

GIULIO CESARE TRABACCHI

L'IMPIANTO PER LA DOSIMETRIA DEI RAGGI X NELL'ISTITUTO DI SANITÀ PUBBLICA.

La valutazione della qualità e della quantità dei raggi X ha rappresentato per lungo tempo un grave problema nella radioterapia.

Superato un primo periodo di completo empirismo, durante il quale non si aveva neppure esatta conoscenza della natura dei raggi impiegati, furono chiarite le idee sulla questione della qualità e furono messi a punto strumenti che permisero di determinare le lunghezze d'onda delle radiazioni emesse dalle ampole. Per la misura dell'intensità delle radiazioni, e quindi della « dose », vi fu un periodo piuttosto lungo di incertezza.

Sembrò in un primo tempo che ai mezzi fisici dovessero essere preferite delle reazioni biologiche, ma queste si rivelarono così incerte che ben presto gli sperimentatori si accorsero che praticamente non potevano servire per la misura della dose. Lo stesso accadde delle misure fondate su effetti chimici e fisico-chimici delle radiazioni, come pure dei mezzi indiretti fondati sulla valutazione degli elementi elettrici dai quali dipende l'energia delle radiazioni.

Si concluse che doveva essere impiegata una proprietà fisica diretta dei raggi X, e dopo qualche discussione fu universalmente accettato di impiegare il fenomeno della ionizzazione dei gas, la cui misura in pratica riesce facile e precisa. Non esiste più ormai alcun dubbio che vi sia proporzionalità tra la intensità di un fascio di raggi X e la ionizzazione che esso produce, e che questa rappresenti, ai fini biologici, un mezzo particolarmente adatto per il confronto di radiazioni anche di diversa composizione spettrale, purchè si usino per le misure opportuni accorgimenti.

Nel secondo congresso internazionale di Radiologia tenuto a Stoccolma nel 1928, fu stabilito di adottare come unità ionometrica « Roentgen » indicata con « r » e corrispondente a « quella quantità di radiazioni X che, quando vengano completamente utilizzati gli elettroni secondari e venga eliminato ogni effetto dovuto alle pareti della camera di ionizzazione, produce in un cmc. di aria, in condizioni normali di temperatura e

di pressione, un grado di conducibilità tale che si liberi, nelle condizioni di saturazione, una unità elettrostatica di carica elettrica ».

Nel Congresso non fu stabilito nessun tipo speciale di camera di ionizzazione e i vari Laboratori del mondo proposero pertanto vari modelli, che sono poi venuti uniformandosi ad un tipo unico che meglio

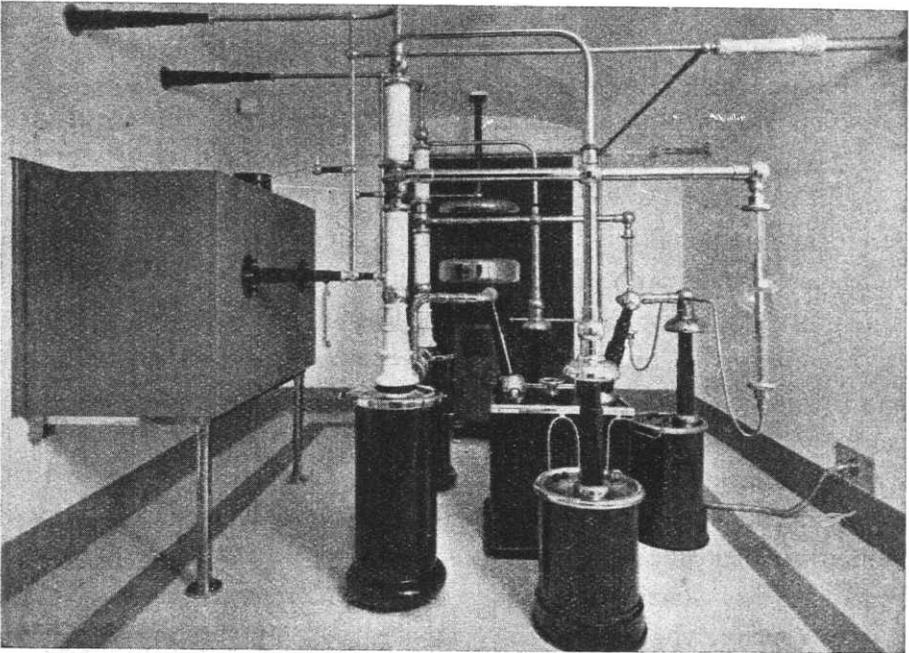


FIG. 1.

