

9  
✓

# CONTRIBUTI

DELL' OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI MILANO-MERATE

a cura del Direttore

Prof. FRANCESCO ZAGAR

NUOVA SERIE

N. 136

---

EDOARDO PROVERBIO

---

## *Irregolarità dei contatti dei pendoli astronomici e dispositivo fotoelettrico per la registrazione dei secondi siderali*

(Estratto del « Bollettino di Geodesia e Scienze Affini » - Vol. XVIII - 1 (1959))

---

FIRENZE

1959

5

IRREGOLARITÀ DEI CONTATTI DEI PENDOLI ASTRONOMICI  
E DISPOSITIVO FOTOELETTRICO PER LA REGISTRAZIONE  
DEI SECONDI SIDERALI

## Irregolarità dei contatti dei pendoli astronomici e dispositivo fotoelettrico per la registrazione dei secondi siderali

Dott. EDOARDO PROVERBIO

Osservatorio Astronomico di Brera, Milano

**RIASSUNTO** — Vengono esaminati i contatti dei tre pendoli Riefler dell' Osservatorio di Brera utilizzando un cronografo a cilindro tipo Belin. Il valore elevato dell'errore medio delle correzioni ottenute ( $0^s.001$ ) impedisce la possibilità di una vantaggiosa utilizzazione dei tre pendoli Riefler nella determinazione dell'orologio medio assieme agli oscillatori a quarzo. Viene quindi studiato e descritto un dispositivo fotoelettrico fototransistore per la registrazione dei segnali dei secondi. La precisione ottenuta è dell'ordine dei decimillesimi di secondo.

**RÉSUMÉ** — On examine les contacts des trois pendules Riefler de l'Observatoire de Brera en utilisant un chronographe Belin. La valeur élevée de l'erreur moyenne des corrections des contacts ( $0^s.001$ ) ne permette pas une avantageuse utilisation des trois pendules Riefler dans la formation de la pendule moyenne avec les oscillateurs a quartz. On représente de suite un dispositif photoélectrique fondé sur l'utilisation d'un phototransistor pour la détermination des signaux des secondes. On arrive à une précision de l'ordre de  $0^s.0001$ .

**SUMMARY** — The contacts of the fundamental clocks Riefler assembly of the Brera Observatory are examined through Belin Chronograph. The high mean error of the corrections ( $0^s.001$ ) do not allow to utilise advantageously the three fundamental clocks assembly with the quartz clocks to determine the mean clocks.

Photoelectric disposing by phototransistor for the registration of the sidereal time signals is also devised and described. With this apparatus the precision of  $0^s.0001$  about is obtained.

**ZUSAMMENFASSUNG** — Es werden die Kontakte der 3 Rieflerpendeluhren der Sternwarte Brera mittels eines Belinchronographen untersucht. Der bedeutende mittlere Fehler der erhaltenen Korrekturen ( $0^s.001$ ) lässt die Anwendung dieser 3 Rieflerpendel zusammen mit den Quarzuhren zur Bestimmung einer mittleren Uhr nicht ratsam erscheinen.

Es wird weiter eine photoelektrische Apparatur mit Phototransistor zur Registrierung der Sekundensignale beschrieben; die erhaltene Genauigkeit ist von der Ordnung eines zehntausendstels Sekunde.

**RESUMEN** — Se examinan los contactos de la tres pendolas Riefler del Observatorio de Brera por medio de un cronógrafo a cilindro tipo Belin. El alto valor de la falta media de las correcciones obtenidas ( $0^s.001$ ) impide la posibilidad de una ventajosa utilización de la tres pendolas Riefler en la determinación del reloj medio, junto a los osciladores a cuarzo.

Se estudia y se describe pues un dispositivo fotoeléctrico con fototransistor para dibujar los señales de los segundos. La precisión que se obtiene es de los diez milésimos de segundo.

I. - INTRODUZIONE. — Con l'utilizzazione dei moderni orologi a quarzo negli Osservatori astronomici il problema della conservazione del tempo ha avuto indubbiamente una soluzione più che soddisfacente.

È nota infatti la grande fedeltà di questi orologi e l'elevata precisione che da essi si può ottenere anche per quanto riguarda la variazione della durata dei secondi, soprattutto se la demoltiplica finale alla frequenza di 1 Hz si ottiene con motori sincroni a 1000 Hz. Cionondimeno il contributo dei classici pendoli astronomici di precisione in questo problema è ancora importante dato il numero ancora limitato di quarzi in funzione in molti Osservatori. Essi vengono infatti ancora largamente impiegati con vantaggio nella formazione dell'orologi medio assieme agli orologi a quarzo in numerosi Osservatori che partecipano al Servizio dell'Ora.

In quest'ultimo caso è necessario però che la precisione del pendolo sia sufficientemente elevata e in primo luogo esso deve essere privo di errori sistematici sensibili dovuti ad irregolarità dei contatti, soprattutto a carattere periodico.

