le piccole masse d'aria. L'unica cosa che si può dire è che anche al di là di 30' gli $O - C$ sono positivi, cioè che le densità osservate sono maggiori di quelle teoriche anche nelle regioni meno soggette alle perturbazioni troposferiche. Una precisazione dell'andamento delle curve ($O - C, M$), che qui non è possibile per valori piccoli di M , potrebbe consentire di verificare l'esattezza dei coefficienti di assorbimento dell'atmosfera terrestre adoperati nel calcolo (dall'esame dell'inclinazione media delle curve ($O - C, M$)) e di confermare - come ha fatto LINK - l'esistenza di strati atmosferici a grande altezza, non previsti dalla teoria, in base ai valori *positivi* degli $O - C$ all'ascissa 0 ($M = 0$). È chiaro infatti che se gli $O - C$ crescono, al decrescere di M , vuol dire che il coefficiente d'assorbimento relativo alla λ considerata deve essere diminuito; con l'opportuna correzione, la retta ($O - C, M$) viene resa parallela all'asse delle M ruotando attorno al punto per cui $M = 0$ e se questo punto ha ordinata *positiva*, v'è un serio motivo di fare intervenire l'azione di strati assorbenti per giustificare l'eccesso di densità osservata.

Si vede chiaramente che un'analisi di questo genere richiede osservazioni molto accurate e libere da errori sistematici. Per quanto mi consta, essa è stata compiuta da LINK⁽¹⁰⁾, nel blu, solo per l'eclisse del 26 settembre 1931, col risultato di confermare l'*ipotesi* di uno strato assorbente a 150-200 km di altezza, emessa da BAUER a DANJON⁽¹³⁾ in seguito alle loro osservazioni al Monte Bianco e confortata anche dalle osservazioni di LINK⁽¹⁴⁾ al Pic du Midi. Nel verde e nel rosso, l'analisi è stata pure compiuta da LINK⁽¹⁰⁾ per la stessa eclisse e per quella del 16-17 ottobre 1921 e nel giallo per l'eclisse dell'8 gennaio 1936⁽¹⁵⁾, col risultato di spiegare il divario fra le osservazioni e il calcolo con l'assorbimento dell'ozono. Quest'analisi è stata ripetuta da COLACEVICH⁽²⁾, sui dati della presente eclisse, ottenendo le curve che sono riportate nella Fig. 10. La curva per

4700 e le analoghe per 5600 e 6500, possono essere sostituite, nei tratti che ci interessano - oltre 30' - con rette; nei tratti precedenti esse vanno necessariamente d'accordo con le mie curve, come andavano d'accordo le osservazioni nell'ombra. Ora, l'inclinazione della curva (o della retta) per 4700 appare molto maggiore di quella trovata da LINK per il blu, con la conseguenza di una correzione fortemente negativa del coefficiente di assorbimento corrispondente; così, l'ordinata all'origine, che per LINK era inferiore a $0^m.9$, qui appare dell'ordine di due grandezze, cioè troppo

