

LNF - 66/15  
21 Marzo 1966

B. Borgia, P. Joos e M. Grilli: STUDIO DELLE PROPRIETA'  
OTTICHE DI UN MAGNETE A FOCHEGGIAMENTO FORTE  
(TIPO SACERDOTI-TAU). -

(Nota interna: n. 314)

Nota Interna: n° 314  
21 Marzo 1966

B. Borgia<sup>(x)</sup>, P. Joos<sup>(+)</sup> e M. Grilli: STUDIO DELLE PROPRIETA' OTTICHE DI UN MAGNETE A FOCHEGGIAMENTO FORTE, (TIPO SACERDOTI-TAU). -

INTRODUZIONE. -

In connessione con la esperienza di fotoproduzione dei  $K^+$  da idrogeno<sup>(6)</sup> è stato costruito un altro esemplare del magnete "Tipo Tau"<sup>(1)</sup>.

Su questo magnete sono state fatte misure abbastanza estese delle proprietà ottiche e magnetiche. Precisamente le misure sono:

- 1) - Misure magnetiche (curve di magnetizzazione, misura dell'indice di campo  $n$ ; ecc.)
- 2) - Determinazione dei fuochi e delle traiettorie con il metodo del filo e con il metodo delle  $\alpha$ .

Riportiamo nel seguito i risultati ottenuti premettendo una breve esposizione dei metodi seguiti per la misura.

In Tab. I e II sono riassunti i principali parametri costruttivi ottici del magnete e in Tab. III gli elementi di matrice, con i quali

---

(x) - Istituto di Fisica dell'Università di Roma.

(+) - Desy, Hamburg.

$$\alpha R = 40 \frac{\pi}{180} 250 = 175 \text{ cm}$$

2.

$$\begin{array}{r} 31 \\ 56 \\ \hline 262 \end{array}$$

TABELLA I - Principali dati tecnici e costruttivi del magnete

Materiale usato per tutta la struttura in ferro	C 10 UNI (Ditta SIAC, Genova)
Altezza totale del traferro in corrispondenza della traiettoria principale	$h = 2z_0 = 90 \text{ mm}$
Avvolgimento:	2 bobine (una per polo) in serie. Ciascuna bobina è realizzata con conduttore 12 x 12 mm di rame con foro tondo di 7 mm di diametro per il raffreddamento.
Numero di spire per polo	$N = 24$
Resistenza dell'avvolgimento	$R = 3,9 \times 10^{-2} \text{ ohm a } 20^\circ$
Raffreddamento ad acqua in circuito aperto	Pressione $H_2O \sim 15 \text{ Atm}$ ; portata $\sim 1,2 \text{ l/sec}$
Corrente di eccitazione max	$I \approx 2500 \text{ A}$
Campo max	$B \approx 30 \text{ KGauss}$
Peso complessivo	$P \approx 19 \text{ tonn}$
Potenza dissipata max	$\sim 300 \text{ KW}$
Angolo di deflessione	$40^\circ (20^\circ \text{ per ciascuna lente})$
Raggio di curvatura	$R_0 = 250 \text{ cm}$

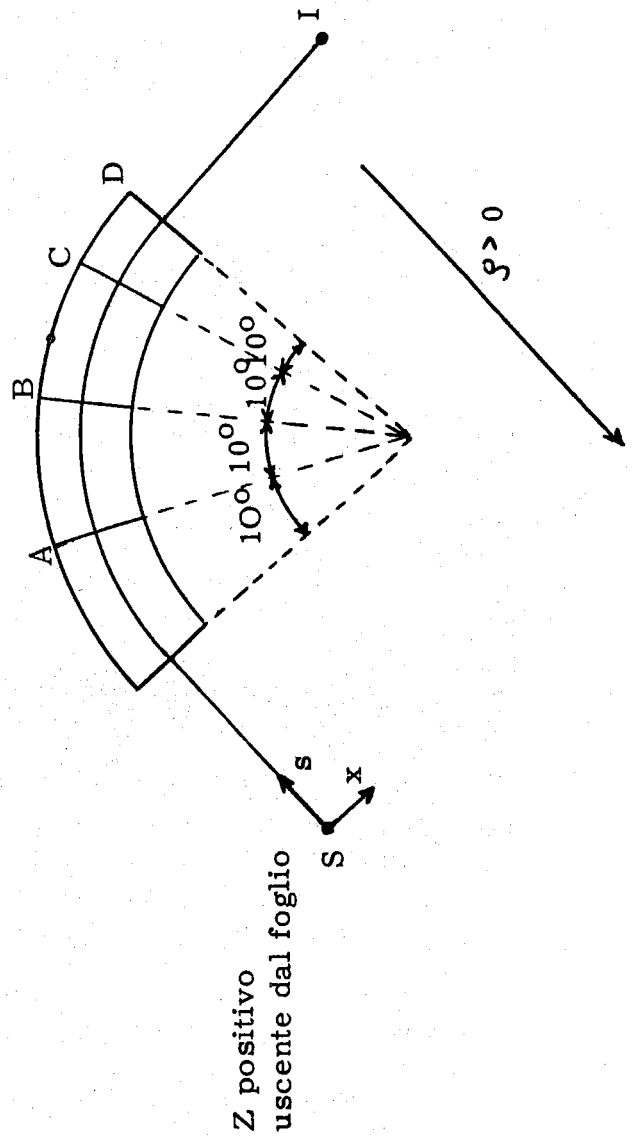
TABELLA II - Parametri ottici  
(calcolati in approssimazione lineare)