La presenza di questi errori infatti si ripercuote sensibilmente sui risultati, specialmente nel caso di registrazioni durante osservazioni di passaggi di stelle, nelle quali il tratto della registrazione non può essere convenientemente disposto a piacere. Naturalmente gli errori sistematici intervengono e si fanno sentire sul risultato anche nel caso di confronti tra pendoli o durante la registrazione di segnali radio, potendosi in questi ultimi casi solo diminuire il loro peso aumentando sensibilmente il periodo di registrazione.

Lo studio di eventuali irregolarità sistematiche si rende quindi necessario se si vogliono utilizzare i pendoli astronomici in servizi di grande precisione come il Servizio dell'Ora. *(a tempo siderale)*

Se si escludono metodi particolari, sia perchè ormai soprassati, come il metodo escogitato da Lejay utilizzando un cronografo fotografico a cilindro (1), o perchè relativamente complessi, come quelli basati sull'uso di oscillografi e di contatori elettronici, i metodi più usati sono quelli che utilizzano cronografi a striscia o a cilindro tipo Belin.

Utilizzando cronografi a striscia i metodi usati per mettere in evidenza le irregolarità dei secondi sono:

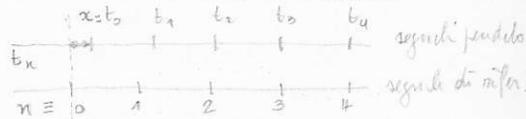
*X* a) quelli basati sulla misura della lunghezza di tutti i sessanta secondi di ciascun minuto registrato sulla striscia o dei secondi pari e dispari nel caso di pendoli del tipo Riefler a contatto di un secondo;

*+* b) il metodo di confronto con un altro pendolo non soggetto a irregolarità, usato con buoni risultati da I. B. Bogorodizkaia, confrontando un pendolo Riefler con un pendolo Schort di precisione (2);

c) infine i metodi di confronto con segnali sfasati rispetto a quelli da confrontare, utilizzando per esempio come segnali di confronto quelli di un pendolo a T. M. o i segnali orari di una stazione emittente. Con questo ultimo metodo sono state studiate le irregolarità dei pendoli dell'Osservatorio di Torino da G.

Bemporad (3), e di Trieste da G. Peisino (4). Il metodo si basa sulla risoluzione di numerose equazioni di condizione del tipo :

$$x + nz = t_n,$$



ove  $x$  è il tempo di un segnale arbitrario preso come riferimento o inizio dei segnali successivi,  $t_n$  il tempo del segnale  $n$ .mo rispetto ad  $x$ , e  $z$  l'intervallo di tempo compreso tra due segnali consecutivi. *del pendolo (durata media del secondo del pendolo in unità del secondo del segnale di riferimento)*

2. - STUDIO DELLE IRREGOLARITÀ. — Molto maggiore è la precisione che si raggiunge usando cronografi a cilindro tipo Belin, come nello studio seguito da N. Stoyko sui pendoli dell'Osservatorio di Parigi (5).

Le irregolarità dei contatti dei tre pendoli siderali dell'Osservatorio di Brera a pressione e temperatura costante sono state determinate utilizzando il cronografo Belin dell'Istituto di Geodesia e Fotogrammetria del Politecnico di Milano collegato con filo diretto all'Osservatorio di Brera. Il circuito di allacciamento è quello riportato in figura 1, ove la parte entro il tratteggio (contatto comandato a leva dalla ruota dentata solidale con l'asse della ruota di scappamento del pendolo) è situata all'Osservatorio di Brera, mentre la parte rivelatrice e amplificatrice si trova sistemata all'Istituto di Geodesia e Fotogrammetria.

In questa occasione sono state eseguite diverse prove per determinare eventuali ritardi nella registrazione, dovuti sia alla induttanza  $L$  (1500  $\Omega$ ) antiscintilla in parallelo col contatto, che alla resistenza di linea  $R$  (1500  $\Omega$ ), sia infine al circuito  $BF$  dell'apparecchio radio che trasmette il segnale, ricevuto attraverso il pick up, all'amplificatore collegato alla punta cronografica. I risultati ottenuti sono stati più che soddisfacenti perchè i ritardi in questione si sono dimostrati dell'ordine di qualche unità di  $10^{-4}$  sec, e quindi senz'altro trascurabili.

*(usando i contatti ricambio "pick up")*

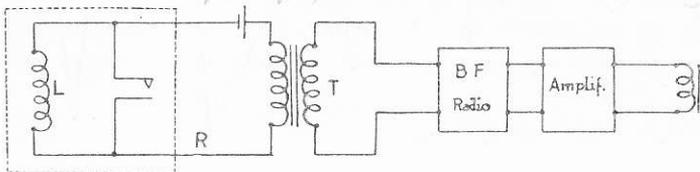


Fig. 1

La registrazione dei segnali venne fatta sul cronografo Belin con cilindro di sviluppo di 30 cm., in tal modo sul foglio paraffinato di registrazione ad ogni mm. è corrisposta una durata di circa  $0^s.0033$ .

