

3. Marco FRANK — Densitometro bilanciato.

Riassunto. — Si descrive un densitometro costruito presso l'Istituto Superiore di Sanità.

L'apparecchio è realizzato mediante un circuito bilanciato, in cui due cellule costituiscono due rami di un ponte. La sorgente luminosa è una lampadina accesa con corrente a radiofrequenza accuratamente stabilizzata. Tra una delle cellule e la lampadina viene inserito l'oggetto da studiare, mentre tra l'altra cellula e la lampadina si ha un diaframma regolabile, con il quale si bilancia il ponte.

Résumé. — On décrit un densitomètre construit à l'Istituto Superiore di Sanità.

L'appareil fonctionne au moyen d'un circuit équilibré où deux cellules forment les deux parties d'un pont. La source lumineuse est une petite lampe où passe un courant ayant une radiofréquence stabilisée avec soin. Entre une des cellules et la lampe on place l'objet à étudier, tandis qu'entre l'autre cellule et la lampe se trouve un diaphragme réglable au moyen duquel on équilibre le pont.

Summary. — The densitometer described was constructed at the Istituto Superiore di Sanità.

The instrument makes use of a balanced circuit in which two cells form the two arms of a bridge. The light source is a lamp fed with an accurately stabilized radiofrequency current. The object to be studied is placed between one of the cells and the lamp, and an adjustable diaphragm is placed between the other cell and the lamp and adjusted to balance the bridge.

Zusammenfassung. — Beschrieben wird ein Densitometer, das bei dem « Istituto Superiore di Sanità » konstruiert wurde.

Es handelt sich um einen bilanzierten Stromkreis, in dem zwei Zellen die beiden Zweige einer Brücke darstellen. Die Lichtquelle ist eine Glühlampe, die mit einem Strom von genau stabilisierter Radiofrequenz gespeist wird. Zwischen die eine Zelle und die Glühlampe wird der zu untersuchende Gegenstand geschoben, während sich zwischen der anderen Zelle und der Glühlampe ein Diaphragma befindet, das zum Ausgleich der Brücke dient.

E' noto che in generale i densimetri ed i colorimetri sono sostanzialmente costituiti da una lampadina alimentata dalla rete o da una batteria, da una cellula a strato di sbarramento e da uno strumento che misura la corrente di quest'ultima; altrimenti, in luogo della cellula a strato di sbarramento, si ha una cellula fotoelettrica con relativo alimentatore e amplificatore.

Tale sistema presenta alcuni inconvenienti: mancanza di stabilità della luce se la lampadina è accesa dalla rete, oppure necessità di controllare e ricaricare la batteria. Ma il principale difetto del sistema è dato dal fatto che lo zero della scala dello strumento corrisponde a luce nulla. Infatti, si debba misurare una variazione ΔI dell'intensità I della luce

