Atti Accademia Nazionale dei Lincei

Classe Scienze Fisiche Matematiche Naturali

Rendiconti

Massimo Cimino, Vincenzo Croce, Giuseppe A. De Biase

L'eclisse totale di Sole del 7 Marzo 1970. Oscuramento al bordo solare e fotometria coronale

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. **48** (1970), n.5, p. 514–521.

Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1970_8_48_5_514_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

Articolo digitalizzato nel quadro del programma bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica) SIMAI & UMI
http://www.bdim.eu/

Astronomia. — *L'eclisse totale di Sole del 7 Marzo 1970. Oscuramento al bordo solare e fotometria coronale.* Nota di MASSIMO CIMINO, VINCENZO CROCE e GIUSEPPE A. DE BIASE, presentata (*) dal Corrisp. M. CIMINO.

SUMMARY. — On the occasion of the eclipse of the Sun of March 7 th 1970, visible in Central and North America, the Rome Astronomical Observatory organised an expedition having the following programme: *a*) measurement to a high degree of temporal resolution of the obscuration at the extreme edge of the Sun; *b*) photometry of the inner corona by white and polarised light. In the present Note the authors report on the methods and instruments used and give some preliminary results.

INTRODUZIONE.

In occasione dell'eclisse totale di Sole del 7 marzo 1970 l'Osservatorio Astronomico di Roma ha organizzato una spedizione scientifica nello stato di Oaxaca in Messico. Come posto di osservazione è stata scelta la località di Miahuatlan (1700 m s.d.m., a circa 100 km da Oaxaca) per le favorevoli previsioni meteorologiche e le buone condizioni di osservazione del fenomeno. Per le medesime ragioni molte spedizioni di tutto il mondo, per circa un centinaio di astronomi, hanno scelto la stessa località. Come dalle previsioni, il tempo è stato eccellente sia il giorno dell'eclisse sia i giorni precedenti e seguenti, condizione che ha permesso di ottenere un collegamento fotometrico della fase della totalità con le fasi parziali ed il Sole pieno.

La spedizione (composta da M. Cimino, dagli astronomi V. Croce e G. A. De Biase e dal tecnico A. Di Muzio) ha raggiunto la città di Oaxaca, assieme alla strumentazione, per via aerea. Il programma comprendeva:

a) l'osservazione fotoelettrica dell'oscuramento all'estremo bordo solare in diverse lunghezze d'onda ed elevata risoluzione temporale;

b) la fotometria della corona interna in luce bianca e polarizzata.

Il programma *a*) è stato eseguito e sistematicamente perfezionato nelle ultime quattro eclissi [1, 2] (Grecia, 21 maggio 1966; Brasile, 12 novembre 1966; Russia, 22 settembre 1968; Mexico, 7 marzo 1970); si ritiene che l'eseguire il medesimo programma con tecniche sempre più raffinate e strumenti collaudati sia, in definitiva, molto redditizio scientificamente.

GENERALITÀ.

L'importanza delle osservazioni dell'oscuramento all'estremo bordo solare per la determinazione della temperatura della fotosfera a piccolissime profondità ottiche e l'implicazione che tali determinazioni rivestono per la

(*) Nella seduta dell'11 aprile 1970.

comprensione della zona di transizione fra fotosfera e cromosfera è ben nota [3, 4, 5, 6]. In realtà non ha senso preciso stabilire una separazione fra la cromosfera e gli ultimi strati della fotosfera; infatti, a partire dagli strati fotosferici più interni – ove è possibile supporre con buona approssimazione la validità dell'equilibrio termodinamico locale – e procedendo verso l'esterno, tale condizione viene via via a mancare fino a cessare nella cromosfera e nella corona.

È noto come in un'atmosfera stellare (per semplicità supposta uniformemente stratificata) l'intensità specifica $I_\lambda(\theta)$ della radiazione emessa sulla lunghezza d'onda λ, in una direzione formante l'angolo θ con la normale, possa rappresentarsi con l'espressione:

$$(1) \qquad I_\lambda(\theta) = \int_0^\infty e^{-\tau_\lambda \sec\theta} B_\lambda(\tau_\lambda) \sec\theta \, d\tau_\lambda \quad ; \quad 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$$

ove con τ_λ si indica la profondità ottica; la nota funzione planckiana

$$(2) \qquad B_\lambda(\tau_\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT} - 1\right)}} \quad ; \quad T = T(\tau_\lambda)$$

va intesa come funzione della profondità ottica τ_λ attraverso la temperatura T.

