

64. Ugo AMALDI jr. — Sistema di focalizzazione per l'iniezione di elettroni nel Sincrotrone Nazionale.

Riassunto. — Si descrive il sistema ottico elettronico progettato e costruito per focalizzare nella ciambella del Sincrotrone Nazionale elettroni di 2 MeV di energia cinetica.

Il calcolo del comportamento di tale sistema è condotto in approssimazione di Gauss trascurando gli effetti di bordo. Gli alimentatori delle lenti magnetiche sono stati montati secondo un semplicissimo schema, che si ritiene originale e permette stabilizzazioni migliori dell'1% per variazioni del 20% della resistenza di carico.

Résumé. — On décrit un système optique électronique projeté et construit pour focaliser dans la chambre à vide du Synchrotron National électrons de 2 MeV d'énergie cinétique.

Le calcul de comportement de ce système est conduit en approximation de Gauss sans considérer les effets du champ de fuite.

Les alimentateurs des lentilles magnétiques ont été montés selon un schéma très simple qu'on croit original et qui permet des stabilisations meilleures que 1% de la résistance de charge.

Summary. — The electronic optical system designed and built for the focusing of electrons of 2 MeV kinetic energy in the vacuum chamber of the National Synchrotron is described.

The calculation of the behaviour of such a system is carried out in Gauss approximation ignoring edge effects. The feeds of the magnetic lenses are mounted in a very simple arrangement, believed to be original, which allows a stabilisation better than 1% for load resistance variations of 20%.

Zusammenfassung. — Das elektronisch optische System welches zur Fokalisierung der Elektronen mit kinetischer Energie gleich 2 MeV im Ring des Nationalen Synchrotrons entworfen und gebaut wurde wird geschildert.

Die Berechnung des Verhaltens so eines Systems wurde nach der Annäherung von Gauss bei Vernachlässigung der Randeffekte durchgeführt. Die Speiser der magnetischen Linsen sind nach einem äusserst einfachen Schema, das als originell angesehen wird und das bei 20% Schwankungen des Belastungswiderstandes eine mehr als 1% Stabilität gestattet, montiert.

INTRODUZIONE

Si descrive il sistema ottico-elettronico che, focalizzando gli elettroni di 2 MeV accelerati mediante un Cockroft e Walton, li immette nella ciambella del Sincrotrone Nazionale di Frascati.

Il C. e W. è contenuto in una tank cilindrica di acciaio inossidabile di 2 m di diametro e 5 m di lunghezza. Gli elettroni vengono iniettati tangenzialmente all'orbita di equilibrio mediante un deflettore elettrostatico.

I dati del problema sono:

diametro del catodo di tungsteno	$d = 6 \text{ mm}$
temperatura di lavoro del catodo	$T \cong 1500 \text{ }^{\circ}\text{K}$
lunghezza del tubo acceleratore	$a = 2800 \text{ mm}$
diametro uscita tubo acceleratore	$R = 30 \text{ mm}$
distanza « fine del tubo accelerato-calotta di chiusura della tank »	$b = 700 \text{ mm}$
distanza « calotta di chiusura della tank-entrata del deflettore elettrostatico »	$c = 2,4 \text{ m}$
angolo di deflessione del deflettore elettrostatico	$\Theta = 60^{\circ}$
raggio del deflettore elettrostatico	$r_0 = 800 \text{ mm}$
distanza tra le piastre del deflettore	$10 - 15 \text{ mm}$
rigidità degli elettroni	$B\rho = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ weber/m}$
durata del fascio	$1 - 5 \text{ } \mu\text{sec.}$
intensità istantanea del fascio	200 mA
diametro del fascio richiesto all'uscita del deflettore	$\sim 5 \text{ mm}$
apertura del fascio richiesta all'uscita del deflettore	$< 3 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$

La distanza « calotta della tank-deflettore elettrostatico » resta praticamente fissata dall'ingombro degli accessori che vanno posti tra C. e W., e deflettore.

Il deflettore elettrostatico è costituito da due piastre alte 60 mm che giacciono lungo un arco di circonferenza di 800 mm di raggio e di 60° di apertura giacente nel piano della ciambella. Un tale sistema focalizza

(a parte effetti di bordo) nel solo piano orizzontale (il fuoco dista 43 cm dalla bocca del deflettore). Volendo in uscita una immagine a sezione approssimativamente circolare occorre, quindi, che la sezione dell'immagine che si costruisce nel suo fuoco sia circa un'ellisse con asse minore verticale. Introduciamo perciò nel sistema focalizzante una lente quadrupolare che, mentre focalizza in un certo piano passante per il suo asse, defocalizza nel piano, sempre passante per l'asse, ortogonale al primo. Per ottenere una immagine del tipo richiesto occorre quindi abbinare (almeno) due lenti, che scegliamo del tipo magnetico: una lente a mantello e un quadrupolo.

Il sistema ottico è costituito in definitiva da 5 parti, discusse nei paragrafi seguenti:

- 1) campo elettrostatico acceleratore;
- 2) diottro di uscita (passaggio da regione di campo diverso da 0 a zona di campo nullo);
- 3) lente a mantello;
- 4) quadrupolo;
- 5) deflettore elettrostatico.

1) CAMPO ACCELERATORE.

Il campo elettrico si può ritenere costante lungo tutto il tubo acceleratore tranne che in prossimità del catodo ove un anodo a 100.000 V, appositamente studiato in vasca elettrolitica, rende leggermente convergente il fascio di elettroni in modo da compensare l'effetto della carica spaziale; si può pertanto tralasciare, in prima approssimazione, la considerazione di questo effetto.

