

IL FOTOMETRO FOTOELETTRICO DELL' OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI TORINO

Nota di G. COCITO ed A. MASANI (*)
(*Osservatorio Astronomico di Torino -
Osservatorio Astronomico di Brera, Milano*)

RIASSUNTO. — Viene descritta l'apparecchiatura fotometrica installata nella Specola di Pino Torinese e collegata al rifrattore Merz $\phi = 30$ cm. Sono riportate le curve spettrali di risposta del fotomoltiplicatore Lallemand e di trasmissione dei filtri del fotometro. Viene inoltre descritta una apparecchiatura fotometrica sussidiaria, del tipo a « conteggio di fotoni ».

ABSTRACT. — The photoelectric photometer attached to the 30 cm Merz refractor of the Observatory of Turin is described. The spectral response curve for the 19-dinodes Lallemand multiplier phototube is plotted with the spectral transmission curve for the filters (Figure 2). A subsidiary apparatus for achieving the photon-counting is also described.

INTRODUZIONE

Alla fine del 1958 il Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Torino, prof. Gino Cecchini, decise di iniziare presso l'Osservatorio stesso una serie di ricerche nel campo della fotometria fotoelettrica.

A tale scopo diede incarico ai due autori della presente nota di installare un'apparecchiatura fotometrica, acquistata in precedenza, apportando le modifiche ed i completamenti necessari ad ottenere le condizioni migliori di funzionamento (**).

Essendo stato ultimato questo preliminare lavoro di completamento e perfezionamento, ci proponiamo nella presente nota di descrivere lo strumento e di riportarne le caratteristiche.

(*) Pervenuta il 27 gennaio 1960.

(**) Siamo riconoscenti al Prof. G. Cecchini per la liberalità con cui ha provveduto a tutte le esigenze della ricerca e per avere agevolato e seguito con benevolenza il nostro lavoro.

CELLULA FOTOELETTRICA

La cellula fotoelettrica è un tubo a moltiplicazione d'elettroni con 19 stadi di moltiplicazione, di tipo lineare con dinodi a « persiana veneziana », costruito nel 1951 nell'Osservatorio Astronomico di Parigi dal prof. A. Lallemand.

L'alimentazione della cellula è fatta con un alimentatore ad alta tensione, stabilizzato con sistema elettronico, costruito nell'Osservatorio di Parigi. La tensione fornita alla cellula può venire variata con continuità da 0 V a 2500 V. Secondo la consuetudine, e per ragioni di sicurezza, il lato positivo dell'alimentazione della cellula è collegato a terra.

Le tensioni di alimentazione dei singoli dinodi del tubo fotomoltiplicatore sono ottenute con prese su di un partitore di tensione resistivo, secondo il solito. Il partitore di tensione è stato studiato in laboratorio, al fine di ottenere la migliore distribuzione delle tensioni dei dinodi. Abbiamo così adottato una catena di resistori con distribuzione non lineare (schema di Fig. 1). Tale partitore è stato sistemato all'interno dell'involucro racchiudente il fotomoltiplicatore e collegato direttamente ai terminali degli elettrodi del tubo stesso. La disposizione dell'insieme è visibile in Fig. 4.

Ci siamo preoccupati di rilevare la curva spettrale di risposta del fotomoltiplicatore. A tale scopo ci siamo valse del monocromatore Gaertner ad ottica di quarzo per il visibile, installato nel Reparto Fotometria dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino e gentilmente messo a nostra disposizione dal Direttore dell'Istituto prof. R. Deaglio. La curva di risposta del fotomoltiplicatore è riportata in Fig. 2 (curva n. 1). Sempre in Fig. 2 è tracciata (curva n. 2) la curva di trasmissione di un complesso ottico composto di una lente di Fabry e di un vetrino a facce pianoparallele, complesso che attualmente è anteposto al fotocatodo del fotomoltiplicatore. Questa curva è stata rilevata con lo spettrofotometro Beckman DU ad ottica di quarzo del predetto Istituto Elettrotecnico Nazionale.

SISTEMA DI REGISTRAZIONE

La corrente erogata dal fotomoltiplicatore, proporzionale al flusso luminoso che interessa la superficie del fotocatodo (la proporzionalità sussiste a condizione di non superare il valore 4×10^{-8} A come corrente d'uscita del fotomoltiplicatore), viene trasferita al complesso registratore per mezzo di un cavo schermato ad alta impedenza, basse perdite, basso coefficiente elettrostrittivo.

L'uscita del cavo (vedi fig. 1) è collegata ad un integratore a due partitori e di qui ad un sistema di quattro tubi elettronici che costitui-

1960MNSAI...31...135C

scono un adattatore d'impedenza per trasferire il segnale all'ingresso a bassa impedenza del registratore.

Il registratore è un apparecchio Speedomax serie S 60000, costruito dalla Soc. MECI su licenza della Leeds & Northrup Co., a due sensibilità (5 e 25 mV fondo scala).