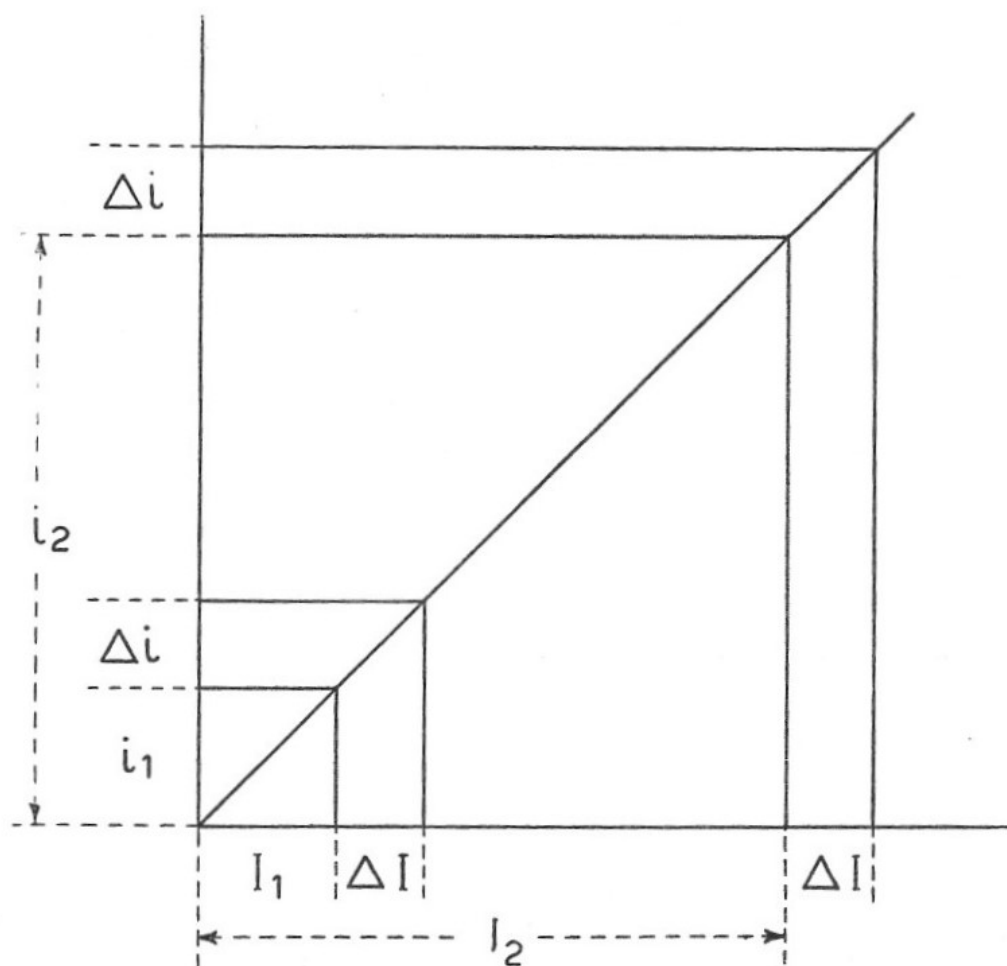


Fig. 1. - La corrente della cellula in funzione (supposta lineare) della intensità di luce.

che attraversa il campione. Se I è piccola (per es. $I = I_1$, fig. 1), la corrente i_1 della cellula è anch'essa debole e lo strumento di misura può essere inserito con forte sensibilità. La variazione relativa $\Delta i / i_1$, uguale a $\Delta I / I_1$ se la caratteristica della cellula è lineare, è quindi notevole e ben leggibile sulla scala dello strumento. Ma se il campione è fortemente tra-

sparente, e la luce che lo attraversa è notevole (per es. $I = I_2$), alla stessa variazione ΔI corrisponde una variazione relativa $\Delta I/I_2$, ed una variazione relativa di corrente $\Delta i/i_2$ insignificante sulla scala dello strumento, necessariamente inserito con sensibilità sufficientemente bassa per consentire la misura di i_2 .

E' poi ovvio, che finchè si può considerare rettilinea la risposta della cellula, il variare la luce della sorgente porta al medesimo risultato che si otterrebbe variando la sensibilità dello strumento.

D'altra parte si fa sempre più sentire in diversi campi, quale la radiologia e la cromatografia, la necessità di disporre di densitometri e colorimetri che presentino la possibilità di mettere in evidenza e misurare piccole differenze di densità indipendentemente dal valore assoluto della densità del campione. Tali apparati inoltre devono essere stabili e pratici: pertanto è necessario che siano alimentati direttamente dalla rete e non risentano delle variazioni di questa.

Allo scopo di realizzare un apparato che soddisfi a tali requisiti, si è studiato presso il reparto di Elettronica dell'Istituto Superiore di Sanità un densitometro che presenta alcune particolarità.

Innanzitutto ci si è orientati verso un circuito a ponte, per poter ridurre a piacere il valore della i senza ridurre la variazione Δi . Tale circuito permette di misurare, indipendentemente dal valore assoluto di I , variazioni ΔI piccole comunque, fino a che non intervengano, come fattori limitanti, la sensibilità e la stabilità del sistema. Il primo fattore, la sensibilità, non è importante in quanto è possibile amplificare elettronicamente la variazione Δi . Il secondo fattore, la stabilità, ha invece un'importanza determinante in quanto, ovviamente, non avrebbe alcun senso amplificare e misurare variazioni che fossero dello stesso ordine di grandezza delle fluttuazioni dovute ad instabilità. Sotto questo punto di vista è opportuno notare come vadano riguardate come distinte le fluttuazioni dovute ad instabilità, ad esempio per insufficiente stabilizzazione delle tensioni di alimentazione, ecc. e la lenta deriva dovuta al raggiungimento delle condizioni di regime termico ed al progressivo modificarsi della superficie dei catodi dei tubi elettronici impiegati.