Le equazioni relativistiche del moto in due dimensioni di un elettrone in un campo uniforme E (diretto nel verso negativo dell'asse x), nel caso di velocità iniziale molto minore di c , danno, per le grandezze che interessano:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dy}{dx} = \frac{m_0 \dot{y}_0 c}{[e^2 E^2 x^2 + 2m_0 c^2 eEx]^{1/2}}; \\ y - y_0 = \frac{m_0 \dot{y}_0 c}{eEx} \ln \frac{eEx + m_0 c^2 \sqrt{e^2 E^2 x^2 + 2m_0 c^2 eEx}}{m_0 c^2}; \end{array} \right.$$

y_0 e $\dot{y}_0$ sono le componenti lungo y della posizione e della velocità iniziali dell'elettrone. Per $x=a=2,8$ m si ha ($eEa = 2$ MeV):

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{dy}{dx} \right]_{x=a} \cong 0,20 \frac{\dot{y}_0}{c} \\ \left[y-y_0 \right]_{x=0} \cong 0,58 \dot{y}_0 \frac{a}{c} - \end{array} \right.$$

Tutti gli elettroni emessi nel punto $(0; y_0)$ appaiono, al termine del tubo acceleratore, come provenienti, in assenza di campo elettrico, da un punto $(a - \frac{0,58}{0,20} a; y_0) \equiv (-5,3 \text{ m}; y_0)$; essi formano con l'asse x un angolo inferiore a

$$\left[\frac{dy}{dx} \right]_{\max} = 0,20 \frac{[\dot{y}_0]_{\max}}{c} -$$

Una particella a tre gradi di libertà ha, a temperatura $T = 1500$ °K, una velocità quadratica media $\sqrt{u^2} \cong 2,6 \cdot 10^5$ m/sec. Poiché la percentuale di particelle che hanno velocità compresa tra u_y e $u_y + du_y$ è

$$\frac{d\Pi}{du_y} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2\pi u^2}} e^{\left(-\frac{3}{2} \frac{u_y^2}{u^2} \right)}$$

prendendo $[\dot{y}_0]_{\max} = 3 \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{u^2}$ si trascura meno dell'1% degli elettroni emessi; si ottiene quindi:

$$\left[\frac{dy}{dx} \right]_{\max} \cong 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ rad.}$$

Normalmente l'angolo di emissione degli elettroni viene valutato trascurando il 50% della corrente emessa. Trascurandone soltanto l'1% ci si pone pertanto in condizioni particolarmente restrittive.

L'immagine virtuale I_1 che del catodo forma il tubo acceleratore ha un diametro $d_1 = 6$ mm, dista $-8,4$ m dal termine del tubo ed emette elettroni entro un semiangolo $\theta_1 \cong 4,1 \cdot 10^{-4}$ rad.

2) DIOTTRO DI USCITA.

Estendendo al caso relativistico un ragionamento riportato da KLEMPERER (Electron Optics, Second Edition, pag. 62) si può scrivere la componente y della quantità di moto acquistata da un elettrone, inizialmente diretto lungo l'asse x , nel passaggio da una zona di campo $-E$ lungo x , a una zona di campo nullo (t' e t'' sono gli istanti, supposti prossimi tra loro, a cui inizia e cessa di farsi sentire l'effetto del diottro; x' e x'' le relative posizioni):

$$p_y = - \int_{t'}^{t''} e E_y dt = - \frac{e}{\dot{x}} \int_{x'}^{x''} E_y dx = \frac{eyE}{2\dot{x}},$$

perché vale il teorema di Gauss

$$2\pi \int_{x'}^{x''} E_y dx + \pi y^2 E = 0.$$

Poiché $p_x c = \frac{H\dot{x}}{c}$ (H = energia totale = 2,5 MeV) la distanza focale è:

$$f_2 = - \frac{yp_x}{p_y} = - \frac{2\beta^2 \Sigma}{eE} \cong - 6,7 \text{ m}.$$

Questa distanza focale ha significato per raggi parassiali, $p_y \ll p_x$ (e questo è il caso), e nell'ipotesi di lente sottile, cioè $x'' - x' \ll R$; anche la seconda ipotesi dovrebbe risultare all'incirca soddisfatta. Applicando la formula delle lenti sottili si ricava che l'immagine virtuale I_2 dista $-3,8$ m dalla fine del tubo acceleratore; ha un diametro $d_2 \cong 2,8$ mm; il raggio coniugato a un raggio parallelo all'asse x che parte dall'estremo del catodo forma con l'asse x stesso un angolo:

$$\alpha_2 = \frac{\frac{d_1}{2}}{f_2} \cong 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

Come è noto, il prodotto $y \theta$ (calcolato sulle immagini o nei fuochi del sistema) è una costante (costante di Lagrange) in un sistema ottico centrato senza perdite, essendo θ la semiapertura del cono di raggi

emessi dal punto y. Nel nostro caso il prodotto di Lagrange dei raggi estremi vale:

$$L = \frac{d_1}{2} \theta_1 \cong 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ mm rad.}$$

e quindi

$$\theta_2 = 2 \frac{L}{d_2} \cong 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

3) - 4) LENTI MAGNETICHE

Per ragioni di ingombro la lente a mantello va posta a 0,6 m dalla calotta della tank, cioè a 5,1 m da I_2 .

Come vedremo, le distanze focali della lente quadrupolare sono, nei due piani ortogonali xy verticale e xz orizzontale, $-f_4$ e f_4 rispettivamente.

Detta f_3 la distanza focale della lente a mantello, dalla considerazione del sistema di due lenti sottili non a contatto si ricavano due condizioni su f_3 e f_4 sufficienti alla loro determinazione. Ricordiamo che date due lenti sottili A e B di distanze focali f' e f'' poste a distanza q, si ha (P_1 e P_2 sono il primo e il secondo punto principale)

$$\begin{aligned} \text{distanza focale} = f &= \frac{f' f''}{f' + f'' - q} \\ \overline{AP}_1 &= \frac{q f'}{f' + f'' - q} & \overline{BP}_2 &= - \frac{q f''}{f'' + f' - q} \end{aligned}$$

Piano xy (verticale) - Il deflettore elettrostatico non focalizza. Dopo le lenti i raggi coniugati ai raggi inizialmente paralleli all'asse x (che si comportano come provenissero dal fuoco del diottro) debbono essere nuovamente paralleli allo stesso asse:

$$(1) \quad \frac{1}{8,0 + \frac{q f_3}{f_3 - f_4 - q}} = \frac{f_3 - f_4 - q}{-f_3 f_4}$$