Il meccanismo di trascinamento della carta è stato da noi modificato per ottenere una velocità di 13 mm/minuto.

Una penna supplementare permette di registrare su di un margine della carta segnali di tempo derivati da un pendolo e, eventualmente, altri segnali di riferimento.

Abbiamo controllato la linearità del registratore e l'abbiamo constatata verificata entro 0,01 mV.

I due partitori collegati all'uscita del cavo permettono di variare la sensibilità del sistema e la costante di tempo del circuito integratore e sono manovrabili, a scatti, sul pannello di un apparecchio, costruito nell'Osservatorio di Parigi, contenente, oltre ai partitori stessi, l'adattatore d'impedenza ed il relativo alimentatore stabilizzato. Sul medesimo pannello è disposto il comando di posizione della penna scrivente del registratore.

Il partitore che controlla la sensibilità del complesso è stato da noi tarato direttamente in magnitudini stellari e le attenuazioni relative, in tali unità, sono riportate in tabella I, nella quale figurano anche le attenuazioni dei diaframmi, a cui è accennato alla fine della nota.

TABELLA I. — *Fotometro fotoelettrico*

Attenuazioni del partitore (Δ m)	Valori resistivi corrispondenti (M Ω)
0,000	100
— 0,102	90
— 0,218	80
— 0,354	70
— 0,508	60
— 0,684	50
— 0,920	40
Attenuazioni dei diaframmi (Δ m)	Diametro dei fori (cm)
0,000	32,0
— 0,950	18,8
— 1,940	12,0
— 2,900	7,6

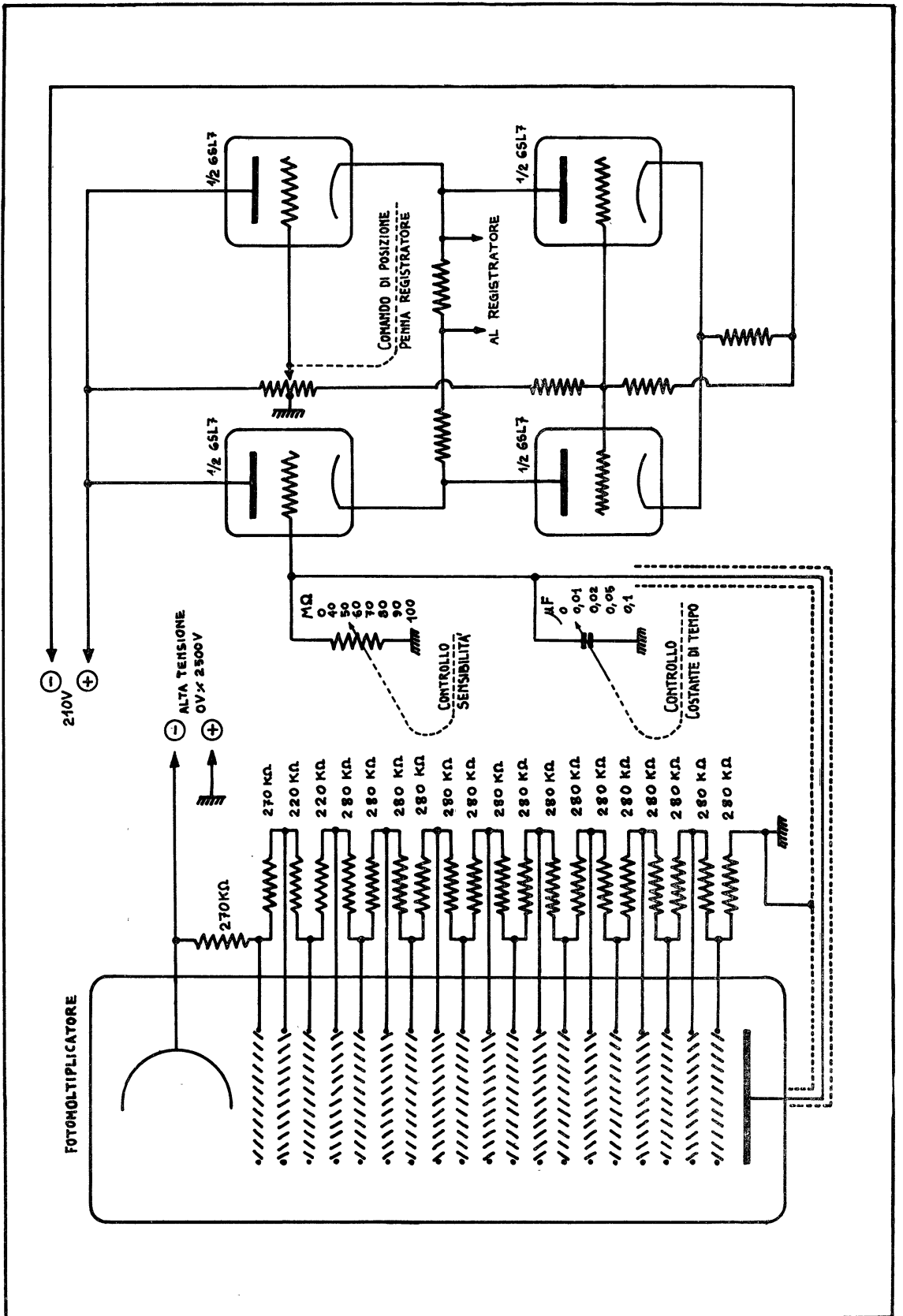


Fig. 1. — Schema di principio del fotometro fotoelettrico.