Per ridurre al minimo le fluttuazioni e le derive, si è pervenuti a realizzare il circuito di fig. 2, completamente simmetrico.

La sorgente luminosa L si trova tra le due cellule $V-1$ e $V-2$, i cui anodi sono connessi alle griglie di un doppio triodo $V-3$; i catodi di questo sono connessi allo strumento di misura M .

Tra la cellula $V-1$ e la lampadina è inserito un diaframma ($d-1$) con un'apertura della forma e dimensione voluta, ed il campione da esaminare, assieme al filtro colorato, se l'apparato è utilizzato come colorimetro.

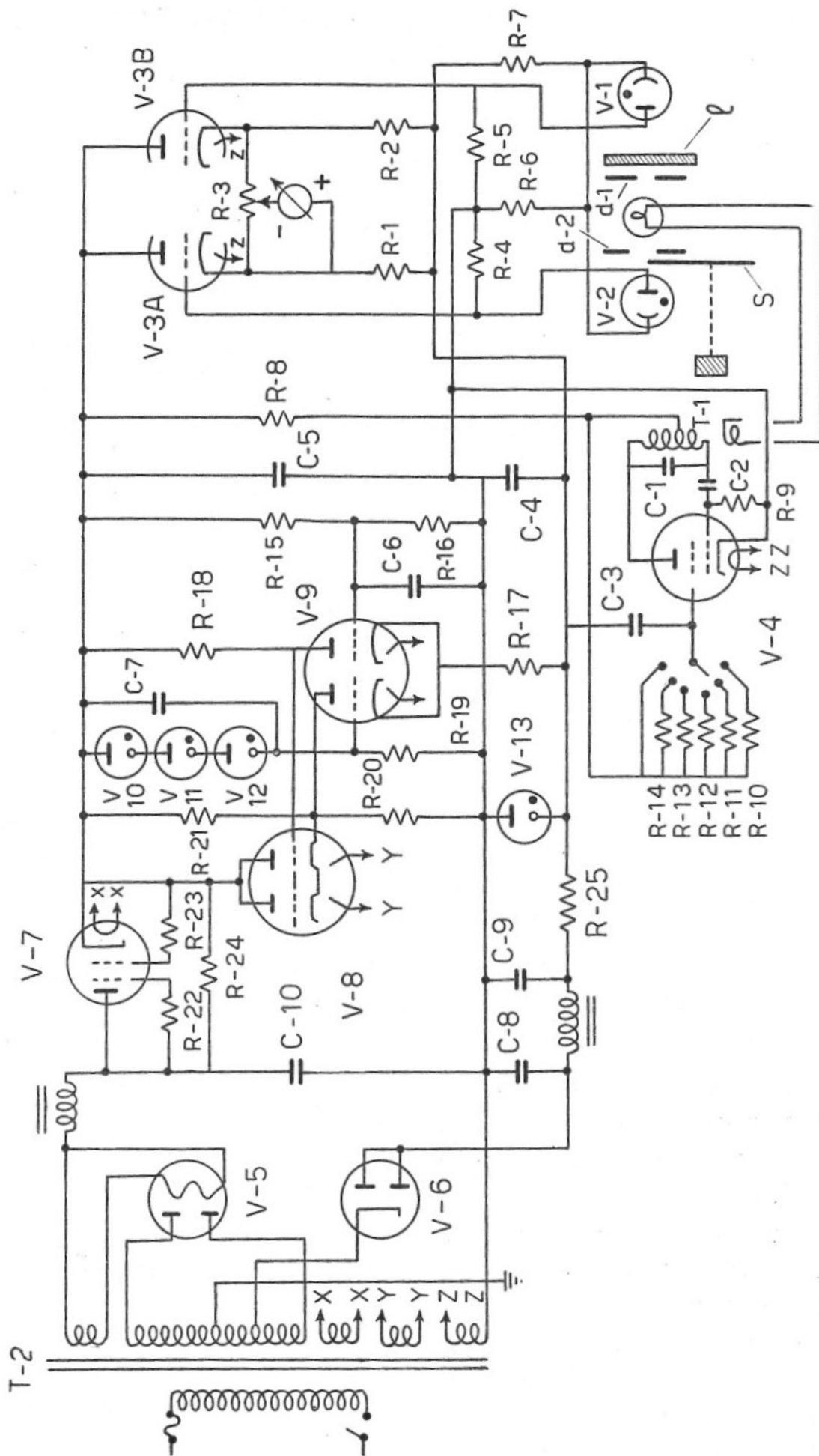


Fig. 2. - Circuito del densitometro.