Piano xz (orizzontale) - Occorre focalizzare i raggi uscenti dal fuoco del diottro nel fuoco del deflettore elettrostatico, il quale dista 0,43 m dalla bocca del deflettore stesso:

$$(2) \quad \frac{1}{8,0 + \frac{q f_3}{f_3 + f_4 - q}} + \frac{1}{1,07 + \frac{q f_4}{f_3 + f_4 - d}} = \frac{f_3 + f_4 - q}{f_3 f_4}.$$

La soluzione del sistema (1) e (2) è, per $q = 0,30$ m;

$$f_3 = 1,88 \text{ m}; f_4 = 2,15 \text{ m}; q = 0,30 \text{ m}$$

Si ottiene quindi:

Piano xy

$$\overline{AP}_1^{(v)} \cong -1,0 \text{ m},$$

$$\overline{BP}_2^{(v)} \cong -1,13 \text{ m},$$

$$\overline{P}_1 P_2 \cong 0,17 \text{ m},$$

$$p_3^{(v)} = \overline{I}_2 \overline{P}_1^{(v)} = 4,1 \text{ m};$$

e quindi per l'immagine $I_3^{(v)}$ risulta:

$$q_3^{(v)} = \overline{P}_2^{(v)} \overline{I}_3^{(v)} = \frac{1}{\frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_4} + \frac{q}{f_3 f_4} - \frac{1}{p_3^{(v)}}} \cong -9,9 \text{ m};$$

$$d_3^{(v)} = d_2 \frac{|q_3^{(v)}|}{p_3} \cong 6,6 \text{ mm},$$

$$\alpha_3^{(v)} = 0$$

$$\Theta_3^{(v)} = \frac{2L}{d_3^{(v)}} \cong 0,37 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

$I_3^{(v)}$ (virtuale) dista dalla uscita del deflettore elettrostatico di 13,2 m.

Piano yz

$$\overline{AP}_1^{(o)} \cong 0,15 \text{ m}$$

$$\overline{BP}_2^{(o)} \cong -0,17 \text{ m}$$

$$p_3^{(o)} = \overline{I}_2 \overline{P}_1 \cong 5,25 \text{ m}$$

e quindi

$$q_3^{(o)} = \overline{P_2^{(o)} I_3^{(o)}} = \frac{1}{\frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} - \frac{q}{f_3 f_4} - \frac{1}{p_3^{(o)}}} \cong 1,37 \text{ m}$$

$$d_3^{(o)} = d_2 \frac{q_3^{(o)}}{p_3^{(o)}} \cong 0,73 \text{ mm}$$

$$\alpha_3^{(o)} = \left(\frac{d_2}{2} + \alpha_2 p_3^{(o)} \right) \frac{f_3 + f_4 - q}{f_3 f_4} \cong 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

$$\theta_3^{(o)} = \frac{2L}{d_3^{(o)}} \cong 3,37 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

5) DEFLETTORE ELETTROSTATICO.

Dato un deflettore elettrostatico di raggio medio r_0 e angolo di deflessione Θ si consideri l'elettrone che viene emesso sotto un angolo φ_i da un punto che dista l dalla bocca del deflettore e z dall'asse x (nel piano xz). All'uscita lo scostamento della traiettoria di tale elettrone dalla circonferenza media è, in prima approssimazione,

$$(3) \delta r = \frac{\varphi_i r_0}{n} \sin n \Theta + (z + l \varphi_i) \cos n \Theta$$

e l'angolo che esso forma con l'asse del deflettore vale:

$$(4) \varphi_f = \varphi_i \cos n \Theta - n \frac{(z + l \varphi_i)}{r_0} \sin n \Theta$$

dove

$$n = [2 - \beta^2]^{1/2}$$

Da 3) e 4) si ricava immediatamente la distanza g del fuoco F_D di tale sistema dalla bocca del deflettore:

$$g = \frac{r_0}{n} \cotg n \Theta.$$

Nel nostro caso:

$$g \cong 43,0 \text{ cm} \quad (n = 1,02).$$

Per i raggi inizialmente paralleli all'asse x:

$$l = g \quad ; \quad z = 0 \quad ; \quad \varphi_i = \alpha_3^{(0)}.$$

Evidentemente $\varphi_f = 0$ e

$$\delta r_p = \alpha_3^{(0)} \frac{r_o}{n} \frac{1}{\sin n \Theta} \cong 3,1 \text{ mm.}$$

Per i raggi estremi:

$$l \cong 0,32 \text{ m};$$

$$\varphi_i = \alpha_3^{(0)} + \theta_3^{(0)} \cong 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ rad};$$

$$z = \frac{d_3^{(0)}}{2} = 0,37 \text{ mm}$$

da cui:

$$\delta r_{\max} \cong 5,9 \text{ mm}$$

$$\varphi_i = \cos n \Theta \left[\varphi_i - \frac{z + l\varphi_i}{g} \right] \cong 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

La distanza di $I_D^{(0)}$ dall'uscita del deflettore elettrostatico vale

$$\frac{\delta r_{\max} - \delta r_p}{\varphi_f} \cong 5,9 \text{ m.}$$

Questa distanza è estremamente sensibile alla posizione del fuoco del sistema delle due lenti.

Focalizzando $I_3^{(0)}$ non nel fuoco del deflettore elettrostatico è possibile ridurre il diametro dell'immagine all'uscita; in tal caso si deve rinunciare alla condizione che i raggi inizialmente paralleli all'asse x lo siano ancora dopo il deflettore.

La fig. 1 rappresenta in modo schematico il sistema focalizzante; a titolo indicativo della situazione reale sono riportate le posizioni e le dimensioni delle immagini ora ottenute per via approssimata (approssimazione di Gauss trascurando gli effetti di bordo).