degli altri risponde ai requisiti necessari per la realizzazione della misura del « r ». Alla uniformizzazione del tipo di camera contribuì notevolmente la iniziativa di Taylor del Laboratorio Nazionale degli S.U., che nel 1931 visitò personalmente i vari Laboratori nazionali europei che allora erano già attrezzati allo scopo, ed essendo munito di un istrumentario trasportabile poté confrontare i risultati ottenuti, riscontrando che l'accordo fra i vari sperimentatori era compreso entro il $\pm 0,5\%$ (¹). Questo risultato fu la miglior conferma che la camera ad aria del tipo universalmente usato fosse il mezzo migliore per la accurata misura della intensità dei raggi X. Scopo della presente nota è di riferire come è stato eseguito l'impianto per la misura dei raggi X nell'Istituto di Sanità Pubblica, per controllare e

tarare i dosimetri usati nella pratica della terapia. E' noto infatti che per i bisogni della pratica vengono usate piccole camere dette « a ditale » nelle quali l'effetto di parete, sebbene ridotto al minimo per la scelta della sostanza con cui sono fabbricate, non può essere trascurato, e pertanto debbono essere tarate confrontandole con una camera « campione ».

Per realizzare una installazione che permetta la rigorosa taratura delle piccole camere, occorre essenzialmente avere un fascio di raggi X il più uniforme possibile e che si conservi di intensità costante per un tempo sufficientemente lungo, come è del resto necessario per la luce in qualunque misura fotometrica. Le migliori condizioni per ottenere un pennello di raggi X adatto per le operazioni di taratura delle piccole camere di ionizzazione si ottengono alimentando l'ampolla con una differenza di potenziale costante, avendo cura di conservare costante la temperatura del filamento e quindi la intensità della corrente che attraversa l'ampolla.

L'apparecchio usato nel Laboratorio fisico dell'Istituto di Sanità realizza con buona approssimazione queste condizioni.

Esso è costituito da un dispositivo a raddoppio di tensione che permette di ottenere una d.d.p. di 300 Kv. ed è provvisto di due condensatori che livellano la tensione in modo sufficiente per non avere nella emissione dei raggi X una fluttuazione troppo grande con intensità fino a 8 ma.

Questa fluttuazione è stata misurata direttamente sul fascio dei raggi X mediante uno speciale dispositivo già altrove (2) descritto. E' ovvio che la fluttuazione della tensione è assai più piccola, in quanto la intensità delle radiazioni varia con il quadrato della tensione applicata all'ampolla.

L'apparecchio (fig. 1) che occupa una stanza (nella quale non si entra durante il funzionamento) alimenta un'ampolla chiusa in una cassa foderata di piombo (dello spessore di 0,5 cm.) fissata alla parete che separa la stanza dell'apparecchio da quella delle misure.

Nella camera delle misure (fig. 2) l'ampolla è accessibile attraverso un grande sportello a carrello, che quando è chiuso costituisce un diaframma di piombo dello spessore di 0,5 cm. Nel centro dello sportello vi è una apertura alla quale possono essere adattati degli schermi forati, dai quali possono uscire i raggi X, che in tal modo passano attraverso alla stanza sotto forma di un pennello di dimensioni trasversali volute.

La camera di ionizzazione e i dispositivi per la misura sono disposti in modo da poter essere manovrati dalla stessa persona che regola il funzionamento dell'apparecchio generatore dell'alta tensione. Gli strumenti di misura della intensità della corrente dell'ampolla e della tensione ai suoi estremi sono costituiti da un milliamperometro di tipo adatto