Si può osservare che la $B_\lambda(\tau_\lambda)$ definita come in (2) implica l'ipotesi della validità dell'equilibrio termodinamico locale; ma anche in questa ipotesi il calcolo a secondo membro della 1) non è possibile senza conoscere l'andamento della temperatura con la profondità ottica. Posto $r = R \operatorname{sen}\theta$, la 1) rappresenta la distribuzione dell'energia $I_\lambda(r)$ emessa dalla fotosfera per ogni lunghezza d'onda λ e ad ogni distanza r dal centro dell'immagine del disco solare di raggio R.

Il divario fra le distribuzioni calcolate e quelle osservate dipende dall'allontanamento dalle condizioni d'equilibrio termodinamico locale e dal calcolo dei coefficienti di opacità. Una espressione più generale della $B_\lambda(\tau_\lambda)$, avente validità fino all'estremo bordo, è stata proposta da Pagel [7]:

$$(3) \qquad B_\lambda(\tau_\lambda) = a_\lambda + b_\lambda \tau_\lambda + c_\lambda E_2(\tau_\lambda) + A e^{-\alpha\tau_\lambda}(1 - \beta\tau_\lambda)$$

ove $E_2(\tau_\lambda)$ è la nota funzione integro–esponenziale ed a_λ, b_λ, c_λ sono coefficienti determinati per ogni λ [8] ed α e β coefficienti di correzione.

La determinazione della (3), o di altre espressioni analoghe, implica a sua volta la determinazione sperimentale della funzione $I_\lambda(r)$ fino a valori molto prossimi al bordo solare. Determinata la $B_\lambda(\tau_\lambda)$, si può infine, tramite la (2), conoscere la $T = T(\tau_\lambda)$.

Alcuni autori hanno calcolato modelli di fotosfera che prescindono dalle condizioni di equilibrio termodinamico locale od atmosfera uniformemente stratificata e che tengono conto, ad esempio, delle microturbolenze fotosferiche [9], della pressione radiativa o magnetica, degli effetti di assorbimento anomalo e delle irregolarità della fotosfera dovute ai campi di velocità radiali [10].

METODOLOGIA IMPIEGATA PER IL RILEVAMENTO DELL'ESTREMO BORDO.

Per la conoscenza della $I_\lambda(r)$ all'estremo bordo solare fuori eclisse sorgono gravi difficoltà a causa della luce di tutto il disco del sole diffusa sia dall'atmosfera terrestre, sia dallo stesso strumento d'osservazione.

Tali difficoltà possono superarsi usando il metodo integrale di Julius [11], basato sulla misura dell'intensità $J_\lambda(r')$ emessa dai crescenti solari in una eclisse di sole, si ha:

$$(4) \qquad J_\lambda(r') = \int_{r'}^{1} I_\lambda(r)\, A(r, \delta)\, dr\,; \qquad \delta = R_{\mathbb{C}} - r'\,; \qquad r' \leq r \leq 1$$

ove r' è una coordinata corrente, $J_\lambda(r')$ è l'intensità del crescente sulla lunghezza d'onda λ e $A(r, \delta)$ è una funzione che esprime l'area del crescente.

Una volta determinata la $J_\lambda(r')$, dalle (4) si può ricavare numericamente la $I_\lambda(r)$; tuttavia il metodo impiegato genera alcune incertezze, nel calcolo della $A(r, \delta)$, a causa delle irregolarità del bordo lunare [12], che però sono oggi superabili in seguito alle molto migliorate conoscenze del profilo del bordo stesso [13].