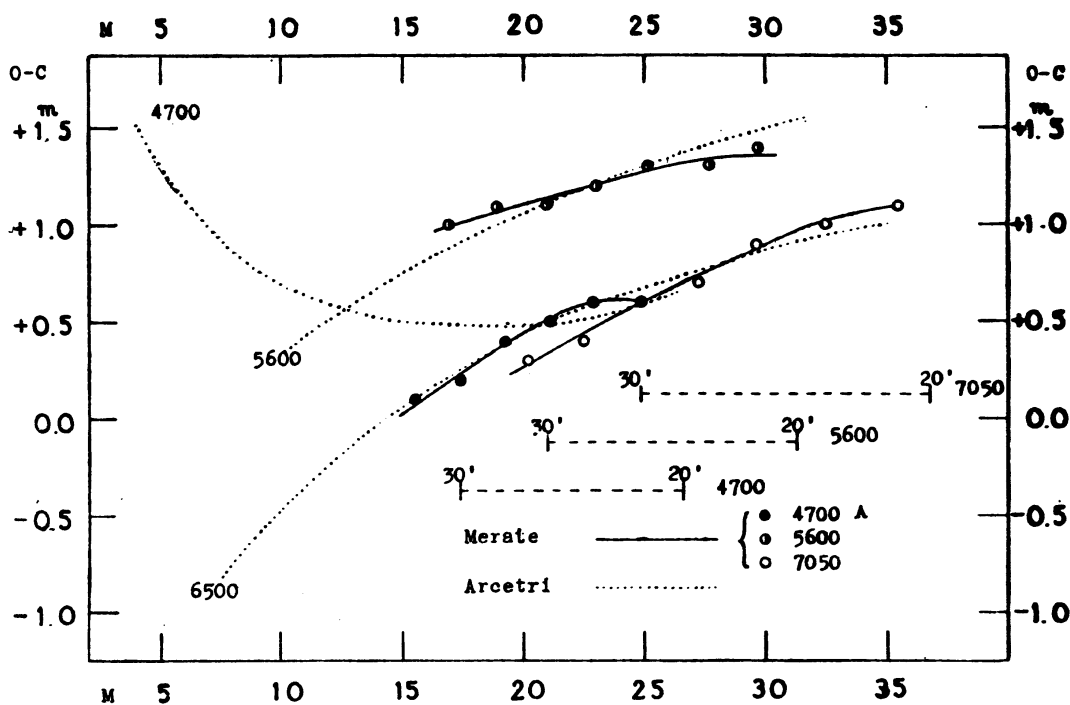


Fig. 10. - Correlazioni fra le differenze $O-C$ (tra le osservazioni e i calcoli in base alla teoria di LINK) e le masse d'aria medie M , per le varie zone spettrali. Le curve intere derivano dalle mie osservazioni; quelle punteggiate dalle osservazioni di COLACEVICH, ad Arcetri. I tre segmenti 20' - 30' relativi alle varie λ , danno la corrispondenza tra le masse d'aria M e le distanze in primi dal centro dell'ombra.

grande per accordarsi bene con l'ipotesi dello strato di BAUER e DANJON: solo qualitativamente, quindi, le osservazioni di COLACEVICH confermerebbero il risultato di LINK. In quanto alle curve per il giallo e per il rosso, esse hanno, sì, l'andamento di quelle generalmente osservate, per le masse M piccole, ma non lo hanno per le masse attorno a 15; e ciò porta per conseguenza che nei punti di massa nulla, per tali curve, le ordinate sono all'incirca nulla per il giallo e fortemente negativa per il rosso. Ne segue che le curve indicano solo una correzione positiva dei coefficienti di assorbimento corrispondenti, e non già l'esistenza di un assor-

bimento dovuto all'ozono. Affinchè questo assorbimento fosse confermato, occorrerebbe ammettere notevoli errori sistematici nelle osservazioni.

Può interessare, in ultimo di esaminare altre osservazioni di eclissi, per vedere se sono in grado o meno di confermare i risultati di LINK^(10,18) (*).

Nel blu, per le regioni che ci interessano, esistono solo le osservazioni di KEENAN⁽¹⁹⁾ (27 novembre 1928), attorno a 4400 e quelle di H. SIEDENTOPF e H. RAUDENBUSCH⁽²⁰⁾ (**) (8 gennaio 1936) su lastre Agfa comuni. Con appropriate riduzioni ottengo :

	r	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70
KEENAN	O		^m 8.0	^m 8.3	^m 8.7	^m 9.3
SIED. e RAUD.	O	^m 9.00	9.84	10.40	10.75	11.35
KEENAN	$O - C$		-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
SIED. e RAUD.	$O - C$	+1.4	+1.6	+1.7	+1.5	+1.3
	M	6.7	8.7	10.6	12.6	16.2

Nel verde esistono le osservazioni di KEENAN⁽¹⁹⁾ (27 novembre 1928) attorno a 5450 e quelle di ROUGIER⁽⁹⁾ (eclisse parziale del 14 settembre 1932) fatte con filtro Wr 58. Ottengo :

	r	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70
KEENAN	O			^m 8.50	^m 8.73	^m 9.00	^m 9.45
ROUGIER	O	^m 7.25	^m 8.0	8.6	9.0	9.5	10.1
KEENAN	$O - C$			+1.4	+1.3	+1.3	+1.3
ROUGIER	$O - C$	+1.1	+1.2	+1.5	+1.5	+1.8	+1.9
	M	5.7	8.6	11.2	13.4	15.6	19.2

(*) Per semplicità i seguenti confronti con la teoria sono stati ricondotti a valori costanti di r per le λ medie 4600, 5400 e 6200 Å e per $\pi_{\zeta} = 57'$. Come è stato detto nella nota a pag. 210 la considerazione delle distanze r , indipendentemente da π_{ζ} , è sufficiente al nostro scopo attuale.