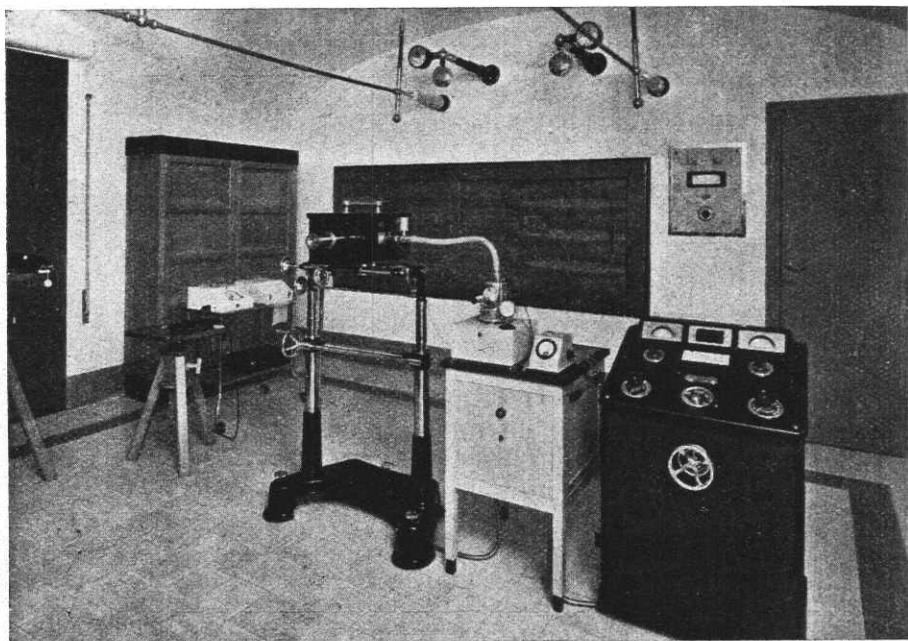


FIG. 2.

per evitare effetti corona e da un voltmetro elettrostatico, le cui armature sono collegate ai poli dell'ampolla. Esso è visibile nel centro della fig. 1. I movimenti del piatto mobile, che si trova inferiormente circondato da un anello di guardia, vengono comunicati, mediante una sottile bacchetta isolante, all'equipaggio mobile di un elettrodinamometro, la cui bobina è collegata con quella di un altro elettrodinamometro ricevitore che trovasi sul tavolo di manovra. Siccome le bobine fisse dei due strumenti sono attraversate dalla stessa corrente alternata, ne consegue che la bobina del ricevitore riproduce tutti i movimenti di quella del trasmettitore ⁽³⁾.

La scala dello strumento dipende naturalmente dalla distanza degli elettrodi che può essere variata a piacere, e la linea di taratura è rigoro-

samente rettilinea in modo che, essendo stata una volta per sempre fissata la scala del ricevitore e quindi l'inclinazione della retta, è sufficiente controllare un sol punto per qualsiasi distanza fra i piatti.

Tale controllo può essere fatto mediante uno spinterometro a sfere del diametro di 125 mm. munito di opportune resistenze e di un dispositivo che marca la distanza alla quale si è innescata la scarica. Altro mezzo di controllo è un dispositivo voltometrico costituito da un microampmetro che va in fondo scala con 300 microampère ed è collegato ai poli dell'ampolla mediante due resistenze il cui valore complessivo ammonta a 1000 megaohm.

Queste resistenze sono state espressamente costruite per sopportare una dissipazione di energia assai superiore a quella che effettivamente devono sopportare, ed inoltre vengono collegate ai poli dell'ampolla mediante appositi commutatori solo nel momento di eseguire le misure per controllare la scala del voltmetro elettrostatico.

Siccome le resistenze sono contenute in tubi di bachelite lunghi un metro e collegati fra loro da grossi tubi metallici che comunicano con le resistenze stesse, è facile controllarne il valore sezione per sezione.

Essendo evitata qualunque dispersione per difetto di isolamento o per effetto corona, la misura eseguita con questo mezzo può essere ritenuta assai sicura.

La costanza della tensione impiegata per l'alimentazione dell'apparecchio è realizzata mediante uno stabilizzatore rotativo (4) nel quale la eccitazione dell'alternatore è ottenuta mediante una batteria di accumulatori di conveniente tensione, messa in opposizione, attraverso una conveniente resistenza, con la dinamo eccitatrice. Variando la velocità del gruppo, per variazioni di tensione e di frequenza della corrente stradale, la eccitazione dell'alternatore varia in senso inverso, in modo tale da tenere costante la tensione dell'alternatore stesso.

Come si vede dalla figura (fig. 3), la tensione non varia più del 2 per mille, mentre quella della rete, riportata nel diagramma superiore, varia più del 2 per cento; in tal modo si conserva costante entro gli stessi limiti la tensione ai poli dell'ampolla.

Anche la corrente di accensione, e conseguentemente quella che attraversa l'ampolla, è sufficientemente costante.