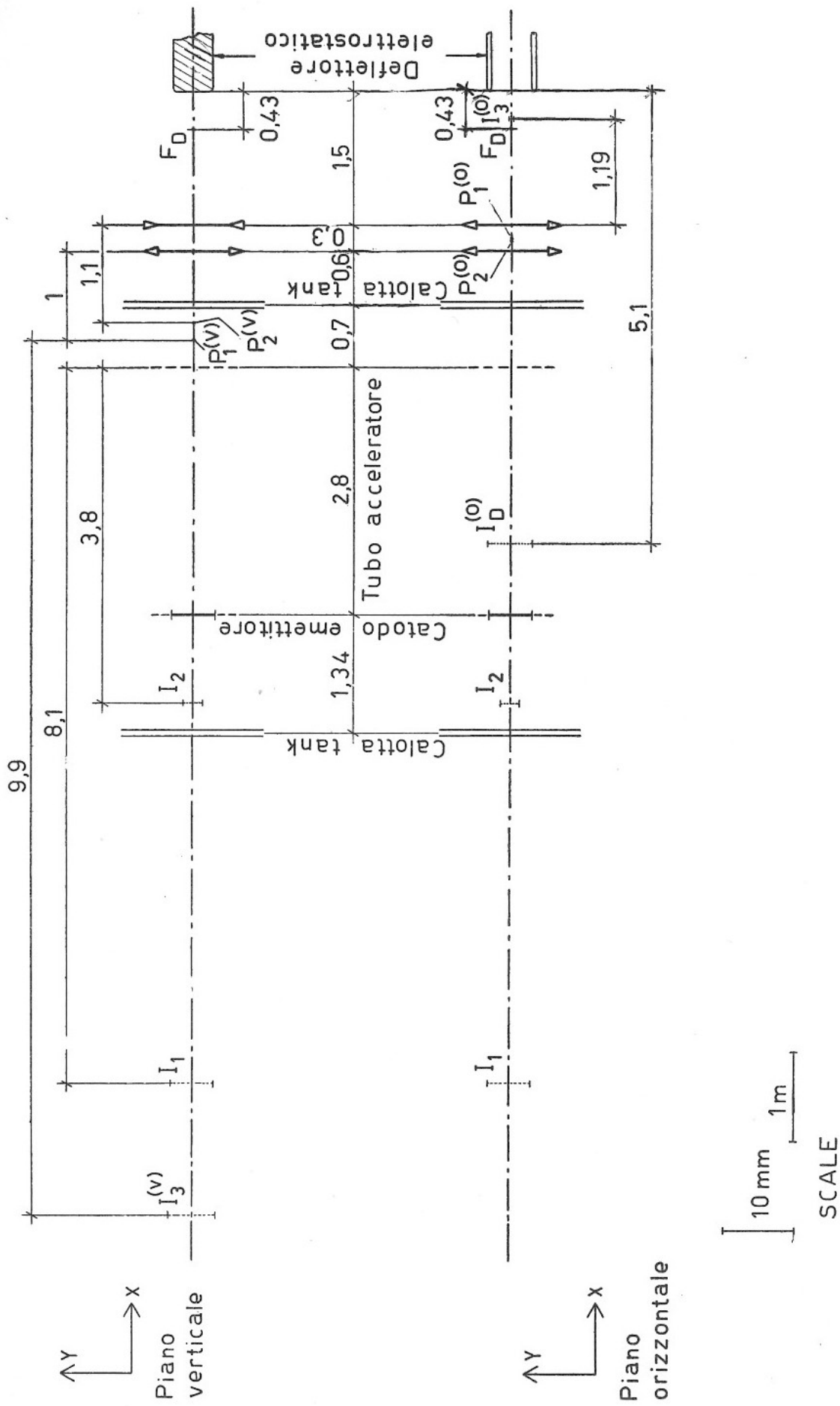


Fig. 1. - Schema del sistema focalizzante (cfr. testo).

6) CALCOLO DELLA LENTE A MANTELLO.

Si richiede che questa lente focalizzi il fascio nel fuoco del deflettore anche senza lente quadrupolare, cioè

$$1 \text{ m} < f_3 < 2,5 \text{ m}.$$

Dalla formula che dà f in funzione del numero di Asp. (KLEMPERER: Electron Optics, pag. 88):

$$f = \frac{G \bar{R}}{7,20} \left(\frac{B_0}{\mu N I} \right)^2,$$

scegliendo un raggio medio $\bar{R}$ delle spire, eguale a 10 cm e un fattore di forma $G = 40$, si ricava:

$$3,1 \cdot 10^3 < IN < 4,8 \cdot 10^3 \quad \text{Asp.}$$

(Il fattore di forma è dello stesso ordine di quello trovato sperimentalmente da K. in un caso non molto diverso).

Volendo introdurre una stabilizzazione in corrente conviene aver a che fare con tensioni non troppo basse. In definitiva scegliamo:

$$N = 25.000 ;$$

$$130 < I < 195 \text{ mA} ;$$

$$\text{diametro filo rame: } \phi = 0,30 \text{ mm} ;$$

$$\text{resistenza dell'avvolgimento: } 2 \text{ K } \Omega ;$$

$$\text{spessore del ferro (perché sia lontano dalla saturazione): } 8 \text{ mm}.$$

In fig. 2 è riportato il disegno costruttivo della lente a mantello.

7) CALCOLO DELLA LENTE QUADRUPOLE.

Un quadrupolo magnetico la cui sezione con un piano ortogonale all'asse x siano due iperboli equilateri coniugate e che si estenda indefinitamente lungo l'asse x stesso dà luogo a un vettore $\vec{B}$ di componenti