Generalmente, le tecniche fotografiche fino ad oggi usate per la misura dell'intensità dei crescenti possedevano un potere risolutivo temporale assai basso, insufficiente per le esigenze teoretiche. Infatti il maggiore interesse nella conoscenza della $I_\lambda(r)$ (e quindi della $J_\lambda(r')$) risiede negli ultimi millesimi di raggio solare, ovvero pochi secondi di tempo prima del 2° contatto o dopo il 3°. Il metodo fotoelettrico permette di eseguire molte decine di misure al secondo, e, contemporaneamente, su molte lunghezze d'onda e tutte con risoluzione temporale elevata (nel caso in esame 6 lunghezze d'onda, 4 livelli di calibrazione con risoluzione di $5 \cdot 10^{-2}$ sec.).

Il sistema fotoelettrico di misura e di registrazione adoperato in questa eclisse [1] (miglioramento di quelli usati nelle eclissi precedenti) consiste in:

a) un sistema ottico destinato a raccogliere una sufficiente energia luminosa, selezionare le lunghezze d'onda, fornire i livelli luminosi di calibrazione ed infine convertire queste informazioni in segnali elettrici;

b) un sistema elettronico avente, oltre lo scopo di registrare le informazioni fornite dal sistema ottico, anche quello di provvedere a generare una accurata coordinata temporale ed i necessari automatismi per evitare l'intervento manuale in momenti particolarmente critici.

a) *Il sistema ottico.*

Nella spedizione del 7 marzo 1970, il sistema ottico era formato da un teleobiettivo da 600 mm di lunghezza focale equivalente, da un « *chopper* » meccanico ruotante a 20 giri/sec. per l'inserzione dei filtri di colore e dei livelli

(1) Per maggiori particolari cfr.: G. A. DE BIASE, *Photoelectric System for Extreme Solar Limb Darkening Observation in Different Wavelentghs with Thigh Resolution Time*, « Appl. Opt. » (in stampa).

di calibrazione, da un filtro neutro inserito automaticamente per variare la sensibilità di tutto il sistema di un fattore 10^3 ed infine da un fotomoltiplicatore con catodo S 20 destinato a convertire le informazioni luminose in segnali elettrici.

L'immagine del crescente solare generata dal teleobiettivo si formava sui filtri di colore montati sul « *chopper* », mentre una lente generava sul fotomoltiplicatore l'immagine della pupilla di ingresso del teleobiettivo; questo accorgimento permette di trascurare l'effetto sulle misure di eventuali inomogeneità del fotocatodo.

Tutto l'apparato era portato da una montatura equatoriale appositamente realizzata per spedizioni del genere, con motore di inseguimento controllato da un quarzo.

b) Il sistema di registrazione.

Nella fig. 1 è rappresentato lo schema a blocchi del sistema di registrazione e dei comandi. Come si può vedere, le informazioni raccolte dal fotomoltiplicatore vengono inviate ad un oscillografo di cui veniva eseguita una cinematografia continua, mentre il blocco *controllo automatico di sensibilità* garantiva che l'ampiezza dei segnali fosse sempre tale da consentire una registrazione con errore minimo. I segnali di due delle lunghezze d'onda venivano inoltre inviate ad un registratore a carta, dopo essere state separate dalle altre informazioni da un sistema di *demultiplexer*.