Tra la cellula V-2 e la lampadina è inserito un altro diaframma (d-2) ed uno schermo s il cui profilo è una spirale (fig. 3) e può essere fatto girare con opportuno comando, regolando così la luce che passa nell'apertura del diaframma d-2.

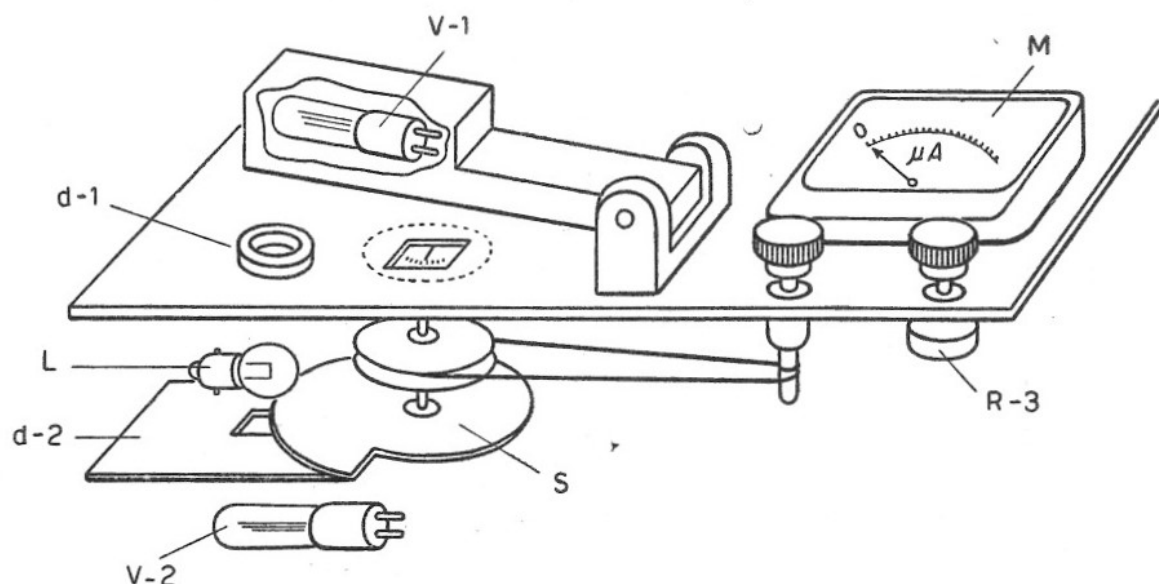


Fig. 3. - Disposizione della lampadina e delle cellule.

In tal modo, se le due sezioni del doppio triodo fossero rigorosamente uguali, lo strumento di misura inserito tra i catodi di V-3 segnerebbe zero quando le due cellule ricevono uguale luce, indipendentemente dal valore assoluto della luce stessa. In pratica variando l'intensità luminosa della lampadina lo zero subisce piccole variazioni, dovute alle inevitabili se pur modeste dissimetrie del circuito.

La sensibilità dello strumento di misura è regolabile mediante il potenziometro R-3.

Si comprende subito quindi che l'intera scala dello strumento può essere fatta corrispondere ad una ristretta gamma di valori di densità, e che questa gamma può essere prescelta entro un'estensione assai larga di valori.

Per rendere ancor più larga quest'estensione è possibile variare l'intensità della sorgente per mezzo del commutatore SW-1, in modo da mantenere su posizioni medie le regolazioni di s e di R-3.

L'apparato può essere utilizzato con due differenti metodi di misura.

Il primo consiste nel considerare lo strumento M come strumento di zero e ricavare il valore della densità dalla graduazione di una scala G fissata all'asse del disco s, dopo aver tarato una volta per sempre la scala mediante campioni di densità nota.

Con questo metodo l'apparato è sempre nelle migliori condizioni di bilanciamento e si ottengono i migliori risultati di stabilità.