Poichè il contatto dei Riefler rimane aperto e chiuso alternativamente un secondo, sarebbe stata molto difficoltosa la registrazione dei segnali sul cilindro del Belin che ruota esso pure con velocità uniforme di 1 secondo siderale; perciò il trasformatore  $T$ , oltre ad avere una funzione protettiva, provvede a trasmettere solo le variazioni di tensione ogni secondo in modo che sul cilindro vengono

registrate solo le tracce corrispondenti alla chiusura e apertura del contatto, di lunghezza eguale alle costanti di tempo del circuito stesso.

Poichè praticamente, data la non eguale lunghezza dei segnali di ordine pari e di ordine dispari, vengono convenzionalmente usati solo i secondi di ordine pari, la presente analisi si riferisce unicamente a secondi di questo ordine.

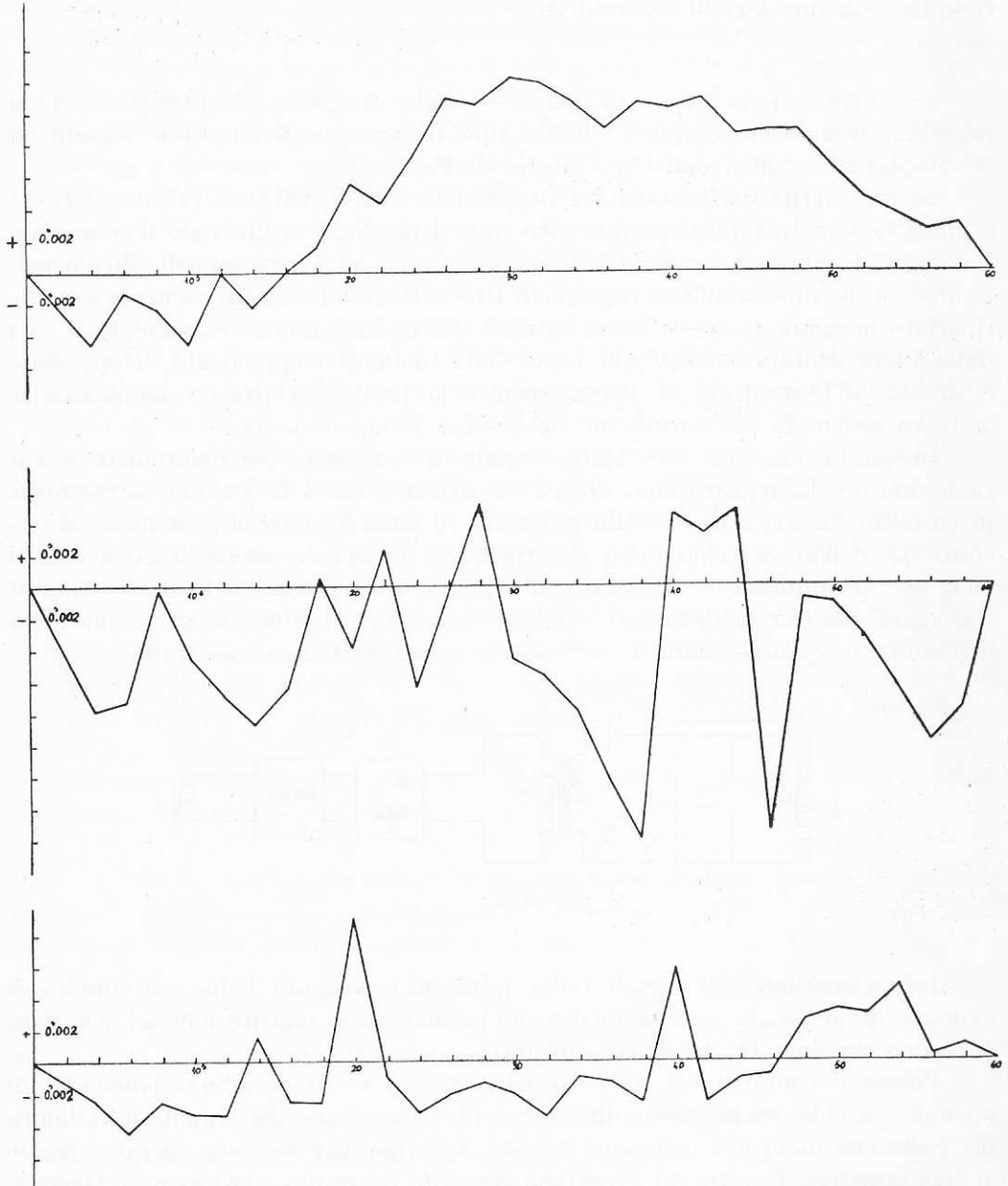


Fig. 2

La Tabella I riassume i risultati delle letture eseguite considerando cinque minuti consecutivi di registrazione per ogni orologio. Prendendo come riferimento il secondo  $O$  (inizio e fine di un minuto) i valori  $\Delta t$  rappresentano, in millesimi di secondo, la media degli scarti dei secondi successivi nei cinque minuti considerati (manca il secondo 2 che serve per individuare il minuto), cioè le correzioni da apportare, a meno del segno, a detti secondi. Questi valori sono pure riportati nei grafici di figura 2, i quali mostrano più chiaramente l'andamento delle irregolarità.