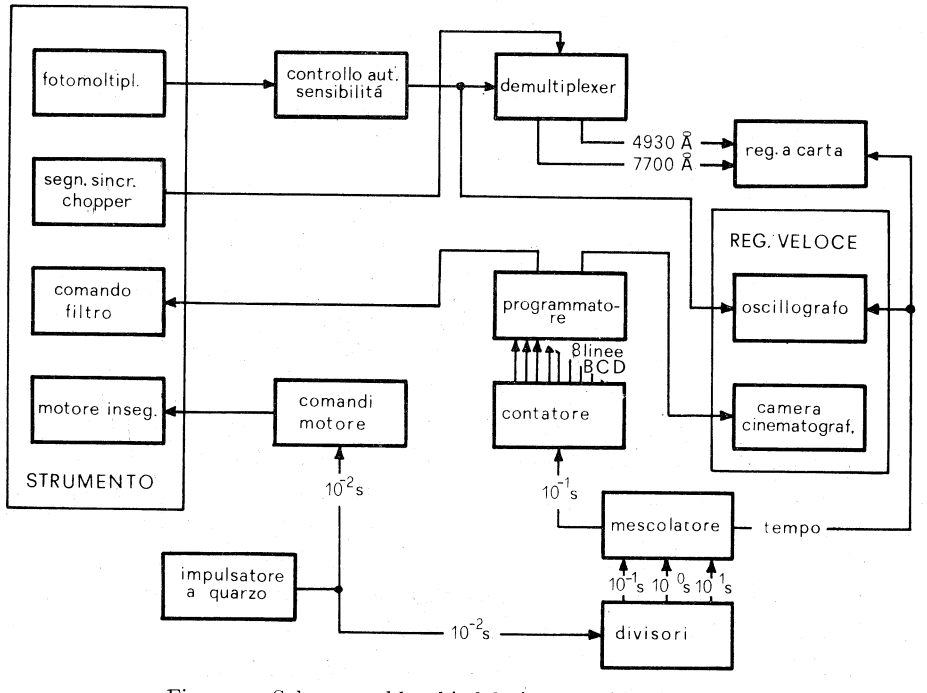


Fig. 1. – Schema a blocchi del sistema di registrazione.

Un generatore di impulsi controllato da un quarzo garantiva la metrica temporale alle registrazioni e permetteva, tramite i blocchi *contatore* e *programmatore*, di prestabilire i comandi per l'avviamento e la fermata della camera cinematografica durante la registrazione veloce e l'inserzione e disinserzione del filtro neutro.

Il programma fotometrico.

Durante la totalità è stato svolto il programma di rilevamento polarimetrico della corona interna. Sono stati eseguiti circa 200 fotogrammi con 4 differenti esposizioni usando un teleobiettivo da 1000 mm. di lunghezza focale equivalente con apertura 1 : 11, connesso ad una camera da 35 mm.

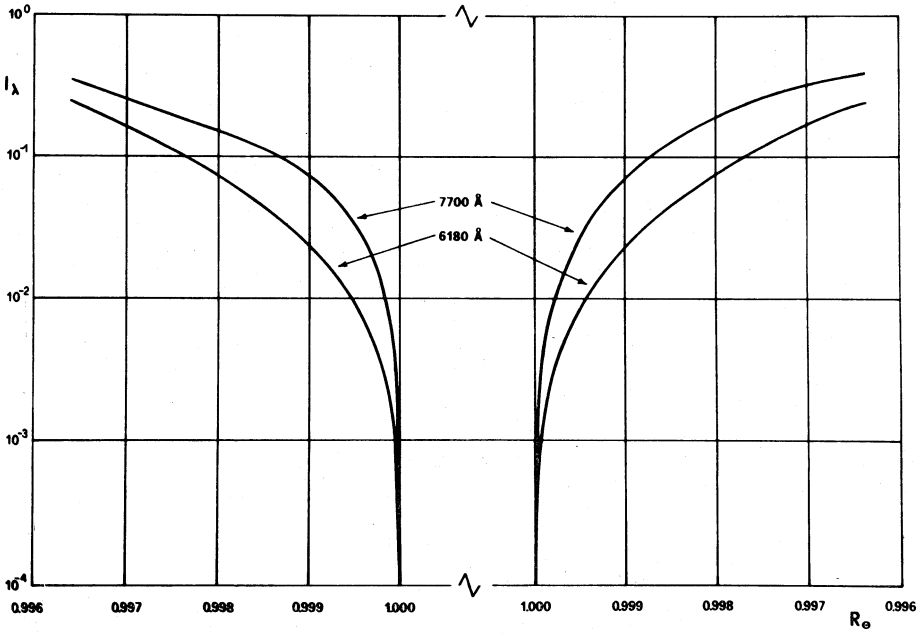


Fig. 2. – Intensità specifica in due lunghezze d'onda ricavata dalle misure dell'eclisse di Russia del 1968. Queste curve devono ancora essere corrette delle deformazioni introdotte dal profilo del bordo lunare.