FILTRI COLORATI

Il fotometro è corredato di una serie di nove filtri

filtro 19	(λ max = 4050 Å)	interferenziale	GAB-Balzers	(curva 1A)
filtro 2A	(λ max = 4350 Å)	interferenziale	GAB-Balzers	(curva 2A)
filtro 3A	(λ max = 4950 Å)	interferenziale	GAB-Balzers	(curva 3A)
filtro 4A	(λ max = 5150 Å)	interferenziale	GAB-Balzers	(curva 4A)
filtro 5A	(λ max = 5150 Å)	colorato	1mm Chance	(curva 5A)
filtro 1B	(λ max = 3650 Å)	colorato	1mm Chance	(curva 1B)
filtro 2B	(λ max = 3800 Å)	colorato	1mm Chance	(curva 2B)
filtro 3B	(λ max = 4300 Å)	colorato	1mm Chance	(curva 3B)
filtro 4B	(λ max = 4150 Å)	colorato	1mm Chance	(curva 4B)

I filtri sopraelencati hanno, ordinatamente, le seguenti sigle:

K1, K2, K3, K4 della GAB-Balzers

OY6, OX1, OV1, OB10, OY8 della Chance-Pilkington Ltd.

I filtri sono alloggiati in due supporti circolari sovrapposti (corrispondenti ciascuno ai due indici A e B della nostra numerazione). I due supporti presentano anche un foro vuoto, cosicchè risulta possibile disporre i filtri singolarmente od a combinazioni di due.

Le curve spettrali di trasmissione, indicate a lato di ciascun filtro, sono tracciate in fig. 2 e si riferiscono alla combinazione filtro-fotomoltiplicatore anzichè al solo filtro. Esse sono state rilevate col predetto monocromatore Gaertner dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino.

CONTATORE DI FOTONI

L'apparecchiatura fin qui descritta fa uso del metodo di misura cosiddetto in corrente continua, come alcuni Autori preferiscono, del metodo « rate of charge ».

Nelle due note che seguono la presente, dedicate allo studio delle variabili RR Lyrae e TU Cassiopeiae, si può vedere un esempio di impiego di tale apparecchiatura. Si può constatare che in notti di buone condizioni atmosferiche la precisione delle misure è dell'ordine di qualche 0,001 magnitudini.

E' noto tuttavia che il metodo « rate of charge » è inferiore ai metodi « charge integrating ». Limitando la valutazione al rapporto $R = (\text{Segnale}/\text{Disturbo})$, si ha $R_{ci}/R_{rc} = \sqrt{2}$ dove R_{ci} ed R_{rc} sono i rapporti (Segnale/Disturbo) per i metodi ad integrazione di carica e per i metodi in corrente continua, rispettivamente ⁽¹⁾.