Distanza tra l'oggetto e la faccia d'entrata	$S_0 = 31 \text{ cm}$
Distanza tra la faccia di uscita e l'immagine	$d = 51,6 \text{ cm}$
Distanza totale oggetto - immagine	$S = 261 \text{ cm}$
Ingrandimento lineare nel piano orizzontale	$M_H = 0,2$
Ingrandimento lineare nel piano verticale	$M_V = 6$
Dispersione	$D = 0,03 \text{ cm}^{-1}$

TABELLA III

	$H_{11}$	$H_{12}$	$H_{13}$	$H_{21}$	$H_{22}$	$H_{23}$	$V_{11}$	$V_{12}$	$V_{21}$	$V_{22}$
AS	1.388	0.922	-0.040	1.887	1.974	-1.966	0.523	0.588	-1.699	0
BS	2.855	2.251	-0.193	5.240	4.481	-0.546	-0.174	0.439	-1.970	-0.785
CS	4.039	3.321	-0.384	-0.102	0.164	-0.283	-1.177	0.203	-2.866	-0.357
DS	2.775	2.379	-0.415	-5.382	-4.253	0.152	-2.939	0.092	-5.606	-0.166
IS	-0.235	0	-0.330	-5.382	-4.253	0.152	-5.934	0	-5.606	-0.166

N. B.: Questi e. di m. valgono nel seguente sistema di riferimento (cioè misurando le x positive verso il centro di curvatura). Le unità di misura da adoperare nel calcolo sono: lunghezze in metri, angoli in radianti,  $\Delta p/p$  in frazioni (e non in %).



4.

si può calcolare l'ottica del presente magnete in approssimazione di Gauss<sup>(2)</sup>. Il sistema di coordinate usato per la definizione delle varie posizioni nel magnete e le convenzioni usate per i segni delle coordinate sono riportati in fig. 1.