$$(3) \quad B_x = 0 \quad B_y = kz \quad B_z = ky.$$

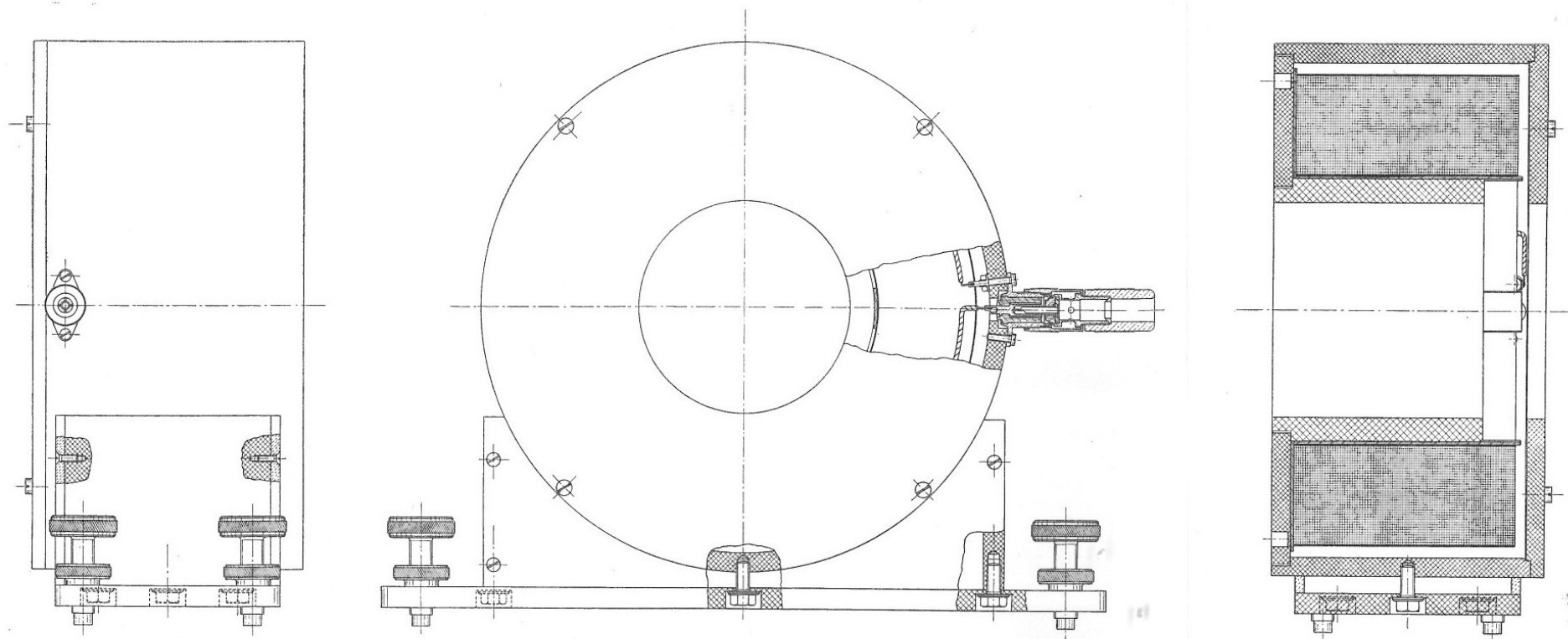


Fig. 2. - Disegno costruttivo della lente a mantello.

[COURANT E. D., LIVINGSTON M. S., SNYDER H. S.: Phys. Rev., 88: 119 (1952); SHULL F. B., MAC FARLAND C. E., BRETSCHER M. M.: R.S.I., 25: 364 (1954)].

Si ricava immediatamente il valore di k ($\mu \gg 1$ per il ferro)

$$(4) \quad k = \frac{8\mu n_i}{h^2},$$

dove h è il diametro della lente (cioè l'asse della iperbole) e n_i il numero di Asp per polo.

La traiettoria di un elettrone che entri in tale campo a $x=0$ e $y=y_0$ muovendosi parallelamente all'asse x nel piano xy è:

$$y = y_0 \cos h \sqrt{\frac{k}{B_0}} x$$

Nel piano xz invece:

$$z = z_0 \cos \sqrt{\frac{k}{B_0}} x.$$

Se il campo (3) agisce per un tratto s si determinano subito le distanze dei piani principali dal piano che termina la lente e le rispettive distanze focali.

Poiché nel nostro caso si ha $\sqrt{\frac{k}{B_0}} s \ll 1$ ($s=4$ cm) i risultati si semplificano notevolmente. Si trova infatti:

$$x_D \cong x_0 \cong \frac{S}{2} \quad \text{e} \quad f_0 = |f_D| \cong \frac{B_0}{k S};$$

D e C si riferiscono al piano xy e xz rispettivamente.

Il piano principale coincide col piano mediano delle lenti e le due distanze focali coincidono in valore assoluto.

Nel caso di lente non indefinita k non è più dato dalla (4); occorre aggiungere in f_4 un fattore correttivo $\alpha > 1$.