Se poi si considera, tra i metodi ad integrazione di carica, quello

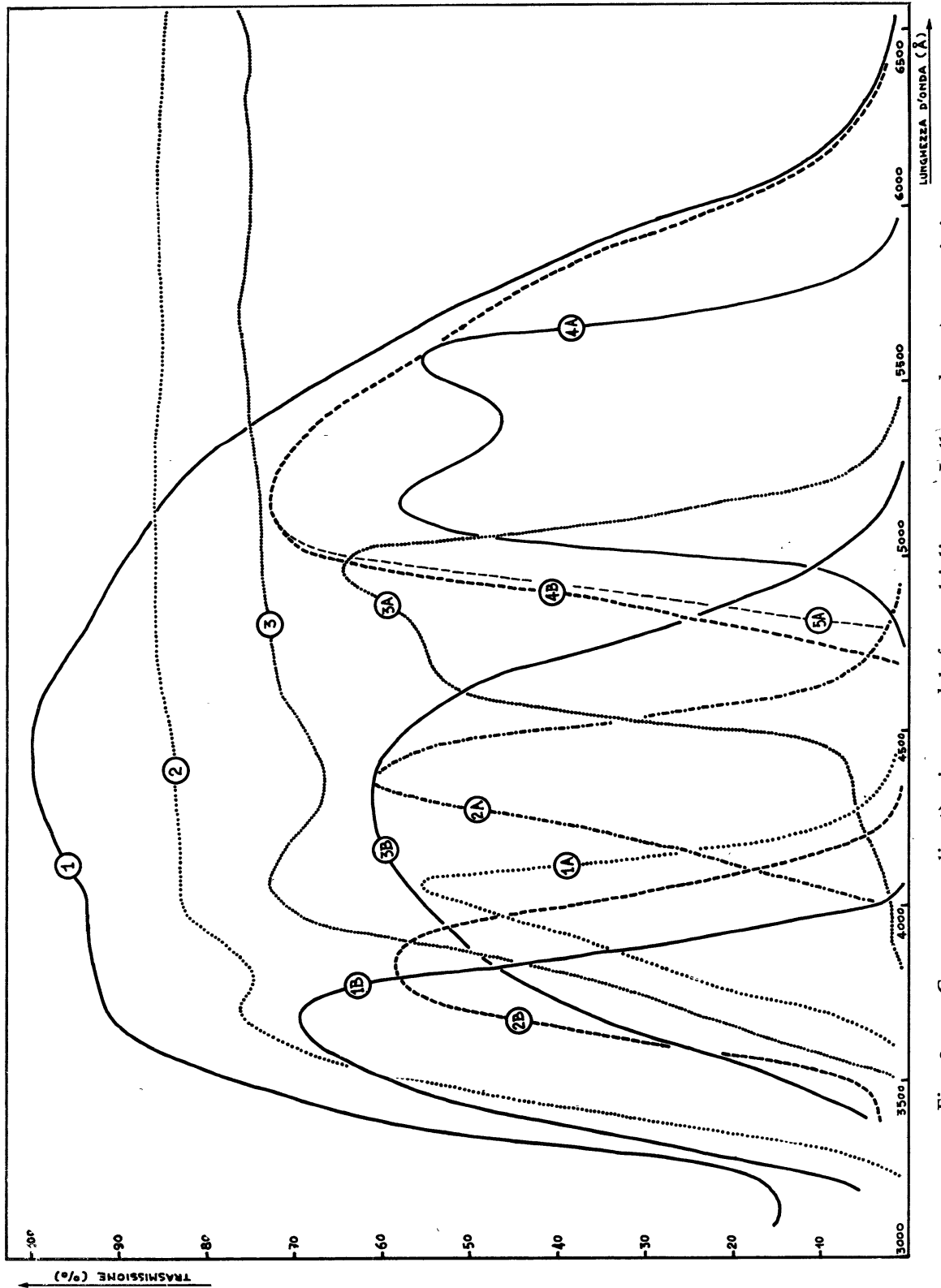


Fig. 2. — Curve spettrali: 1) risposta del fotomoltiplicatore Lallemand - 2) trasmissione della coppia « Lente di Fabry e vetro a facce piane » del fotometro - 3) trasmissione dell'obiettivo Merz del telescopio della Specola di Pino Torinese - A e B) trasmissioni dei

« conteggio di fotoni », i vantaggi sui metodi in corrente continua paiono anche maggiori. Si hanno valide conferme sperimentali ⁽²⁾ di questa superiorità che fino a pochi anni addietro era semplicemente affermata in via teorica.

Ciò premesso, allo scopo di aumentare la sensibilità del fotometro e contemporaneamente di renderlo adatto allo studio di fenomeni rapidi, abbiamo progettato e costruito un'apparecchiatura del tipo « ad integrazione di carica ».

L'apparecchiatura oggi in funzione consiste sostanzialmente di tre unità (vedi fig. 4): 1) una testa preamplificatrice alloggiata a diretto contatto con i terminali del fotomoltiplicatore 2) un apparecchio, adatto a montaggio su rack, contenente un amplificatore, un discriminatore ed un sistema integratore 3) un alimentatore stabilizzato, adatto a montaggio su rack, per l'alimentazione delle due unità precedenti.

La successione delle singole operazioni di funzionamento: amplificazione, discriminazione, integrazione, registrazione, risulta chiaramente dallo schema di principio di fig. 3.

Per ogni fotoelettrone che parte dal catodo del fotomoltiplicatore, una valanga di elettroni cade sull'anodo del tubo. L'impulso negativo di tensione che così si forma all'uscita del fotomoltiplicatore ha un fronte la cui durata è circa uguale al tempo di transito degli elettroni dall'ultimo dinodo all'anodo ($\sim 10^{-9}$ sec) ed un'ampiezza inversamente proporzionale alla capacità dell'anodo. Si ha pertanto interesse a rendere minima, per quanto possibile, questa capacità: per tale motivo abbiamo collegato l'ingresso del preamplificatore direttamente all'uscita del fotomoltiplicatore. Inoltre, per ridurre la capacità riflessa sulla griglia del primo tubo, abbiamo impiegato un ripetitore catodico come primo stadio del preamplificatore, sfruttando una nota proprietà dei circuiti di questo tipo.