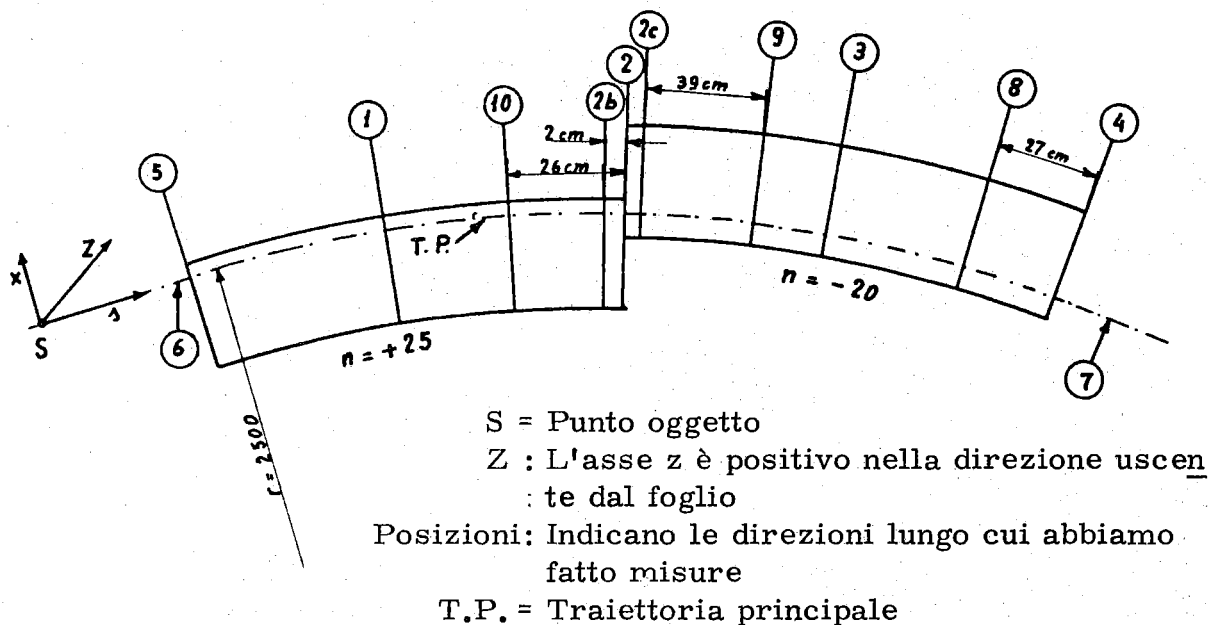


FIG. 1 - Definizione del sistema di coordinate usato e posizioni di misura.

## I - MISURE MAGNETICHE<sup>(x)</sup> . -

Abbiamo misurato il campo B in vari punti lungo la traiettoria principale ( $x = 0$ ) e lungo direzioni radiali, nelle posizioni specificate dalla fig. 1, per diverse correnti di eccitazione ( $I_M$ ) del magnete, per ottenere una conoscenza sufficientemente dettagliata dell'indice di campo  $n$  e del campo disperso ai bordi.

La tecnica adoperata per misurare il campo magnetico B, è la stessa descritta in bibliografia (1).

(x) - Ad una parte di queste misure ha collaborato la Dr. M. I. Montesanti, alla cui tesi<sup>(3)</sup> rimandiamo per i molti dettagli su cui sorvoliamo in questa nota per quanto riguarda le "misure magnetiche".

Questo metodo è illustrato dal diagramma a blocchi di fig. 2; si risale a B da misure di flusso attraverso una bobina<sup>(x)</sup> (flussometro di Dicke<sup>(4)</sup> n. M08), la cui costante K è stata misurata con la tecnica delle risonanze nucleari (v. bibl. (3), pag. 54).

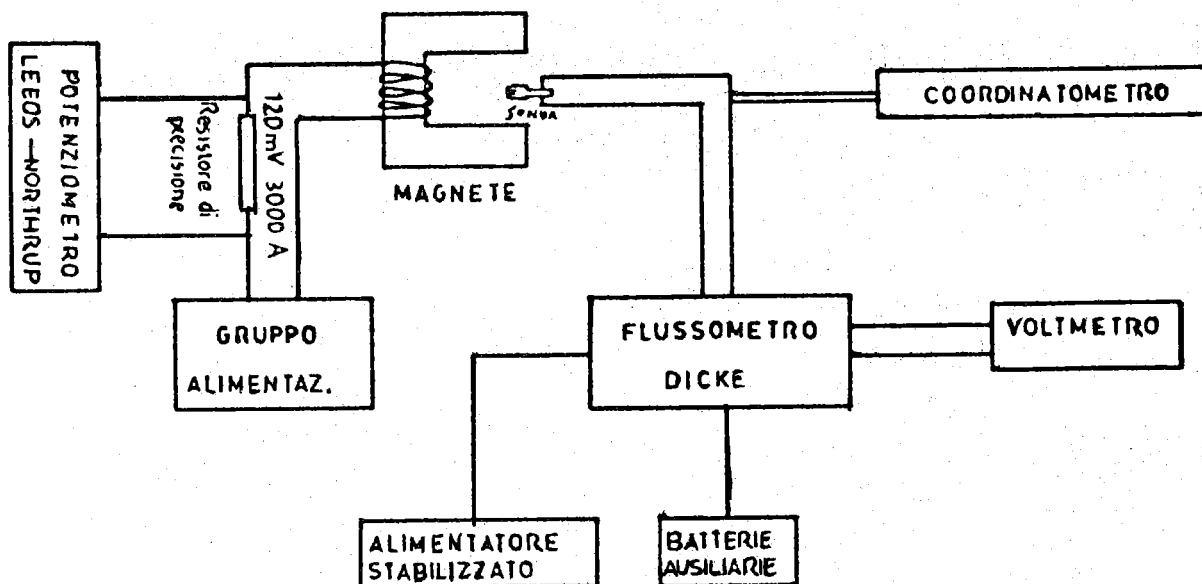


FIG. 2 - Schema a blocchi del dispositivo usato per le misure di campo.