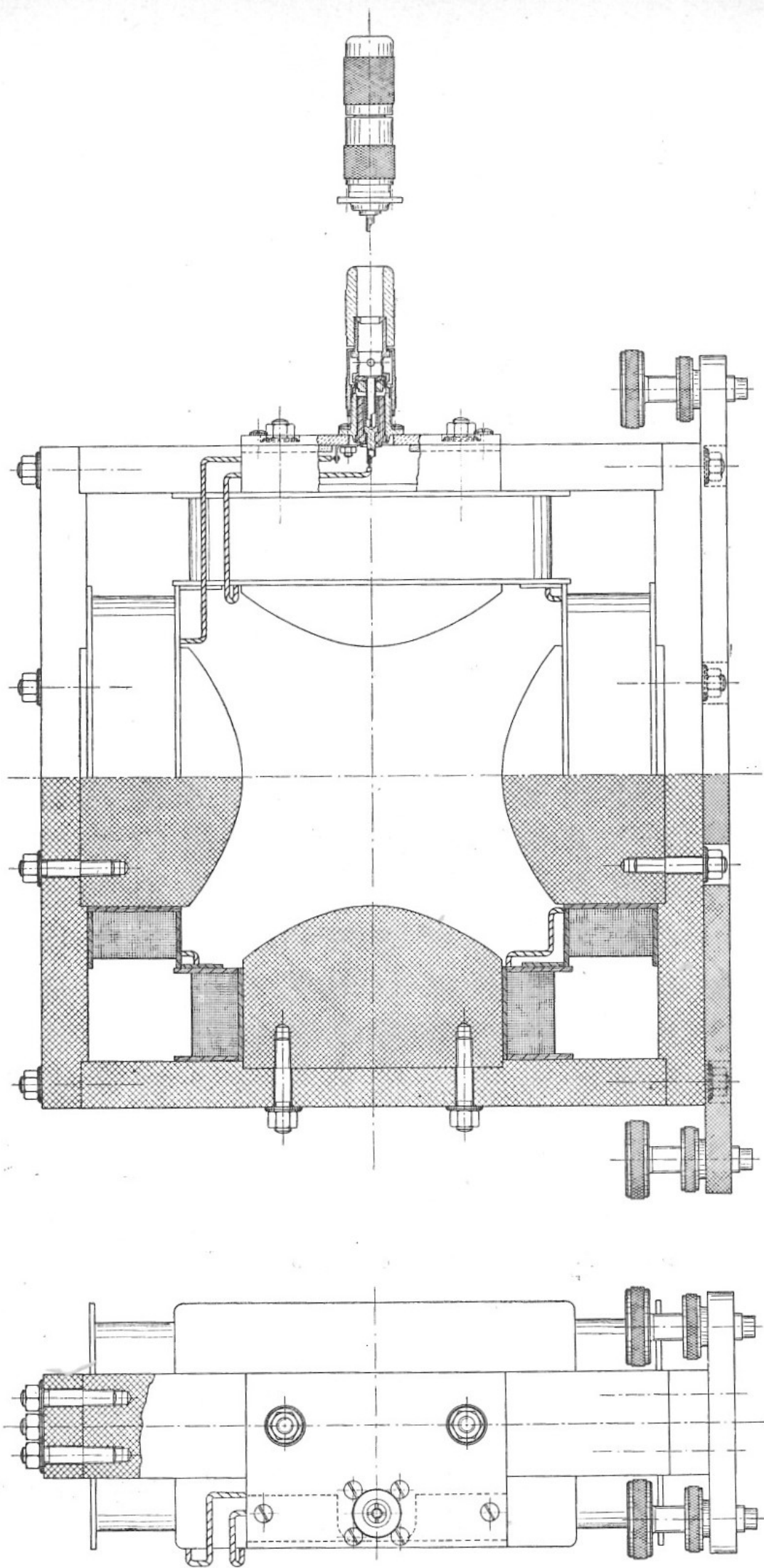


Fig. 3. - Disegno costruttivo della lente quadrupolare (cilindrica).

Allora :

$$f_4 = f_0 = |f_D| = \alpha \frac{B \varrho d^2}{8\mu_0 n i s} .$$

Per valutare α possiamo far uso dei dati di Shull et al.

	Shull et al.	caso attuale
B	$3,25 \cdot 10^{-1} \frac{\text{weber}}{\text{m}}$	$8,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{weber}}{\text{m}}$
d	4 cm	10 cm
s	10 cm	4 cm
α	1,8	?

Le nostre condizioni sono molto più sfavorevoli, ma lo scopo a cui il quadrupolo è destinato è anche molto diverso; si è pertanto cercato di limitare le difficoltà costruttive, pur introducendo certamente effetti di astigmatismo (*).

Con $\alpha = 3$ si ha:

$$n i \leq 300 \text{ Asp.}$$

Per alimentare a tensione relativamente alta:

$$n = 6000 \text{ spire}$$

$$\text{diametro filo: } \phi = 0,25 \text{ mm}$$

$$i \leq 48 \text{ mA.}$$

In fig. 3 è riportato il disegno costruttivo della lente quadrupolare.

8) ALIMENTATORI STABILIZZATI IN CORRENTE.

Occorre che le alimentazioni delle lenti siano stabilizzate sia rispetto alle variazioni di rete che rispetto alle variazioni di resistenza

(*) Prove effettuate con il fascio di elettroni hanno mostrato che gli effetti di astigmatismo superano il massimo sopportabile. E' stato pertanto necessario introdurre una modifica nella lente quadrupolare costruita, essenzialmente aumentando s. Ciò non porta conseguenze per ciò che riguarda il calcolo del sistema ottico.

degli avvolgimenti. La stabilizzazione richiesta può essere calcolata imponendo che, pur variando le distanze focali delle lenti stesse, le caratteristiche del fascio alla bocca del deflettore non escano dai limiti imposti: per ciò risulta sufficiente una stabilizzazione dell'1%. Il dispositivo a corrente costante più semplice è un triodo con resistenza sul catodo; non è facile però ottenere in questo modo correnti dell'ordine di 100-200 mA. Si ricorre allora solitamente a un pentodo montato come in fig. 4a.

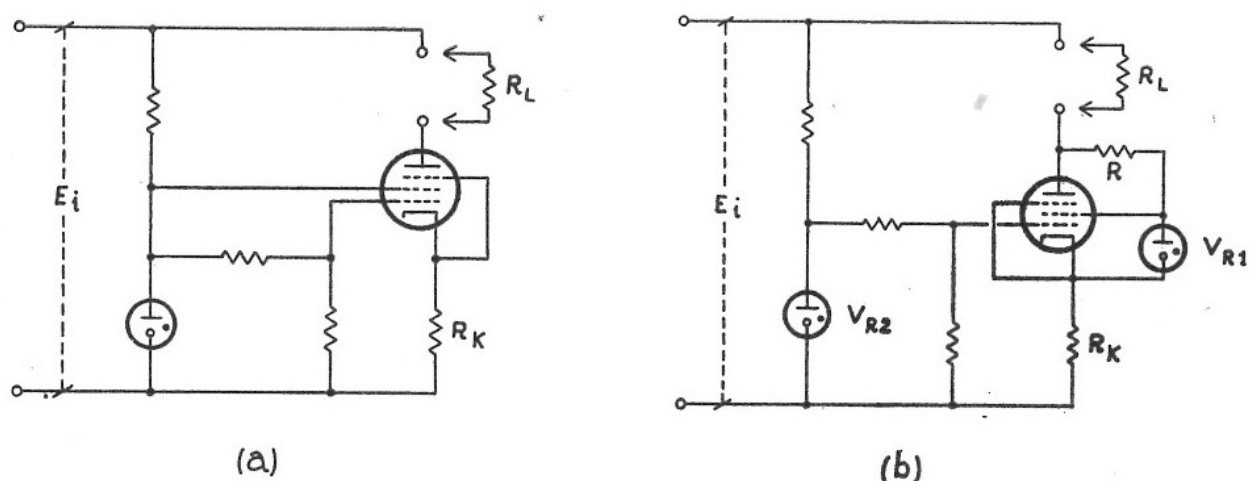


Fig. 4. - Dispositivi a corrente costante:
a) schema normalmente impiegato
b) schema modificato