Segue il ripetitore catodico un amplificatore di tipo « cascode » leggermente controreazionato (guadagno totale 15), che alimenta ancora un ripetitore catodico con uscita a bassa impedenza collegata, tramite un cavo schermato a basse perdite, all'ingresso dell'amplificatore vero e proprio.

Abbiamo posto una cura particolare nella progettazione e nella costruzione della testa preamplificatrice, per evitare al massimo le capacità parassite e le fonti di rumore. Le caratteristiche di basso rumore del circuito amplificatore, l'impiego di tubi elettronici di tipo professionale con speciali caratteristiche di qualità e sicurezza, la costruzione con la tecnica dei circuiti stampati, l'uso di contatti dorati od argentati sono indici di questa nostra preoccupazione.

L'amplificatore consiste di una serie di due anelli controreazionati di amplificazione, ciascuno comprendente tre tubi elettronici (guadagno totale 10^3 , 10^3 Hz \div 10^8 Hz).

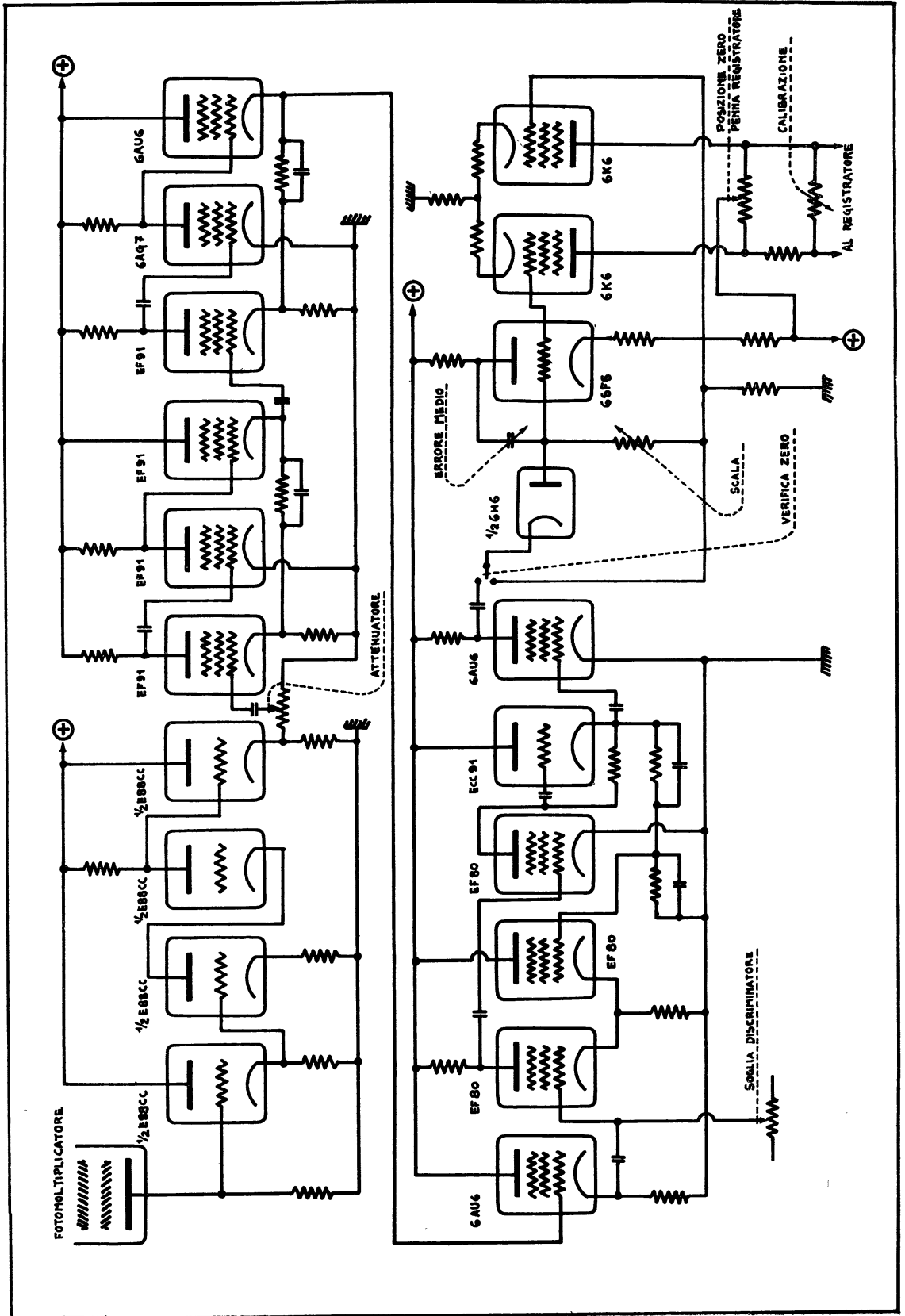


Fig. 3. — Schema di principio del contatore di fotoni.