Il potenziometro R-3 non influisce sulla lettura ma solo sulla sensibilità dell'indicazione dello zero. Per le varie posizioni del commutatore SW-1 si hanno altrettante intensità di luce della sorgente L ed altrettante gamme di valori misurabili di densità, largamente sovrapposte.

Il secondo metodo di impiego dell'apparato consiste nel far corrispondere alla scala dello strumento una determinata gamma di valori di densità. La gamma viene prescelta facendo corrispondere lo zero al valore più alto della densità compreso nella gamma, agendo sul comando dello schermo s, e successivamente regolando la sensibilità con R-3 in modo che al fondo scala dello strumento corrisponda il valore più basso di densità compreso nella gamma. Una volta tarato l'apparecchio a mezzo di campioni di densità nota, il valore di una densità intermedia si ottiene, per interpolazione, dalla scala dello strumento di misura. Con questo secondo metodo V-1 e V-2 non sono ugualmente illuminate (tranne quando lo strumento indica zero) ed il sistema non è più perfettamente bilanciato. Ovviamente lo sbilanciamento è tanto più ridotto quanto più ristretta è la gamma di densità che si desidera misurare. E' conveniente, ai fini della stabilità, predisporre l'intensità della sorgente in modo da mettere M nelle condizioni di massima sensibilità, rendendo così più ridotto lo sbilanciamento del circuito.

Comunque si ottiene una buona stabilità in quanto è particolarmente curata la stabilizzazione della sorgente luminosa.

La lampadina è alimentata da un oscillatore a radiofrequenza (V-4) che è a sua volta alimentato con una tensione molto costante; l'alimentatore ha un fattore di stabilizzazione eccezionalmente alto, dovuto sia al notevole rapporto tra la tensione di riferimento e la tensione stabilizzata, sia alle buone condizioni in cui si trova a lavorare l'amplificatore di differenza V-9, sia infine ai tipi di tubi ad alto coefficiente di amplificazione impiegati.

Infatti il fattore di stabilizzazione, come è noto, è:

$$S \cong \frac{E_0}{E_1} \mu \beta G$$

dove è:

E_0 = tensione stabilizzata

E_1 = tensione dell'alimentatore all'uscita del filtro

μ = coefficiente di amplificazione di V-7

β = rapporto tra E_0 e la tensione di riferimento (data dalla somma delle tensioni ai capi dei tubi di riferimento V-10, V-11 e V-12).

Essendo:

$$E_0 = 300 \text{ V}$$

$$E_1 = 450 \text{ V}$$

$$\mu = 5$$

$$\beta = 265/300$$

$$G \approx 1500$$

risulta:

$$S \approx 4400$$

La fig. 4 mostra l'apparato visto di fronte.

La cellula V-1 si trova nella testina all'estremità di un braccio sollevabile per consentire l'inserzione del campione da misurare. Sul piano