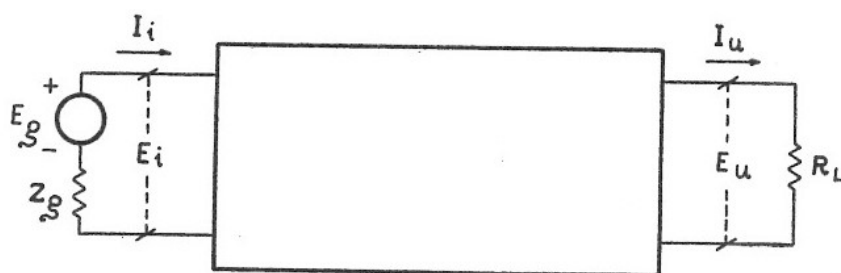


Fig. 5. - Schema di uno stabilizzatore di corrente.

La corrente stabilizzata è, in questo caso, la corrente attraverso R_K , pari alla somma delle correnti di griglia schermo e di placca. Poiché, in genere, il rapporto tra queste correnti varia col tempo la corrente attraverso R_L non risulta sufficientemente stabilizzata. Per ovviare a questo inconveniente abbiamo montato il pentodo diversamente dal solito (fig. 4b).

V_{R1} mantiene il potenziale della g_2 fisso rispetto al catodo e le correnti di V_{R1} e di schermo passano entrambe attraverso R_L .

Se si introduce [HILL W. R.: Proc. Inst. Radio Eng., 33: 785 (1945)] per uno stabilizzatore di corrente generico (fig. 5) le grandezze (in genere

complesse) g_i e g_u , costanti per lo meno in un certo intervallo di variazione di E_i ed E_u ,

$$g_i = \frac{\delta I_u}{\delta E_i} = \frac{i_u}{e_i} ; g_u = - \frac{\delta I_u}{\delta E_u} = - \frac{i_u}{e_u} ,$$

si può scrivere

$$i_u = g_i e_i - g_u e_u .$$

Una variazione e_g dell'alimentazione provoca allora una variazione

$$(5) \quad i_u = \frac{g_i e_g}{g_i Z_g + g_u R_L + 1} ,$$

mentre una variazione del carico ΔR_L produce una variazione di corrente

$$(6) \quad i_u = - \frac{I_u g_u R_L}{g_i Z_g + g_u (R_L + \Delta R_L) + 1} .$$

Per il circuito di fig. 4b, si calcola immediatamente

$$(7) \quad g_i = g_u = \frac{\varrho + R}{[\varrho + (\mu + 1) R_k] R + \varrho R_k} .$$

Per variare I_u si varia la polarizzazione di griglia. Tenendo fisso E_i quando I_u cresce la caduta di potenziale sulla valvola diminuisce e quindi occorre che la corrente in R (e V_{R1}) diminuisca; è necessaria pertanto una certa cura nella messa a punto dell'apparecchio: la corrente in V_{R1} è massima quando I_u è minima e diviene minima (ma sufficiente a tenere acceso il neon) quando I_u è massima. Nei due alimentatori sono montate EL 34: una EL 34 nell'alimentatore 25-60 mA della lente quadrupolare ($R_L = 3,2 \text{ K}\Omega$); due EL 34 in parallelo per l'alimentatore 70-200 mA ($R_L = 2 \text{ K}\Omega$).

Gli schemi completi di relé e motorino per l'accensione e la regolazione a distanza della corrente, sono riportati in fig. 6 e fig. 7.