È visibile in modo evidente, ad esempio, per il pendolo 1  $R$  una irregolarità a carattere periodico, dovuta ad eccentricità della ruota dentata che genera i contatti. I pendoli 2  $R$ , 3  $R$  non mostrano invece sensibile eccentricità.

Di notevole importanza, per le notizie relative al grado di precisione che è possibile ottenere durante le registrazioni, è il calcolo del valore medio della funzione periodica  $y = \Delta t = f(t)$ .

Questo valore :

$$\bar{y} = \frac{\int_0^T y dt}{\int_0^T dt},$$

è stato ottenuto integrando meccanicamente i grafici di figura 2, dando a  $T$  valori compresi tra  $0^s$  e  $60^s$ . L'ultimo valore nella colonna  $\bar{y}$  della tabella I rappresenta l'errore medio complessivo per ogni minuto di registrazione in millesimi di secondo.

La colonna  $e$  riporta infine l'errore quadratico medio di ciascuna lettura effettuata, relativo a ciascun secondo in ognuno dei cinque minuti considerati. Esso è l'indice della costanza delle correzioni  $\Delta t$  da un minuto ad un altro. Il valore medio di questi errori è riportato in fondo a ciascuna colonna.

TABELLA I

Secondi pari	1 R			2 R			3 R		
	$\Delta t$	$e$	$\bar{y}$	$\Delta t$	$e$	$\bar{y}$	$\Delta t$	$e$	$\bar{y}$
4	— 4.6	0.4	— 2.0	— 7.9	1.5	— 2.9	— 2.6	0.6	— 1.7
6	— 1.3	1.0	— 2.3	— 7.3	0.7	— 4.5	— 4.3	1.0	2.3
8	— 2.3	0.6	— 2.2	— 0.3	0.8	— 4.3	— 2.6	1.6	2.6
10	— 4.6	1.1	— 2.5	— 4.6	1.2	— 4.2	— 3.3	1.6	2.7
12	— 0.0	0.7	— 2.4	— 6.9	0.4	— 4.4	— 3.3	1.1	2.8
14	— 2.3	0.9	— 2.3	— 8.9	3.2	— 4.9	+ 1.6	0.8	2.5
16	— 0.0	1.7	— 2.1	— 6.6	1.5	— 5.3	— 2.6	0.8	2.3
18	+ 1.7	1.7	— 1.7	+ 0.3	1.0	— 5.1	— 2.6	1.1	2.3
20	+ 5.6	0.9	— 1.2	— 4.0	0.6	— 4.7	+ 9.2	2.9	1.8
22	+ 4.3	0.9	— 0.6	+ 2.3	1.3	— 4.4	— 1.0	0.5	1.2
24	+ 7.3	0.3	— 0.1	— 6.6	1.1	— 4.2	— 3.3	1.2	1.3
26	+ 10.9	0.1	+ 0.6	— 0.7	0.8	— 4.2	— 2.0	0.8	1.4
28	+ 10.6	0.4	+ 1.3	+ 5.3	0.6	— 3.7	— 1.3	0.3	1.4
30	+ 12.2	0.4	+ 2.0	— 4.6	1.0	— 3.5	— 2.0	0.1	1.4
32	+ 11.9	0.4	+ 2.6	— 5.6	1.6	— 3.6	— 3.6	1.0	1.5
34	+ 10.6	0.7	+ 3.1	— 7.9	1.6	— 3.8	— 1.0	1.3	1.5
36	+ 8.9	0.4	+ 3.5	— 12.2	1.1	— 4.1	— 1.3	1.2	1.6
38	+ 10.6	0.4	+ 3.8	— 16.2	1.7	— 4.7	— 2.6	0.6	1.5
40	+ 10.2	0.3	+ 4.2	+ 4.6	1.3	— 4.7	+ 5.9	2.9	1.4
42	+ 10.9	0.5	+ 4.5	+ 3.3	1.9	— 4.3	— 2.6	1.2	1.2
44	+ 8.6	0.3	+ 4.7	+ 5.0	1.5	— 3.9	— 1.0	0.6	1.3
46	+ 8.9	0.5	+ 4.9	— 15.5	1.0	— 4.0	— 0.7	0.7	1.2
48	+ 8.9	0.5	+ 5.0	— 0.7	1.1	— 4.2	+ 2.6	1.0	1.2
50	+ 6.6	1.3	+ 5.1	— 1.0	0.5	— 4.1	+ 3.3	0.5	1.0
52	+ 4.6	0.8	+ 5.2	— 3.3	0.5	— 4.0	+ 3.0	1.2	0.8
54	+ 3.6	0.1	+ 5.1	— 6.3	1.2	— 4.0	+ 4.9	1.4	0.6
56	+ 2.6	0.4	+ 5.0	— 9.9	1.1	— 4.2	+ 0.3	0.7	0.5
58	+ 3.0	0.8	+ 5.0	— 7.6	1.0	— 4.3	+ 1.0	0.1	0.5
60	+ 0.0	1.5	+ 4.8	0.0	1.6	— 4.3	0.0	0.3	— 0.5
		0.7			1.2			1.0	

I valori riportati nella tabella sono espressi in millesimi di secondo.