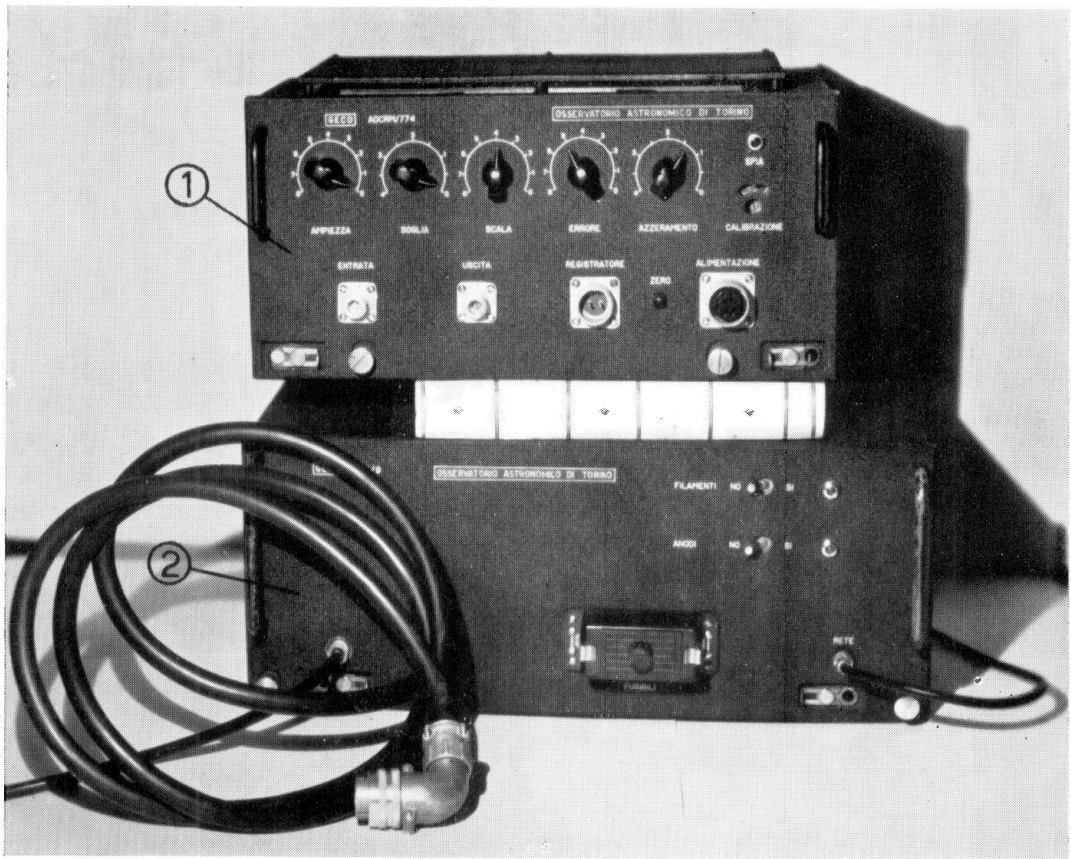


Fig. 4 A. — 1) Amplificatore, discriminatore, integratore - 2) Alimentatore stabilizzato.