Le immagini sono state eseguite attraverso un filtro rosso di circa 400 Å di banda centrato su 6200 Å, seguito da un disco rotante con quattro diaframmi sui quali erano montati 3 polaroidi orientati rispettivamente a 0°, 60°, 120° rispetto alla direzione Est–Ovest celeste mentre il quarto rimaneva libero.

Anche per questo programma la durata delle esposizioni (comprese fra 10^{-1} e 1 sec.), l'inserzione dei polaroidi e l'avanzamento del film erano controllati da un programmatore automatico.

Calibrazioni dell'emulsione usata sono state effettuate prima e dopo il giorno dell'eclisse con lampada campione, un *test* completo per la focheg-

giatura e l'esatta scelta dei tempi di esposizione è stato eseguita sulla luna piena ed al primo quarto. Sono state eseguite serie complete di rilevamenti del disco solare il giorno dell'eclisse, nei due precedenti e, nel successivo, per determinare il meglio possibile la retta di Bouguer e le condizioni di trasparenza durante la totalità. Sono inoltre state eseguite calibrazioni mediante cuneo fotometrico e sequenze di esposizioni con la luce diffusa del cielo.

RISULTATI PRELIMINARI.

Per quanto riguarda il rilevamento dell'oscuramento all'estremo bordo le lunghezze d'onda registrate in questa eclisse sono:

$$3830 \pm 20\ \text{Å}\ ;\quad 4020 \pm 20\ \text{Å}\ ;\quad 4930 \pm 15\ \text{Å}\ ;$$
$$6180 \pm 15\ \text{Å}\ ;\quad 6563 \pm 2\ \text{Å}\ ;\quad 7700 \pm 25\ \text{Å}\ .$$

Tutte le bande scelte sono state centrate su zone spettrali prive di linee importanti di emissione cromosferica o coronale, tranne la 6563 Å centrata proprio sull' H_α. Non è possibile, al momento attuale, riportare i risultati di tali registrazioni, che assommano a circa 10^6 misure e richiedono diversi mesi per la riduzione; nella fig. 2 si riporta invece il risultato preliminare delle intensità specifiche $I_\lambda(r)$ su 6180 Å e 7700 Å ricavate dall'elaborazione dei dati dell'eclisse di Russia del 1968.

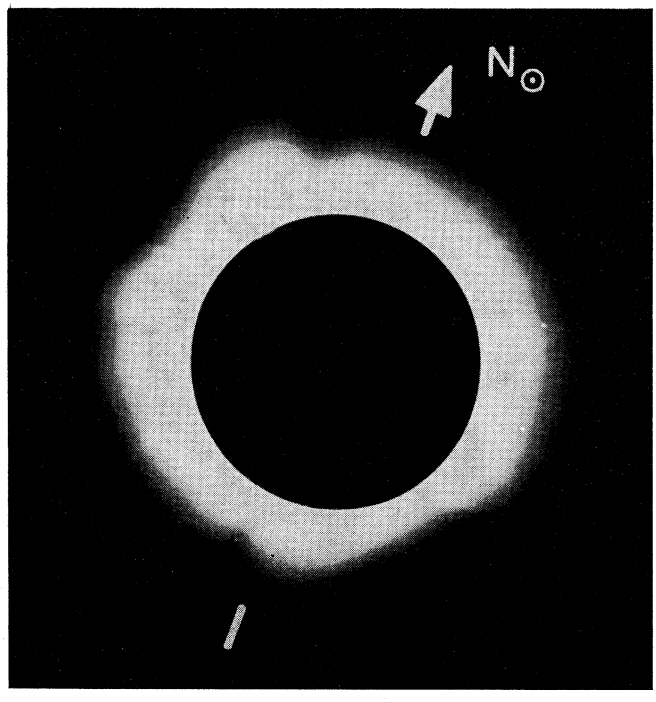


Fig. 3. – Fotografia della corona interna in luce non polarizzata dell'eclisse del Messico 1970.

Riguardo al programma fotografico è noto che la presenza di elettroni liberi nei gas costituenti la corona interna provoca una netta polarizzazione della luce fotosferica da essi diffusa. La conoscenza del grado e della direzione di questa polarizzazione in ciascun punto dell'immagine permette di ottenere importanti dati sulla distribuzione della densità elettronica della corona interna [14].