3. — I risultati ottenuti nello studio delle irregolarità dei contatti dei tre pendoli Riefler ci dicono che solo per il pendolo 3 R, considerando l'intervallo di un minuto completo, l'errore sistematico che si introduce è di cinque decimillesimi di secondo. Per gli altri pendoli è invece necessario procedere in ogni caso alla correzione delle letture effettuate (per il pendolo 1 R il valor medio è nullo considerando il tratto  $0^s - 25^s$ ).

Per quanto riguarda le correzioni  $\Delta t$  è poi necessario notare che l'errore medio di ciascuna correzione risulta abbastanza elevato ed in media di  $0^s.001$ . Quest'ultimo risultato mostra che le irregolarità dei contatti dei tre pendoli Riefler

dell'Osservatorio di Brera sono tali da non permettere una loro vantaggiosa utilizzazione nella determinazione dell'orologio medio assieme agli oscillatori a quarzo. Si è quindi reso necessario sostituire detti contatti con secondi generati da un dispositivo di elevata precisione.

#### DISPOSITIVO FOTOELETRICO DI REGISTRAZIONE

4. — La necessità di eliminare gli errori che, in misura maggiore o minore, le irregolarità dei contatti generati da ruotismi introducono nei risultati ha spinto a sostituire questi contatti con altri contatti meccanici effettuati direttamente sull'asta del pendolo. Questi ultimi contatti, se eliminano gli errori dovuti a irregolarità dei denti o a eccentricità della ruota dentata, conservano però lo svantaggio proprio ai contatti meccanici. Essi infatti, a causa delle extracorrenti di apertura, che non si possono del tutto eliminare nemmeno inserendo in parallelo al contatto opportune capacità o resistenze, si alterano col tempo (la scintilla dovuta alle extracorrenti oltre a ossidare progressivamente i contatti carbonizza le impurità dell'aria che in tal modo formano sugli stessi uno strato non omogeneo), disturbando e guastando l'inizio dei segnali.

Risultati di grande precisione si ottengono solo usando metodi fotoelettrici, utilizzati anche, con accorgimenti diversi, per la determinazione delle correzioni degli orologi controllati negli Osservatori (6).

5. — DESCRIZIONE GENERALE — Il dispositivo fotoelettrico di registrazione dei secondi di tempo siderale costruito all'Osservatorio di Brera è costituito da un sistema ottico e da un sistema fotoelettrico-amplificatore.

Uno specchietto in cristallo solidale con l'asta del pendolo e perpendicolare al piano di oscillazione del pendolo stesso riflette il fascio di raggi proveniente dal sistema ottico in direzione dell'elemento rivelatore, posto nel piano di riflessione della luce. In tal modo ad ogni secondo siderale questo elemento fornisce un impulso di corrente che, debitamente amplificato, sarà utilizzato per comandare il cronografo registratore. Nel nostro caso questo elemento è costituito invece che da un'usuale fotocellula, da un fototransistore Philips OCP 71. La preferenza rivolta a quest'ultimo è motivata dal fatto che esso risulta più sensibile e meno delicato di una fotocellula soprattutto in relazione alle condizioni in cui deve lavorare. La sua risposta in funzione della temperatura si mantiene infatti buona anche per temperature abbastanza elevate. Questo fattore riveste una particolare importanza, poichè l'elemento deve lavorare nella camera termostattizzata dei pendoli ad una temperatura di  $29^{\circ} \pm 0^{\circ}.1$ , inoltre la lampada di illuminazione sviluppa durante il funzionamento sulle parti metalliche circostanti una temperatura che può anche raggiungere i  $40^{\circ} - 50^{\circ}$  C.

La risposta spettrale del OCP 71 è data in percentuale in figura 3. Da essa si vede che il fototransistore è sensibile quasi unicamente a radiazioni infrarosse. Per questo motivo è stato necessario usare come sorgente una lampada con spettro

di emissione in prevalenza nell'infrarosso. Si sono usate lampade Osram 8002 ( $3,5 V - 3,8 A$ ) con temperatura di colore  $3180^{\circ} K$ . Lo spettro di emissione di questa lampada, pure riportato in figura 3, mostra che circa il 50 % della potenza erogata dalla lampada cade nella banda di infrarosso del transistor e risulta quindi utilizzabile per eccitare il fototransistore stesso. La corrente  $\Delta I_e$  generata dal fototransistore durante l'illuminamento viene successivamente amplificata fino a  $20 mA$  in modo da essere utilizzata per azionare il cronografo registratore.