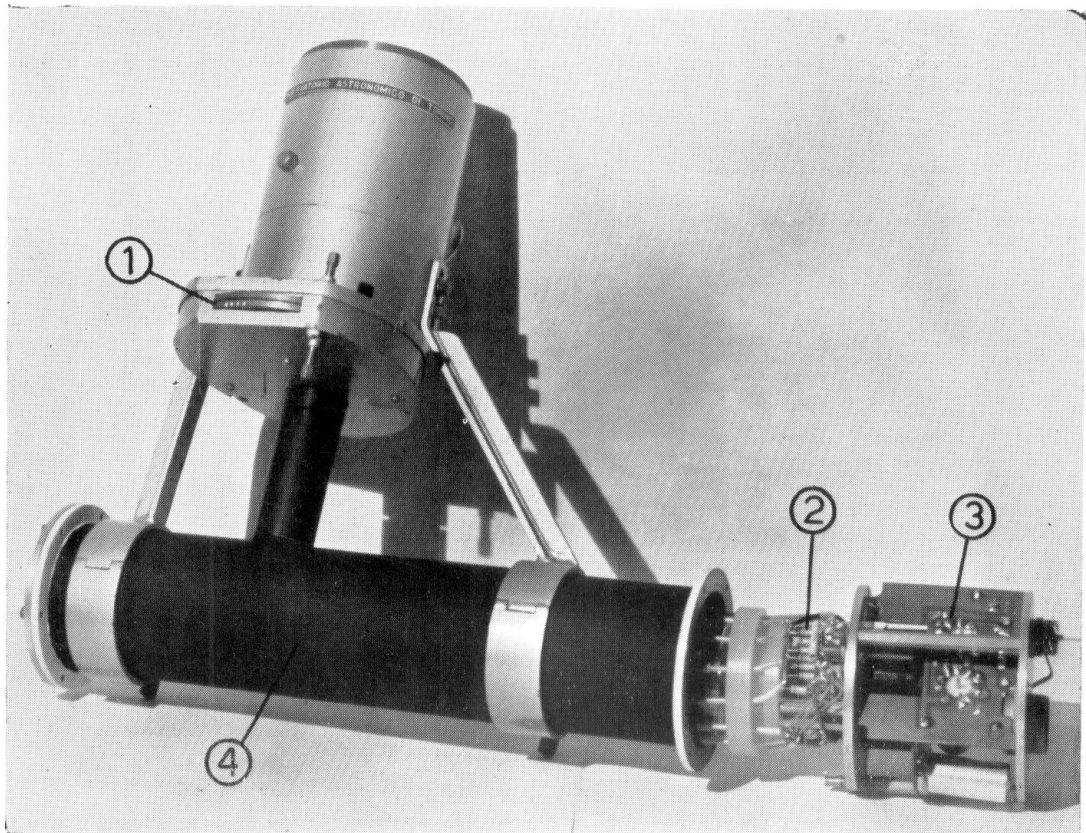


Fig. 4 B. — 1) Dischi portafiltri - 2) Partitore di tensione per l'alimentazione dei dinodi del fotomoltiplicatore - 3) Testa preamplificatrice - 4) fotomoltiplicatore.

Precede il primo stadio dell'amplificatore un attenuatore resistivo comandato a scatti ed un « formatore di impulsi ».

Questo formatore non è altro che una linea di ritardo di 0,8 μ sec, cortocircuitata ad un'estremità e collegata dall'altra su di un resistore di valore uguale all'impedenza della linea stessa.

Il funzionamento di una linea in queste condizioni è noto. Si ottiene così un miglioramento della forma degli impulsi, tagliandone il piede poco ripido.

Segue l'amplificatore un ripetitore catodico per il trasferimento del segnale al circuito discriminatore. Questo circuito ⁽³⁾ consiste sostanzialmente di un amplificatore, a soglia di ingresso variabile, che amplifica circa cinque volte quei segnali che superano la soglia mentre rimane inattivo quando il livello dei segnali è al di sotto della soglia.

La discriminazione permette di separare dal segnale vero e proprio parte del disturbo dovuto a termoelettroni nel tubo fotomoltiplicatore, a difetti di isolamento, a ionizzazione e simili.

Tali disturbi infatti, che costituiscono la cosiddetta corrente d'oscurità, sono costituiti in gran parte da impulsi di ampiezza minore di quella degli impulsi-segnale e possono pertanto venire eliminati aggu-stando opportunamente il valore di soglia.

Sembrerebbe in tal modo di poter eliminare tutta o quasi la corrente d'oscurità, tenendo conto che anche per i termoelettroni partiti dal fotocatodo è possibile una certa discriminazione.

E' noto infatti che l'energia media di un termoelettrone (a temperatura ambiente) è 0,02 eV mentre l'energia media di un fotoelettrone si aggira (per lunghezze d'onda nel campo visibile) su 1 eV ⁽⁴⁾, cosic-chè dovrebbe risultare possibile separare gli impulsi dovuti ai fotoelettroni da quelli prodotti da termoelettroni. Anche se, all'atto pratico, le cose non vanno del tutto in questo modo, l'utilità della discriminazione pare tuttavia innegabile.

Al discriminatore segue un circuito integratore, o « counting rate meter », al quale corrispondono i tre comandi che regolano

- 1) il fondo scala, per una data cadenza di impulsi
- 2) l'errore percentuale medio della misura
- 3) la posizione di zero della penna del registratore.

Gli schemi del circuito integratore e di pilotaggio del registratore sono di tipo piuttosto comune ⁽⁵⁾ ed il loro funzionamento è chiaro dallo schema di principio di fig. 3.

TELESCOPIO

Il fotometro ora descritto è attualmente installato nella Specola di Pino Torinese e funziona collegato al rifrattore Merz (\varnothing 30 cm, distanza focale 5 m). La curva spettrale di trasmissione dell'obiettivo Merz, rile-

vata col monocromatore Leiss ad ottica di quarzo dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino, è riportata in Fig. 2 (curva n. 3).

La sistemazione della testa fotometrica è rappresentata schematicamente in Fig. 5.

Al telescopio è stato adattato un disco con quattro fori di diverso diametro, che può venire fatto ruotare per diaframmare l'obiettivo.

Abbiamo effettuato la taratura dei diaframmi (per due colori attorno a $\lambda_{\text{Max}} = 5150 \text{ \AA}$ ed a $\lambda_{\text{Max}} = 4300 \text{ \AA}$) direttamente in magnitudini: le attenuazioni medie, in tale unità, sono riportate in Tabella I.