La camera di ionizzazione (fig. 4) è costituita da una cassetta rettangolare K , di cm. $20 \times 20 \times 45$, rivestita internamente con lastra di grafite ed esternamente con piombo dello spessore di mm. 3.

Nel centro dei due lati opposti, 20×45 , sono applicati due passanti, attraverso ciascuno dei quali può scorrere una canna metallica m a sezione quadrata, che sostiene nell'interno della camera una placca di grafite, isolata in ambra; il conduttore m che parte dalla placca attraverso la canna comunica con l'esterno, sostenuto da isolatori di ambra.

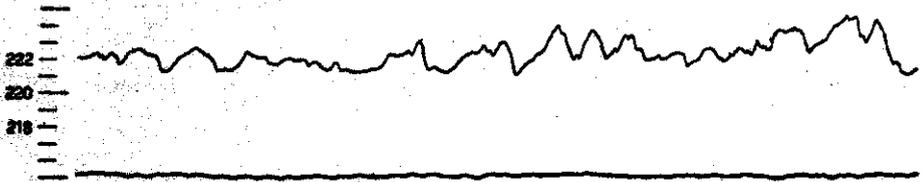


FIG. 8.

Una delle placche, la p , ha le dimensioni poco inferiori a quelle interne della cassetta ed è in un sol pezzo; l'altra consta di due parti: quella centrale p' di cm. 8×10 è isolata in ambra e comunica con l'esterno come l'altra, mentre una lastra di grafite gg , delle dimensioni esterne eguali alla grande lamina p prima descritta, ha un foro di cm. $8,5 \times 10,5$ ed è sostenuta dallo stesso supporto che regge la lamina 8×10 , ma è in comunicazione con la terra. Le cose sono disposte in modo che le due parti g e p' della seconda lamina sono nello stesso piano, che risulta parallelo a quello della prima lamina.

Le due lamine possono essere avvicinate o allontanate, e una graduazione, praticata lungo la canna di sostegno, permette di conoscere dallo esterno la loro distanza, essendo la cassetta chiusa anche superiormente da un coperchio di grafite.

I due lati 20×20 presentano sul centro un foro che da una parte (f) è chiuso da un diaframma di piombo di conveniente dimensione e dall'altra (f') reca un tubo pure di piombo chiuso all'estremità.

Il primo foro serve per l'ingresso del pennello dei raggi X che deve essere misurato. Il secondo serve ad assorbire i raggi in condizioni tali che le radiazioni secondarie non possano influenzare la misura.