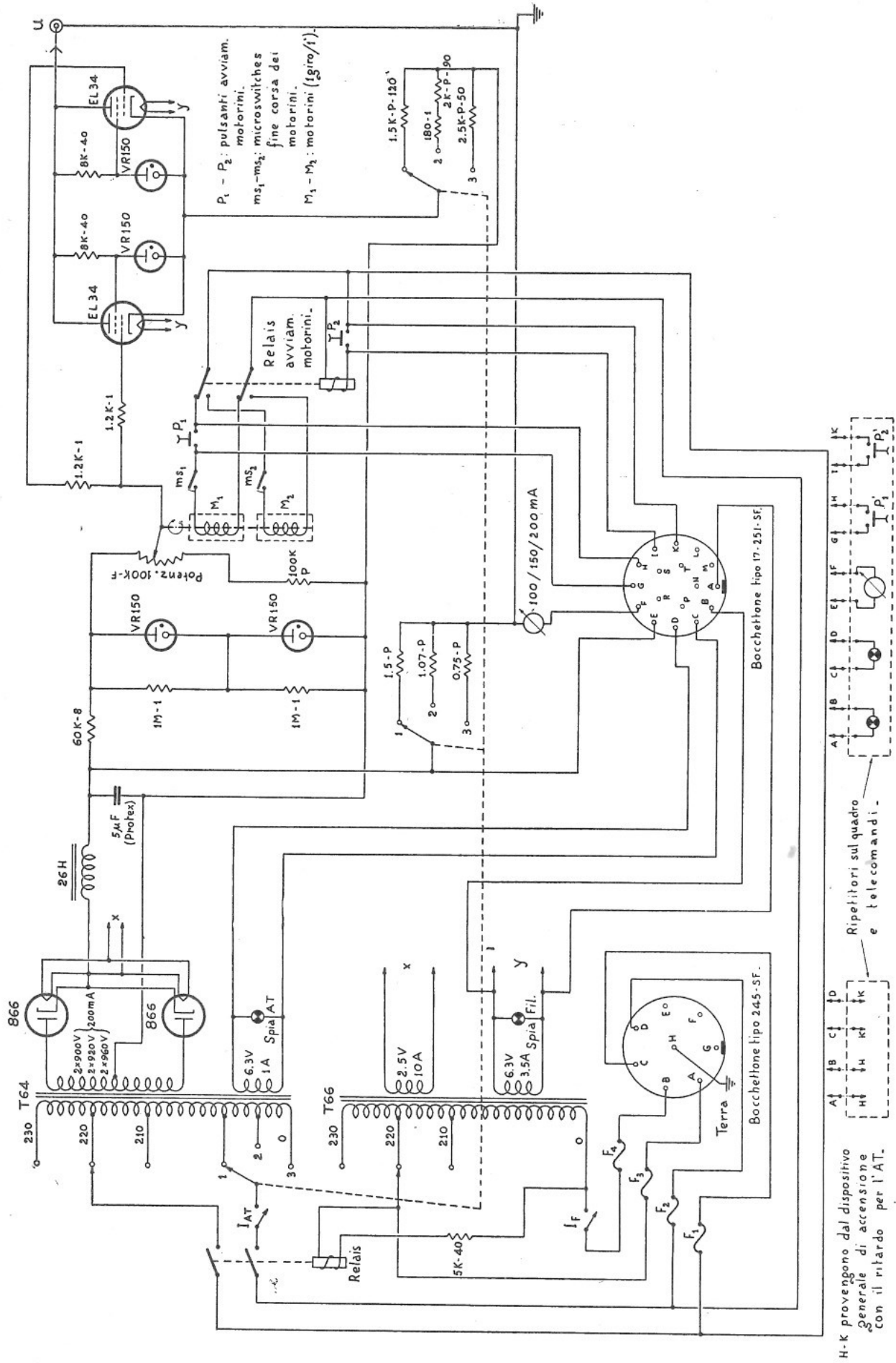


Fig. 6. - Schema completo dell'alimentatore della lente a mantello.

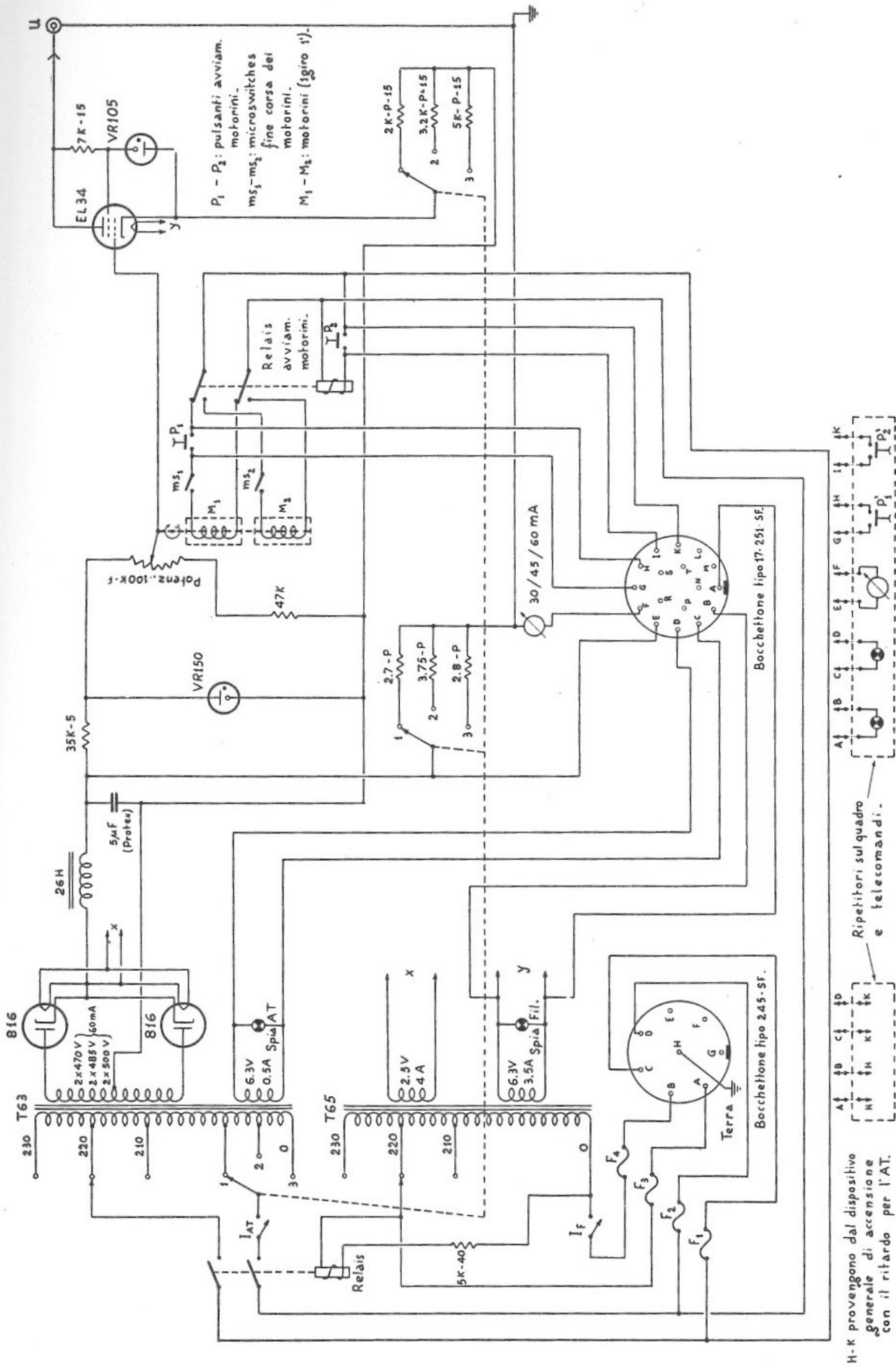


Fig. 7. - Schema completo dell'alimentatore della lente quadrupolare.

Per aumenti di R_L del 20% entrambi gli alimentatori presentano una stabilità migliore o eguale a 0,8%, in buono accordo con le (5), (6) e (7). Le prove di stabilità nel tempo danno risultati ancora migliori.

Vivamente ringrazio il prof. M. AGENO per le discussioni chiarificatrici e gli utili consigli.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Fisica.