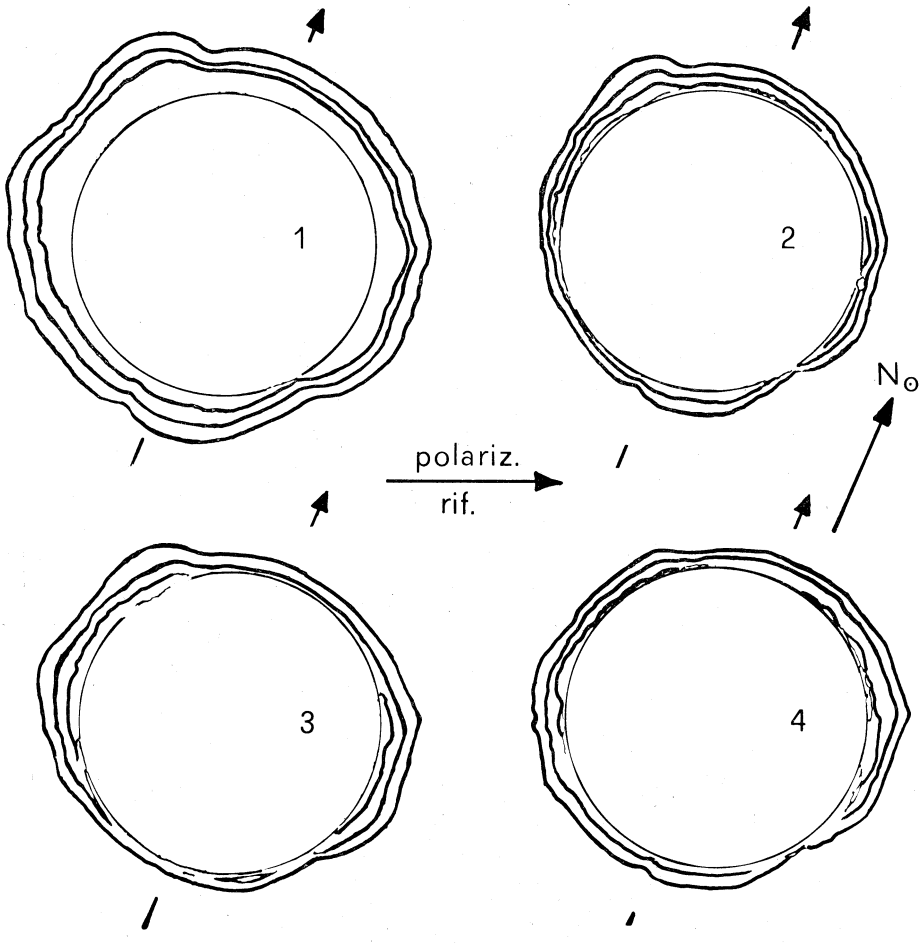


Fig. 4. – Contorni preliminari di isointensità: 1) in luce non polarizzata; 2, 3, 4) in luce polarizzata rispettivamente a 0°, 60°, 120° rispetto alla direzione di riferimento segnata in figura.

In fig. 3 si può vedere una immagine della corona in luce non polarizzata mentre in fig. 4 sono riportati i contorni di isointensità, ottenuti col metodo della equidensitometria fotografica utilizzando le immagini di una sequenza completa al centro della totalità, sia in luce polarizzata che non. Il rapporto di intensità luminosa per le successive isofote, a partire dalla più centrale, è di 1, 1/2, 1/5; si può notare una marcata differenza di distribuzione luminosa ai vari angoli di polarizzazione specialmente in corrispondenza ai pennacchi coronali. Complessivamente l'eclisse ha mostrato una corona di tipo inter-