I valori di K così trovati sono, nelle diverse condizioni usate in misura (per il f. s. del voltmetro del flussometro e sensibilità di questo):

S = sensibilità fluss.	f. s. voltmetro	K(in G/V)	Note
$5 \times 10^3$	15 V	246.6	Media di 5 determinaz.
	30	246.0	Media di 3 determinaz.
$10^4$	15	489.4	Media di 3 determinaz.
	30	486.3	Media di 2 determinaz.

(x) - Le caratteristiche di questa bobina sono:

area:  $11.654 \text{ cm}^2$ ; N. Spire: 52;  
 Diametro (esterno) = 5.34 mm; Resistenza elettrica (totale) =  $2.01 \Omega$ .

La misura di B, quindi, si riduce alla lettura di una tensione V (al voltmetro del flussometro), da cui

$$B = KV$$

K in Gauss/volt  
B in Gauss  
V in Volt

La valutazione dell'errore che con simili misure si commette nella misura di B è sintetizzata in Tab. IV.

TABELLA IV - Valutazioni errori nella misura di B

Grandezza o operazione	Errore	Note
$\frac{\Delta K}{K}$	0.5%	Errore valutato in base alla dispersione delle misure di taratura di K con il metodo delle risonanze nucleari.
$\frac{\Delta V}{V}$	0.3%	Voltmetro CGS, classe 0.2 (questa precisione nominale è stata controllata (v. (3), pagg. 74-75). Sensibilità del voltmetro: 0.2 div/V. Con un errore di lettura di 0.2 div, si avrebbe nel nostro caso ( $V \sim 20$ volts) $(\Delta V/V)_{\text{lettura}} \sim 0.2\%$ . Il $\Delta V/V$ riportato include l'incertezza sul valore assoluto.
Allineamenti, posizionamento bobina	< 0.5%	Errore derivanti da disallineamenti del coordinatometro, ecc.
$I_M$	0.5-1%	$I_M$ è letta con ponte (tipo Leeds-Northrup) ai capi di uno shunt di precisione.

Se ne conclude che la precisione di misura di B è dell'ordine  $\sim 1\%$ . La ripetibilità delle misure, come risulta dal confronto fra i valori di B misurati rimettendosi in uno stesso punto in tempi diversi, risulta migliore dell'1-2%.

La corrente di eccitazione del magnete ( $I_M$ ) era misurata (v. fig. 2) leggendo con un "ponte" (tipo Leeds-Northrup) la caduta di po-

tenziale ai capi di uno shunt di precisione. Noi valutiamo che l'errore totale in  $I_M$  non superi mai lo  $0,5 \pm 1\%$ .

### I.1. - Curve di magnetizzazione: B vs $I_M$ .

In fig. 3, grafichiamo i risultati relativi alle due posizioni centrali 1 e 3.

Le principali caratteristiche messe in luce da queste misure sono:

I.1.1. - Si ha una relazione lineare fra B e  $I_M$  (a parte effetti di isteresi, studiati in dettaglio in bibl. (3) e che si fanno sentire per  $I_M \leq 50A$ ), sino a  $I_M = 1500 \pm 1600 A$ . Cioè si comincia ad avere saturazione per  $B \sim 9 KG$ , cui corrisponda un  $p \sim 700 MeV/c$ .

Le due curve di magnetizzazione, relative alle due posizioni "centrali" 1 e 3, sono coincidenti (entro la precisione delle nostre misure), almeno nella zona di linearità.

La coincidenza di B in 1 e 3 è stata controllata anche con misure apposite, in cui, ad una  $I_M$  fissa, si misurava B successivamente nelle due posizioni. La risposta di tali misure, a  $I_M = 450 A$  e  $1250 A$ , dà  $B_1 = B_3$  entro circa l'1%.

Per vedere con più dettaglio, il comportamento del magnete alla saturazione abbiamo fatto misure anche fuori della traiettoria principale e cioè abbiamo misurato B vs  $I_M$  in varie posizioni (1, 2, 4, 5) per  $x = \pm 5 cm$ , oltre che per  $x = 0$ . In fig. 4 si riportano, a titolo di esempio i risultati per la pos. 3. Ciò che può concludersi da queste misure è che la saturazione ha luogo non per uno stesso B nelle tre posizioni, bensì per una unica  $I_M$ . Ciò si spiega pensando che non saturino le scarpe polari, bensì prima le basi di appoggio di queste sul C del magnete.