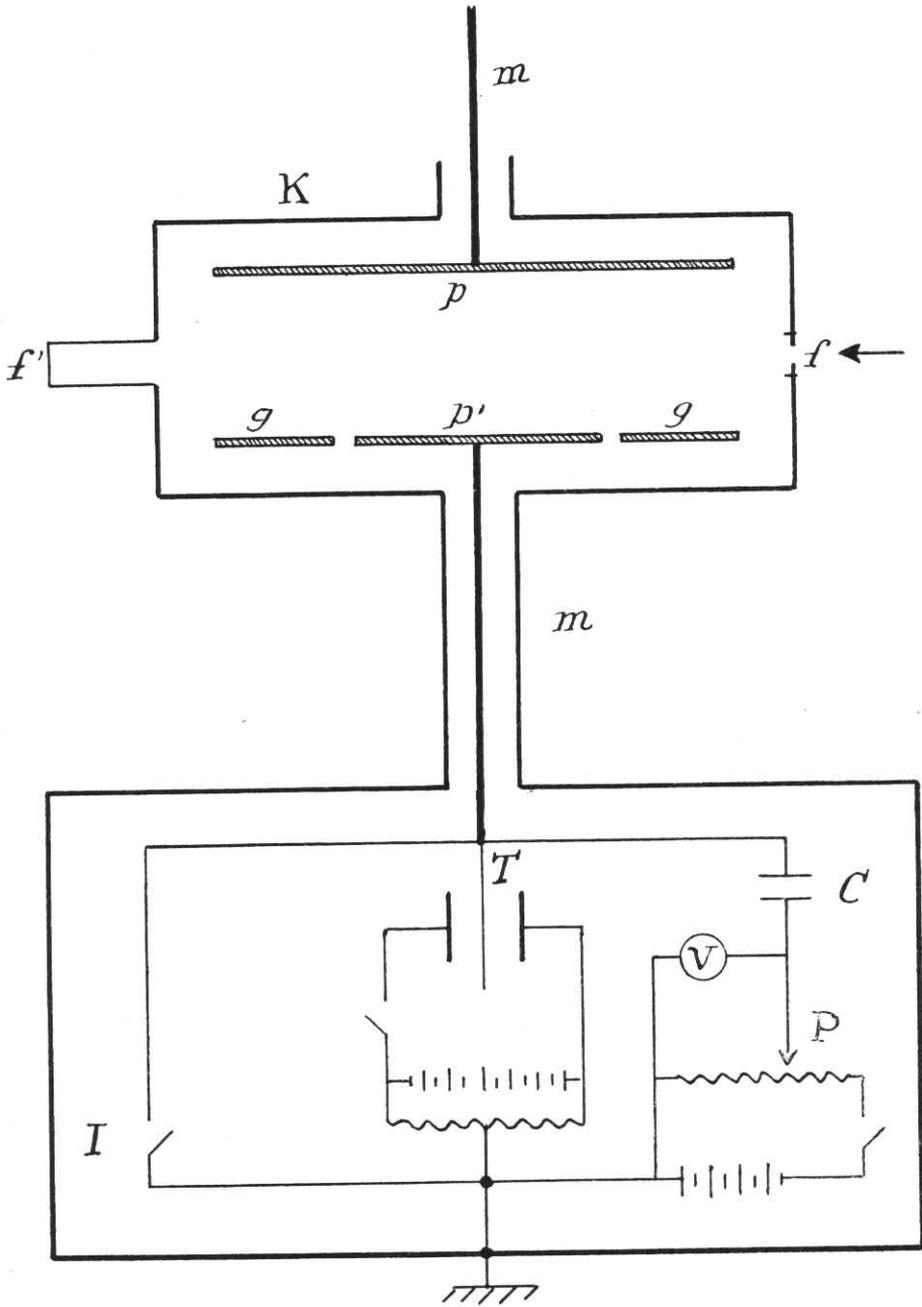


FIG. 4.

La camera è sostenuta da un supporto posto sopra un carrello, e costruito in modo che la cassetta possa prendere nella stanza qualunque posizione e orientazione. Riesce così facile realizzare le condizioni geometriche necessarie per trovarsi rispetto al fuoco ed ai diaframmi nelle condizioni volute.

Il controllo del centramento del fascio e della sua uniformità viene eseguito nel modo seguente: una cassetta rettangolare di legno può essere introdotta nell'interno della camera in modo da occupare lo spazio fra le due lamine parallele. Sui lati della cassetta che sono attraversati dal fascio di raggi X sono disposti due telai contenenti lastre sensibili; si fanno passare i raggi X per un tempo conveniente e poi si sviluppano le lastre che precedentemente erano state marcate in modo da poterne sempre riconoscere l'orientazione nella cassetta. La distanza tra il diaframma anteriore della cassetta e il punto focale dell'ampolla è ordinariamente di cm. 250, cosicchè le due immagini risultano pochissimo differenti tra loro. Una fotometria delle lastre eseguita in direzioni ortogonali, permette di controllare se devono essere fatte delle correzioni nella posizione della camera, e di giudicare se il fascio è di intensità uniforme.

Una volta eseguito il centramento, la camera viene bloccata nella sua posizione. La lamina grande p viene portata al potenziale occorrente mediante un raddrizzatore a lampada, la cui tensione è rigorosamente livellata mediante una catena di lampade al neon.

L'altra placca p' comunica, mediante un conduttore isolato in ambra e contenuto in un tubo metallico, col filo T di un elettrometro unifilare di Edelman, in modo che, se non vi fossero altri accorgimenti, appena isolato l'elettrometro, se la camera è attraversata da un pennello di raggi X, il filo comincerebbe a muoversi e in breve uscirebbe dalla scala, giacchè la sua sensibilità è grande e la capacità totale del sistema è assai piccola.

Al conduttore che collega la placca collettrice con l'elettrometro è unita una delle armature di un piccolo condensatore C isolato in ambra, anch'esso contenuto in un involucro metallico. All'altra armatura, mediante una disposizione potenziometrica P, può essere comunicato un potenziale il cui valore si legge sul voltmetro V; e il segno è scelto in modo che la carica data all'elettrometro in questa maniera lo faccia deviare in senso opposto al precedente, così che si possa facilmente conser-

vare il filo al potenziale zero, compensando con le cariche date al condensatore quelle raccolte nella camera della placca collettrice.