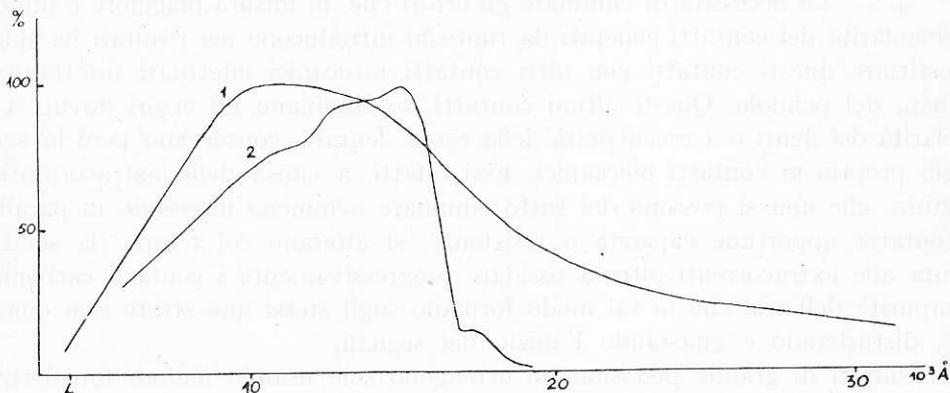


Fig. 3 — Il diagramma 1 mostra in percentuale lo spettro di emissione della lampada Osram 8002. Il diagramma 2 rappresenta invece la risposta spettrale del fototransistore OCP 71

La realizzazione dell'insieme di questo dispositivo è stata eseguita in due tempi. In un primo tempo si è proceduto alla progettazione e costruzione del sistema ottico e della parte elettronica per uno solo dei tre pendoli siderali di precisione dell'Osservatorio, e precisamente per il pendolo fondamentale  $1 R$  in campana di plexiglas.

Dopo il collaudo dell'apparecchiatura del  $1 R$ , anche gli altri due pendoli, uno sotto campana di vetro ( $2 R$ ), ed il terzo in campana di plexiglas ( $3 R$ ), sono stati muniti dello stesso dispositivo. Le dimensioni del sistema ottico relativamente ai pendoli  $2 R$  e  $3 R$  sono state ridotte rispetto a quelle del pendolo  $1 R$  per cui si è reso necessario nello studio di questo sistema considerare separatamente i dati relativi alla parte ottica.

6. - IL SISTEMA OTTICO. — Per ottenere il fascio di luce da inviare all'elemento sensibile si è ricorso ad un comune condensatore  $L_1$  che forma, attraverso il diaframma  $l_1$ , l'immagine reale e capovolta del filamento  $S_0$  di superficie  $s_0$  sullo schermo  $S$  (fig. 4). Su detta immagine di area  $s'_0$  si trova il diaframma di apertura infinitesima  $s$ , che funge da sorgente luminosa. Il filamento della lampada, alimentato in c.c. si presenta molto compatto, tale da poter essere considerato come un bastoncino a profilo rettangolare di area  $\sim 2.5 mm^2$ . È importante per il rendimento di questo sistema che l'ingrandimento  $G_1$  risulti piccolo,



Se supponiamo poi che la sorgente luminosa  $s$  irradi in tutte le direzioni del semispazio a destra di  $S$ , il flusso di energia luminosa che perviene in  $S_1$ , attraverso lo schermo  $L_2$ , è dato da :

$$\Phi_{s_1} = \frac{s}{s'_0} \Phi_s \frac{\Omega}{2\pi},$$

ove  $\Omega$  è l'angolo solido dei raggi passanti attraverso lo schermo  $L_2$ . Sostituiamo nella precedente a  $\Phi_s$  e  $\Omega$  i loro valori, otterremo l'importante relazione :

$$\Phi_{s_1} = \frac{\pi}{32} \frac{s}{s'_0} s_0 \left(\frac{d_0}{p_0}\right)^2 \left(\frac{d}{p}\right)^2 \Sigma, \quad (I)$$

nella quale  $d_0, d$  sono i diametri dei due obbiettivi  $L_1, L_2$  e  $p_0, p$  le distanze di  $S_0, S$  rispettivamente da  $L_1, L_2$ .

È necessario però tener presente che la brillantezza dell'immagine di  $s$  sullo schermo  $S_1$  non sarà  $\Sigma$  ma, per la presenza del condensatore  $L_1$  e dell'obbiettivo  $L_2$ , essa si ridurrà a :

$$\Sigma_1 = \Sigma T_1 T_2,$$

ove  $T_1, T_2$  sono i fattori di trasparenza di  $L_1, L_2$ . Poichè inoltre risulta :

$$s_0 \Sigma = \frac{\Phi}{4\pi}$$

avendo indicato con  $\Phi$  il flusso totale energetico uscente, la (I) si trasforma nella relazione :

$$\Phi_{s_1} = \frac{1}{128} \frac{s}{s'_0} \left(\frac{d_0}{p_0}\right)^2 \left(\frac{d}{p}\right)^2 \Phi T_1 T_2,$$

che, introducendo infine l'ingrandimento  $G_1$ , diventa :

$$\Phi_{s_1} = \frac{1}{128} \frac{s}{s_0} \frac{1}{G_1} \left(\frac{d_0}{p_0}\right)^2 \left(\frac{d}{p}\right)^2 \Phi T_1 T_2.$$