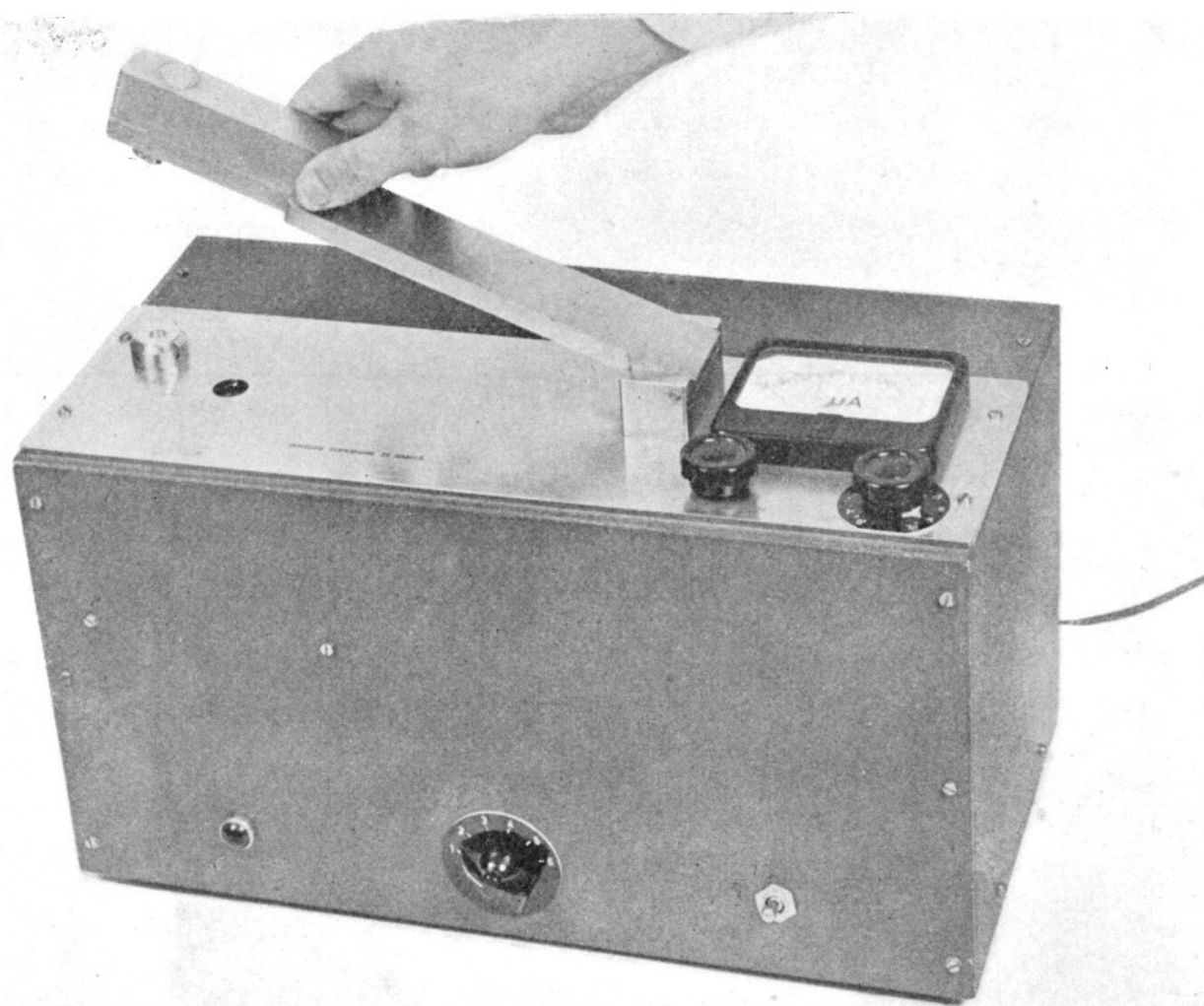


Fig. 4. - Fotografia del densitometro.

dell'apparecchio, presso lo strumento M, si trovano i comandi dello schermo s e del potenziometro R-3, mentre sul fronte dell'apparecchio si ha l'interruttore generale e il commutatore SW-1.

In alcuni densitometri (¹, ²) si hanno due differenti cammini ottici, dei quali l'uno attraversa il campione da misurare, l'altro attraversa un dispositivo capace di controllare il raggio di luce.

Periodicamente (con una frequenza necessariamente piuttosto bassa, perchè limitata dai movimenti meccanici) vengono confrontate le attenuazioni lungo i due cammini e rese automaticamente uguali.

Con questi apparati non è possibile applicare un oscillografo per esaminare variazioni di densità che avvengano in tempi non sufficientemente grandi rispetto al periodo tra due confronti successivi.

Il densitometro descritto nel presente foglio consente invece di applicare tra i catodi di V-3 un oscillografo con cui studiare variazioni di densità comunque rapide nel tempo, non essendovi altra limitazione che il tempo di ionizzazione e deionizzazione delle cellule. Questa possibilità, di scarso rilievo quando si esaminino lastre, può diventare interessante in particolari ricerche, quali controlli di tensioni meccaniche in materiali trasparenti, con luce polarizzata, ecc.

Ringrazio vivamente il sig. Umberto De Angelis che ha collaborato per la parte elettronica, e i signori Spartaco Bedini e Rocco Orlando che hanno curato la parte meccanica.

Roma — Istituto Superiore di Sanità - Reparto di elettronica.

BIBLIOGRAFIA

(¹) GRUDEM A. - Appl. Sc. Res., 4B: 3 (1954).

(²) GOBLE O. L. - J. Sci. Instr., 30: 110 (1953).