Poichè lo stesso congegno I che isola l'elettrometro mette in moto un contasecondi, è facile (conoscendo la capacità del condensatore, la durata della misura e il potenziale che si è dovuto comunicare al condensatore) valutare la quantità di elettricità raccolta dalla lamina collettrice nella camera di ionizzazione.

Per assicurarsi che fossero realizzate le condizioni volute dalla teoria, si è in primo luogo verificato che la distanza fra gli elettrodi fosse sufficiente a garantire la completa utilizzazione degli elettroni secondari; ciò si è fatto accertando che non si verifica nessun cambiamento della ionizzazione variando entro' un campo assai vasto la distanza tra gli elettrodi. Aumentando la differenza di potenziale fra gli elettrodi, si è verificato di aver raggiunto la tensione occorrente per la saturazione. Distorsioni del campo fra gli elettrodi sono da escludere, perchè tra il collettore e la placca di guardia, che trovasi a terra come tutto l'involucro metallico della disposizione elettrometrica, non si ha mai una sensibile differenza di potenziale.

E' stato accuratamente verificato che il primo diaframma posto in vicinanza del tubo lascia passare la maggior parte delle radiazioni provenienti dalla macchia focale e arresta tutte le altre; in queste condizioni si può constatare che la legge della ragione inversa del quadrato della distanza è verificata in modo abbastanza rigoroso.

E' noto (⁶) che la distanza della camera campione dal fuoco deve essere misurata a partire dal piano anteriore del diaframma della camera inquantochè gli ioni generati nel tronco di cono individuato dal fascio dei raggi X e dai piani ad esso perpendicolari condotti per gli estremi dell'elettrodo collettore sono gli stessi che una radiazione che in tutto il percorso utile avesse una intensità costante uguale a quella che il fascio ha all'entrata nella camera campione, produrrebbe in un cilindro che avesse per base il diametro del diaframma di entrata e per altezza la lunghezza dell'elettrodo collettore.

Per tarare dunque una camera a ditale di un comune dosimetro, si può procedere nel modo seguente: si misura con la camera campione la intensità del fascio, facendo prima funzionare l'apparecchio per qualche minuto per essere sicuri che tutti i circuiti abbiano raggiunto un regime

costante di temperatura: la misura viene fatta col metodo di compensazione sopra descritto.

Subito dopo, senza modificare nulla nel funzionamento dell'apparecchio, si introduce la camera a ditale in un punto determinato del fascio, avendo cura che la camera sia tutta compresa in quella parte del fascio che si è constatato essere uniforme.

Eseguita la misura col dosimetro collegato con la camera a ditale, si confrontano i due risultati in base alla legge dell'inverso del quadrato delle distanze.

La concordanza fra varie misure, eseguite in questo modo, si mantiene entro il 3 %, il che sembra più che sufficiente per le applicazioni biologiche che hanno i dosimetri. Queste divergenze sono principalmente dovute ai dispositivi che vengono usati per la registrazione delle indicazioni delle camere a ditale dai vari costruttori di dosimetri.

Nel caso della camera campione (usata coi metodi sopradescritti), le differenze tra misure eseguite anche in giorni differenti, nelle stesse condizioni di eccitazione del tubo, non raggiungono mai l'1 %.

RIASSUNTO

L'A. descrive l'impianto per la dosimetria dei raggi X, eseguito nell'Istituto di Sanità Pubblica, per la taratura dei dosimetri usati dai medici. La tensione utilizzata in tale impianto può raggiungere i 300 KV. Sono state prese speciali precauzioni per la stabilizzazione della corrente di alimentazione dell'impianto e per la centratura del fascio di raggi X nella camera di ionizzazione; in questa le misure vengono eseguite con metodo di compensazione.

La precisione delle misure raggiunge l'approssimazione dell'1 %.

Roma. — Istituto di Sanità Pubblica - Lab. di Fisica. Settembre 1938-XVI.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) L. S. TAYLOR - Bureau of Standards Journal of Research, vol. 8, January 1932.
- (²) TRABACCHI e AMALDI - Rendiconti Istituto di Sanità Pubblica, 1, 317 (1938).
- (³) G. INDUNI - Elettrotecnica, 18 (1931).
- (⁴) TRABACCHI - Rend. Istituto di Sanità Pubblica, 1, 312 (1938).
- (⁵) BEHNKEN - Strahlentherapie, 26 Band. 1927.