Questa relazione ci permette, sostituendo in essa i valori riportati nella tabella II, di calcolare il flusso energetico utilizzabile per eccitare il fototransistore posto in  $S'_1$ . La tabella II fornisce in percentuale anche i valori dei fattori di trasparenza  $T_1, T_2$  dei sistemi  $L_1, L_2$ , ritenendo per incidenze quasi normali  $T_1 = \sim 97\%$ . Nel calcolo di  $T_2$  si è tenuto conto del fattore di trasmissione  $\tau$  che interviene per la presenza delle campane pneumatiche lungo il tratto dei raggi nel sistema  $L_2$  ( $\tau = 85\%, 95\%$  rispettivamente per il plexiglas e per il vetro), considerando eguale a 1 il fattore di riflessione sopra gli specchietti di cristallo. La penultima colonna della tabella fornisce inoltre il rapporto  $\varepsilon$  tra la potenza erogata dalla lam-

pada e quella utilizzata dal transistoro, esso equivale al rapporto tra le aree delle due curve di figura 3.

TABELLA II

	$p_0$	$q_0$	$d_0$	$p$	$q$	$d$	$T_1$	$T_2$	$\varepsilon$	$G_1$
1 R	2.0	3.0	1.9	5.5	3.8	2.0	97 %	70 %	0.55	1.5
2 R	2.0	2.5	1.3	4.6	4.2	1.3	97 %	87 %	0.55	1.4
3 R	2.0	2.5	1.3	4.6	4.2	1.3	97 %	70 %	0.55	1.4

I valori delle lunghezze riportati in tabella sono espressi in cm.

Il valore calcolato di  $\Phi_{s_1}$  relativamente ai tre pendoli risulta praticamente eguale a circa 0.01 lumen, ponendo con buona approssimazione  $s/s_0 = 0.1$ , ed essendo  $\Phi = 290$  lumen. Esso si riduce poi a 0.005 lumen tenendo conto del fattore  $\varepsilon$ .

Il flusso  $\Phi_{s_1}$  calcolato si distribuisce in  $S_1$  sopra l'immagine della fenditura infinitesima  $s$ , che, secondo la teoria della diffrazione, da luogo ad una fenditura il cui spessore  $l$  si trova eguale a  $2.44 \lambda f/d$ , ove  $f/d$  rappresenta l'apertura dell'obbiettivo  $L_2$  e  $\lambda$  la lunghezza d'onda della sorgente utilizzata. Nel nostro caso tenendo conto dei dati di tabella II e poichè inoltre risulta  $\lambda = 1,0 \cdot 10^{-3}$  mm, si ottiene per ambedue i sistemi il valore,  $l = \sim 0.01$  mm.

La lunghezza di questa fenditura risulta poi di  $\sim 35$  mm., essendo la lunghezza di  $s = 5$  mm. e l'ingrandimento  $G_2$  del sistema  $L_2$  eguale a  $\sim 7$ . Tenendo conto di queste dimensioni in relazione alla superficie sensibile del fototransistore, la cui area è di  $7 \text{ mm}^2$ , si trova che solo una frazione di circa  $14 \cdot 10^{-4}$  del flusso che arriva in  $S_1$  può essere utilizzato dal transistoro. Poichè la sensibilità di quest'ultimo nella direzione della superficie sensibile è di  $0,3 \text{ A/lumen}$ , si può ricavare che la corrente teorica  $\Delta I_c$  erogata dal fototransistore per la variazione  $\Phi_{s_1}$  di flusso durante l'illuminamento è di circa  $7 \mu \text{ A}$ .

La corrente reale ottenuta risulta però più elevata e cioè  $\Delta I_c = 20 \mu \text{ A}$ , e ciò principalmente a causa sia del fatto che la fenditura  $s$  non è infinitesima e che quindi la sua immagine ha uno spessore  $l_1 > l$ , sia per il fatto che l'ipotesi della diffusione uniforme della luce emessa dalla sorgente  $s$  nel semipiano a destra di  $S$  non è rigorosamente soddisfatta. Infatti la curva fotometrica polare di una tale fenditura presenta un massimo proprio nella direzione dell'asse ottico del sistema.

Per quanto riguarda infine la durata degli impulsi, un valore orientativo di essa, ma più che sufficientemente approssimato per lo scopo, si può ottenere in modo semplice trascurando l'altezza reale della fenditura  $s$  ( $< 0.1$  mm.) rispetto

all'altezza dell'area rettangolare sensibile del transistor (1,2 mm.) e considerando il movimento oscillatorio dell'immagine di  $s$  uniforme. In tal caso poichè l'elongazione massima di detta immagine su  $S'_1$  risulta  $\sim 20$  mm. si ottiene per il periodo  $T$  di illuminazione del fototransistore  $T = 1,2/20 = 0^s.06$ .

7. - L'AMPLIFICATORE ELETTRONICO. — Il circuito elementare del fototransistore alimentato da una sorgente c.c. di 20 volt è quello tratteggiato in figura 5. La resistenza  $R = 5\text{ k}\Omega$ , inserita tra la base e l'emettitore, realizza, a scapito di una leggera diminuzione di sensibilità un aumento del rapporto corrente di illuminazione corrente di oscurità, che per temperature di lavoro di  $45^\circ$  risulta quasi il doppio del normale.