(**) Nella pubblicazione degli AA., Fig. 3, le osservazioni di vari Autori sono riportate con errori enormi: quelle di KEENAN sono errate fino a tre grandezze e quelle di DANJON sono state male calcolate nel passaggio dai logaritmi delle intensità alle grandezze.

Nel rosso esistono solo le osservazioni di ROUGIER⁽⁹⁾ della stessa eclisse, fatte con filtro Wr 25. Esse danno:

r	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75
O	$\overset{m}{7.25}$	$\overset{m}{8.1}$	$\overset{m}{8.3}$	$\overset{m}{8.6}$	$\overset{m}{8.8}$	$\overset{m}{9.2}$
$O - C$	+1.4	+1.6	+1.7	+1.8	+1.9	+2.1
M	7.3	10.4	13.2	15.7	18.1	22.5

Nelle osservazioni di ROUGIER viene messa in evidenza l'asimmetria delle fasi crescente e decrescente; nelle riduzioni ho considerato la media.

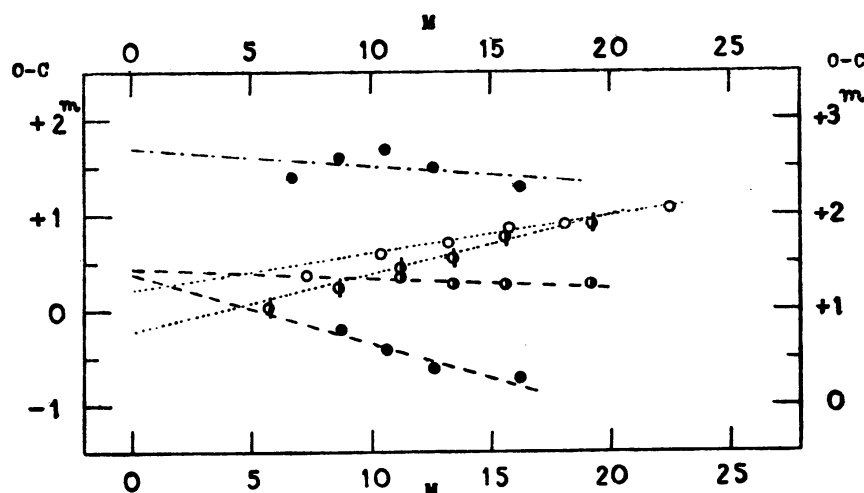


Fig. 11. - Correlazioni tra le differenze $O - C$ e le masse d'aria media M dedotte per altre eclissi dalle osservazioni di KEENAN (rette tratteggiate), ROUGIER (rette punteggiate) e SIEDENTOPF-RAUDENBUSCH (rette a tratto e punto), nel blu (●), nel verde (⊙) e nel rosso (○). Le osservazioni di ROUGIER nel verde sono contrassegnate con Φ . La scala a sinistra si riferisce alle osservazioni nel blu; quella a destra, nel verde e nel rosso.

I risultati di questo esame sono rappresentati dalla Fig. 11. Nel blu, le osservazioni di KEENAN e quelle di SIEDENTOPF e RAUDENBUSCH sono d'accordo per una correzione negativa del coefficiente di assorbimento, e, in media, condurrebbero a confermare le deduzioni di LINK circa l'ipotetico strato assorbente a grande altezza. Nel verde e nel rosso le osservazioni di KEENAN e ROUGIER contrastano circa la correzione del coefficiente di assorbimento ma, insieme, sarebbero d'accordo per confermare un notevole assorbimento dovuto all'ozono.

Appare evidente che la delicatezza di queste questioni non può essere vantaggiosamente affrontata e risolta in modo conclusivo senza fare un assegnamento certo su osservazioni estremamente precise al limite della penombra.

Nota.

All'atto di licenziare le bozze per la stampa, è apparsa in *ZS.f.Aph.* 20,1 un'accurata analisi fotometrica di F. LINK e V. GUTH di questa stessa eclisse, in continuazione del lavoro preliminare qui citato (*). Stabilita per via teorica la piccola influenza sulla densità dell'ombra della differente struttura dell'atmosfera normale terrestre lungo il meridiano, gli AA. mettono in evidenza l'effetto - particolarmente notevole nei dintorni dell'equatore - della distribuzione delle nubi lungo il terminatore terrestre. Le loro osservazioni in prossimità del polo sono confrontate coi valori teorici della densità dell'ombra a 20', 25' e 30' dal centro per 5800 A. La correlazione ($O - C$, M) è rappresentata da una retta parallela all'asse delle M , alla distanza $\Delta = 1^m.65$; gli AA. mostrano che solo una parte ($+ 1^m.1$) di questa deviazione dalla teoria è giustificabile con l'assorbimento dell'ozono e che la parte rimanente ($+ 0^m.5$) non appare spiegabile con assorbimenti conosciuti.