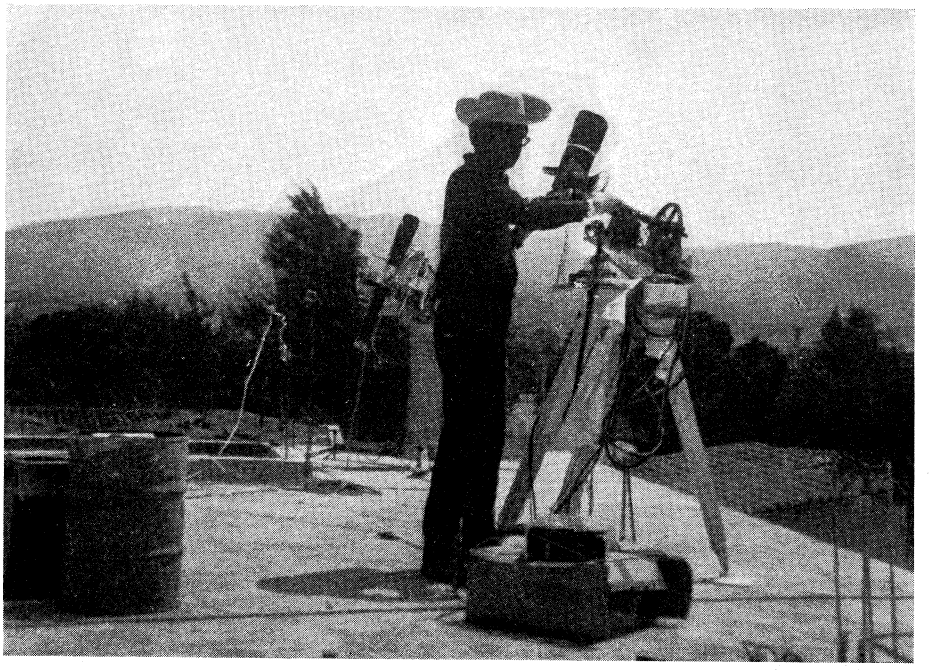


Fig. 5. – Sistemazione degli strumenti nell'eclisse del Messico 1970. In primo piano la camera per il programma fotografico, dietro il sistema ottico per il rilevamento dell'estremo bordo.

medio alquanto più sviluppata nella parte settentrionale, con una netta corrispondenza fra le latitudini di tre pennacchi coronali (che in fig. 3 si vedono in abbozzo) e quelle delle regioni attive del disco. Durante la totalità il cielo si è mantenuto piuttosto chiaro.

Ringraziamenti. Gli autori ringraziano la dr.sa Gabriella de Gregorio, che ha eseguito l'elaborazione delle misure delle eclissi precedenti, ed il signor Antonio Di Muzio per il valido aiuto tecnico apportato alla spedizione.

BIBLIOGRAFIA.

[1] M. CIMINO, G. A. DE BIASE, F. SMRIGLIO e U. BARTOLINI, « Atti X Conv. SAI » (1966).
[2] M. CIMINO, G. A. DE BIASE e U. BARTOLINI, « Mem. SAI », *39*, 125 (1968).
[3] M. HUBENET e C. DE JAGER, « Bull. Astr. Inst. Neth. », *13*, 43 (1956).
[4] R. MICHARD, « Ann. Astrophys. », *16*, 217 (1953).
[5] J. R. W. HEINTZE, « Rech. Astr. Obs. Utrecht », *17*, 1 (1965).
[6] J. R. W. HEINTZE, « Bull. Astr. Inst. Neth. », *20*, 137 (1969).
[7] B. E. J. PAGEL, « Ann. Astrophys. », *23*, 835 (1960).
[8] A. K. PIERCE e J. H. WADDELL, « Mem. R. Astr. Soc. », *58*, 89 (1961).
[9] C. DE JAGER, « Handbuch der Physik », *52*, 80 (1959).
[10] M. MINNAERT, *The Sun*, 106, University of Chicago press, Chicago 1953.
[11] J. GOLDBERG e A. K. PIERCE, « Handbuch der Physik », *52*, 12 (1959).
[12] M. MÄDLOW, « Astr. Nach. », *286*, 271 (1961).
[13] C. B. WATTS, *The marginal zone of the moon*, U. S. Gov. Printing Off., Washington 1963.
[14] C. DE JAGER, « Handbuch der Physik », *52*, 265 (1959).