Poichè la corrente  $\Delta I_c$  ottenuta durante l'illuminazione è, come si è visto, di circa  $20\text{ }\mu\text{A}$ , ai capi della resistenza di carico  $r = 20\text{ k}\Omega$  si manifesta una differenza di potenziale  $\Delta V = 0.6\text{ v}$ . Detta tensione dopo essere stata derivata dal condensatore  $c$ , viene successivamente amplificata per mezzo del doppio triodo 12AX7. La polarizzazione delle griglie è ottenuta utilizzando il circuito di accoppiamento RC che polarizza la prima griglia a  $-2\text{ V}$ , e il potenziometro  $P$  che polarizza la seconda a  $+4\text{ V}$ . L'amplificatore finale 4699, con griglia polarizzata a  $-15\text{ V}$ , permette il passaggio solo dell'impulso positivo corrispondente al fronte d'inizio del segnale luminoso che risulta teoricamente costante. La corrente anodica attraverso la bobina cronografica  $B$  ( $20\text{ mA}$ ) risulta più che sufficiente per azionare le punte del cronografo stesso.

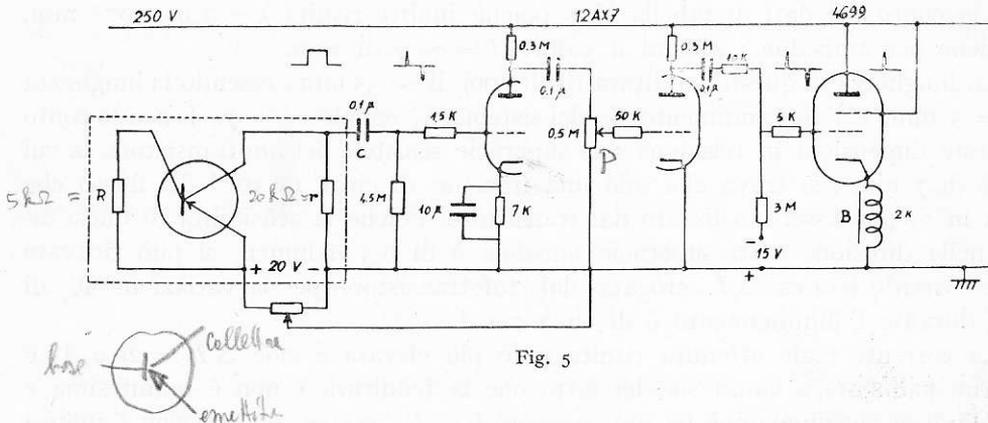
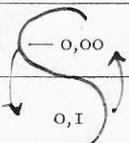


Fig. 5

8. - PRECISIONE DEI RISULTATI. — La registrazione dei nuovi segnali dei secondi dei pendoli ottenuti col dispositivo fotoelettrico è stata eseguita ancora su cronografo Belin, questa volta con sviluppo di 50 centimetri per permettere una maggiore risoluzione. In tal caso infatti ad 1 mm. corrisponde una durata di  $0^s.002$ . Le irregolarità riscontrate si sono dimostrate così piccole da poter trascurare qualsiasi correzione. Per dare un'idea della grandezza di dette irregolarità portiamo qui sotto in tabella III, i valori della irregolarità media (media

assoluta) e della media relativa su sessanta secondi per ognuno dei tre Riefler. I valori riportati sono espressi in millesimi di secondo

TABELLA III

	1 R	2 R	3 R
Irregolarità media . . . .	0,3	0,4	
Media relativa . . . . .	- 0,01	- 0,09	

La irregolarità media per i tre Riefler risulta quindi inferiore a tre decimillesimi di secondo, cioè dell'ordine di grandezza dei ritardi del circuito di registrazione ed è probabilmente da attribuirsi più che ad una reale irregolarità degli impulsi all'inerzia della punta cronografica. La media relativa, che è quella che maggiormente interessa, appare del tutto trascurabile, per cui si può concludere che per quanto riguarda la precisione dei segnali dei secondi i tre Riefler dell'Osservatorio di Brera, muniti di dispositivo fotoelettrico, possono essere usati nella formazione di un orologio medio assieme agli orologi a quarzo.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) R. P. P. LEJAY : *J. O.*, 8(XII), 137, 1929.
- (2) I. B. BOGORODINSKAIA : *Astr. Inst. Sternberg*, 55, 20, 1950.
- (3) G. BEMPORAD : *Mem. S.A.I.*, 3 (VIII), 293, 1934.
- (4) G. PEISINO : *Mem. A.S.I.*, 4 (VIII), 320, 1935.
- (5) N. STOYKO : *Ann. Fr. de Chr.*, 4 (16), 217, 1946.
- (6) P. H. BIGG, K. W. T. ELLIOT, N. W. B. STONE : *Ann. Fr. de Chr.*, 2 (20), 189, 1950.
- (7) E. PERUCCA : *Fisica Generale e Sperimentale*. Torino, 1945.