Le densità dell'ombra, scelte dagli AA., sono comprese fra quelle medie mie e di COLACEVICH e quelle di YOUNG, rappresentate nella Fig. 9; l'andamento di Δm con r è specialmente d'accordo con quello trovato da YOUNG per 5500 Y - G, e perciò queste ultime osservazioni confermerebbero l'interpretazione data dagli AA., con un eccesso di densità inspiegabile di $+ 0^m.8$.

Allo stesso risultato si perviene se, invece di considerare i miei valori medi della densità dell'ombra, come è stato fatto nelle Figg. 9 e 10, ci riferiamo a quelli ottenuti per 5600 A nella direzione Nord (e cioè alla curva a) della Fig. 6) che risultano meno influenzati dalla nebulosità dell'atmosfera terrestre. Risulta:

r	O	C	$O - C$	M
20'	10.25^m	8.90^m	$+ 1.35^m$	31
25'	9.55	8.40	+ 1.15	26
30'	9.10	7.90	+ 1.10	21
35'	8.80	7.40	+ 1.40	16

Anche qui la correlazione ($O - C, M$) è rappresentata da una retta parallela all'asse delle M , alla distanza di $+1^m.28$: il residuo di densità non spiegabile con assorbimenti conosciuti risulterebbe di $+0^m.2$. In sostanza le osservazioni di YOUNG e le mie danno un residuo medio di $+0^m.5$ pari a quello trovato da LINK e GUTH. Dalla Fig. 11 risulta poi che le osservazioni nel verde di KEENAN e di ROUGIER danno un eccesso di O su C di circa $+1^m.5$ e $+0^m.9$, rispettivamente, cioè ancora, in media, un piccolo residuo inspiegato di circa $+0^m.1$. Si vede chiaramente che in linea di massima le osservazioni concordano nello stabilire l'esistenza di strati assorbenti nell'alta atmosfera, ma che un'analisi veramente conclusiva deve essere fondata su osservazioni che diano maggiori garanzie sul vero andamento della correlazione ($O - C, M$).

NOTE BIBLIOGRAFICHE

- (1) W. CHAUVENET, A Manual of spherical and practical Astronomy, Vol. I, p. 542.
P. SCHWAHN, Mathematische Theorie der astronomischen Finsternisse, 1910.
- (2) A. COLACEVICH, Memorie S. A. I. XII, 289, 1939.
- (3) W. WHIPPLE, Nature **108**, 497, 1921.
- (4) F. LINK e V. GUTH, ZS. f. Aph. **18**, 207, 1939.
- (5) A. DANJON, C. R. **173**, 706, 1921.
- (6) P. M. MILLMAN, J. R. A. S. C. XXIII, 201, 1929.
- (7) N. BARABASCHEFF e B. SEMEJKIN, ZS. f. Aph. VI, 114, 1933.
- (8) F. LINK e J. DEVAUX, C. R. **193**, 998, 1931.
- (9) G. ROUGIER, J. O. XVII. 65, 1934.
- (10) F. LINK, Théorie photométrique des éclipses de Lune, in *Bull. Astron.*, II S., VIII, 77, 1932.
- (11) T. R. WIDORN. A. N. **268**, 225, 1939.
- (12) J. YOUNG, J. B. A. A. **49**, 247, 1939.
- (13) E. BAUER e A. DANJON, Bull. S. A. F. **37**, 241, 1923.
- (14) F. LINK, Bull. Observ. Lyon, XI, 229, 1929.
- (15) A. DANJON, C. R. **193**, 716, 1931.
- (16) B. SEMEJKIN, Publ. Kharkiv astron. Observ. **3**, 56, 1931.
- (17) B. SEMEJKIN, Publ. Kharkiv astron. Observ. **4**, 48, 1933.
- (18) F. LINK, J. O. XIX. 129, 1936.
- (19) P. C. KEENAN, P. A. S. P. **41**, 297, 1929.
- (20) H. SIEDENTOPF e H. RAUDENBUSCH, A. N. **259**, 317, 1936.