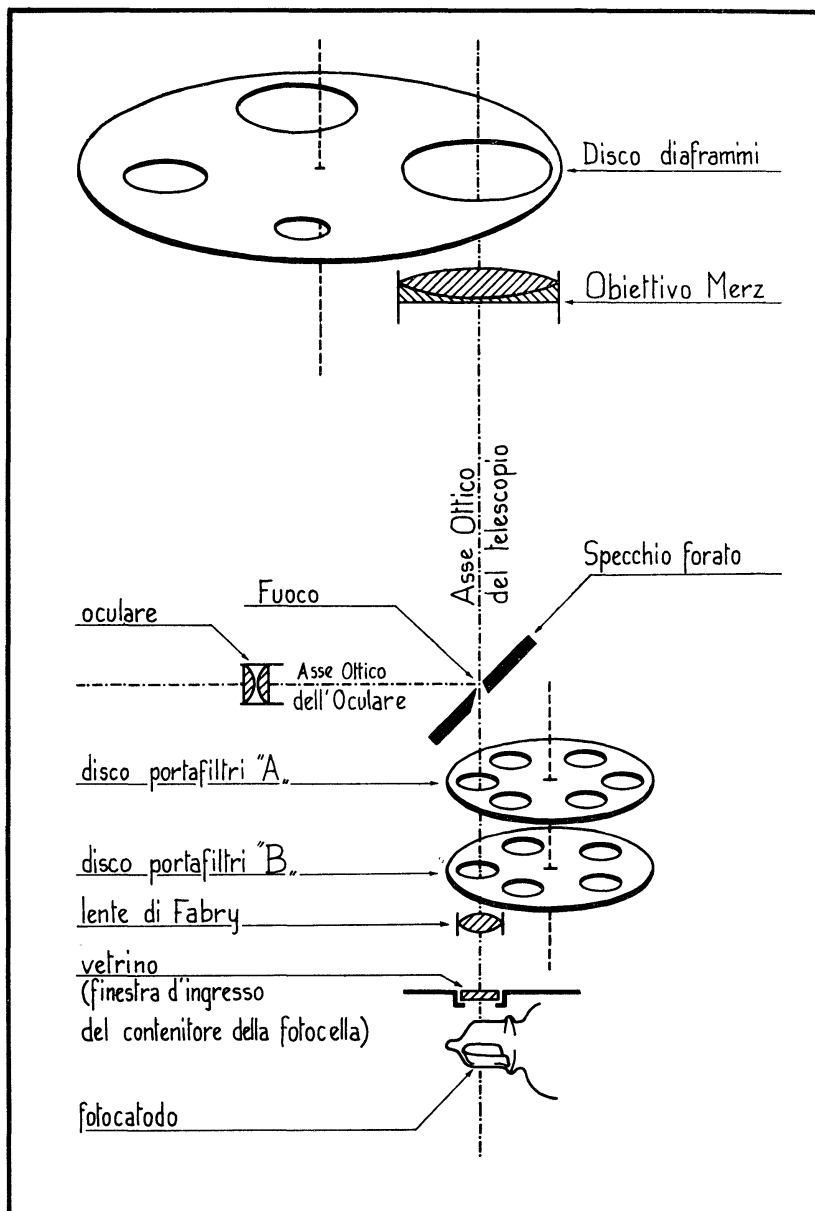


Fig. 5. — Rappresentazione schematica della parte ottica del fotometro fotoelettrico.

RINGRAZIAMENTO

Ringraziamo caldamente il prof. R. Deaglio, Preside della Facoltà di Scienze dell'Università di Torino, ed i Suoi Collaboratori, per aver reso possibile la serie di misure effettuate nel Reparto Fotometria dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino.

Ci corre l'obbligo di ringraziare anche tutti coloro che durante il nostro lavoro ci sono stati prodighi di aiuti e consigli, e fra essi particolarmente il prof. P. Colombino dell'Istituto di Fisica dell'Università di Torino, nonchè l'ing. G. Cecchini del Centro Studi Calcolatrici Elettroniche dell'Università di Pisa.

BIBLIOGRAFIA

- (1) A. E. Whitford - Astronomical photoelectric photometry A.A.A. S. Publ., p. 131, 1953.
- (2) W. A. Baum - A. J. 60, n. 1, p. 25, 1955.
G. G. Yates - M. N. 108, p. 476, 1958.
W. Blitzstein - Astron. photoelectric photometry A.A.A. S. Publ., p. 64, 1953.
R. O. Redman, G. G. Yates - *ibid.*, p. 93.
- (3) F. J. Farley - J. Sci. Instr., 31, p. 241, 1954.
- (4) A. L. Hughes, L. A. Du Bridge - Photoelectric phenomena, McGraw-Hill, New York, 1932.
- (5) W. Elmore, M. Sand - Electronics experimental techn. McGraw-Hill, New York, 1949.