I.1.2. - Dalle misure di B vs  $I_M$ , per posizioni ai bordi delle due lenti magnetiche, sempre per  $x = 0$  e piano mediano ( $z = 0$ ), insieme con quelli relativi a posizioni più centrali (quali 1, 3, 9, 10) si può concludere, (entro la precisione delle misure sopradiscussa), che escludendo circa 5 cm vicino ai due bordi di ingresso e uscita si può, almeno per la traiettoria principale, assumere un'unica curva di magnetizzazione, intermedia tra quelle relative alle posizioni 1 e 3 (v. fig. 3).

### I.2. - Misura dell'indice di campo n.

Per misurare l'indice di campo n, definito (in valore e segno) come:



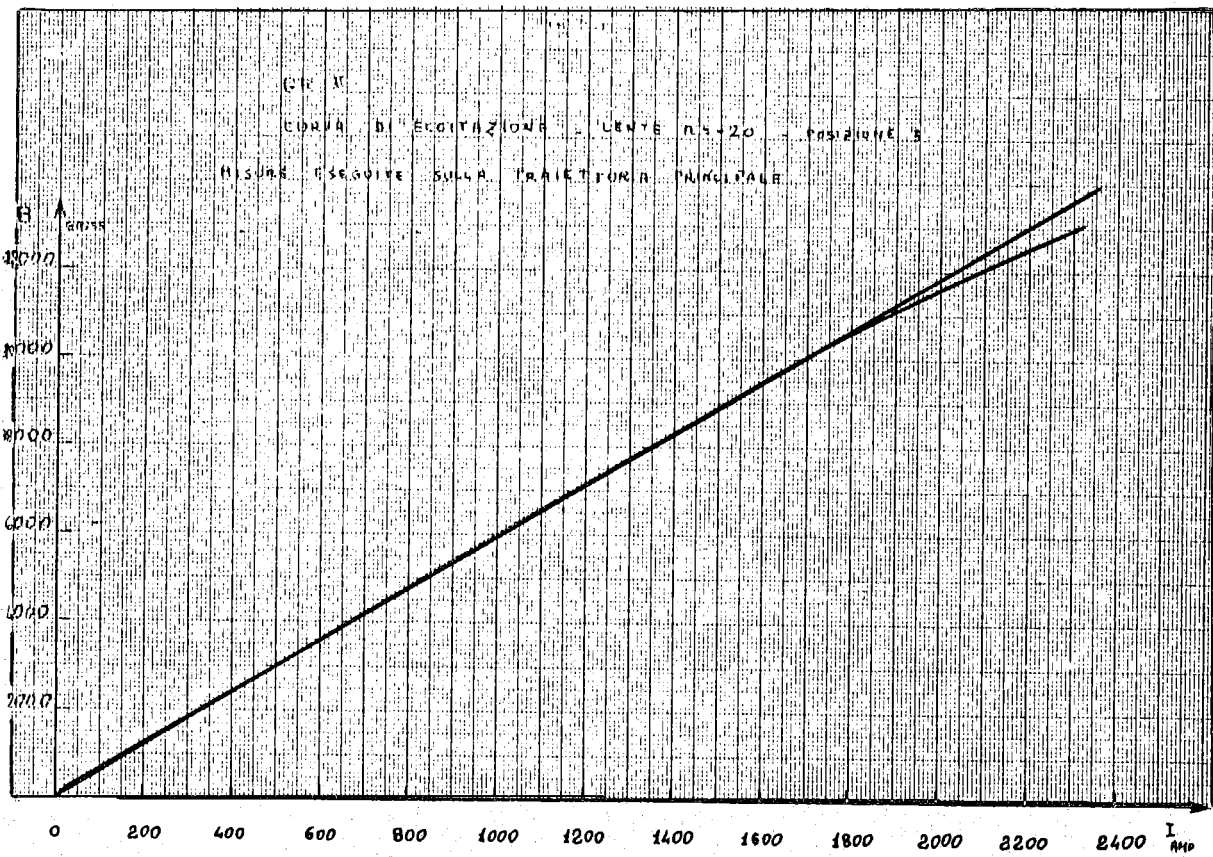
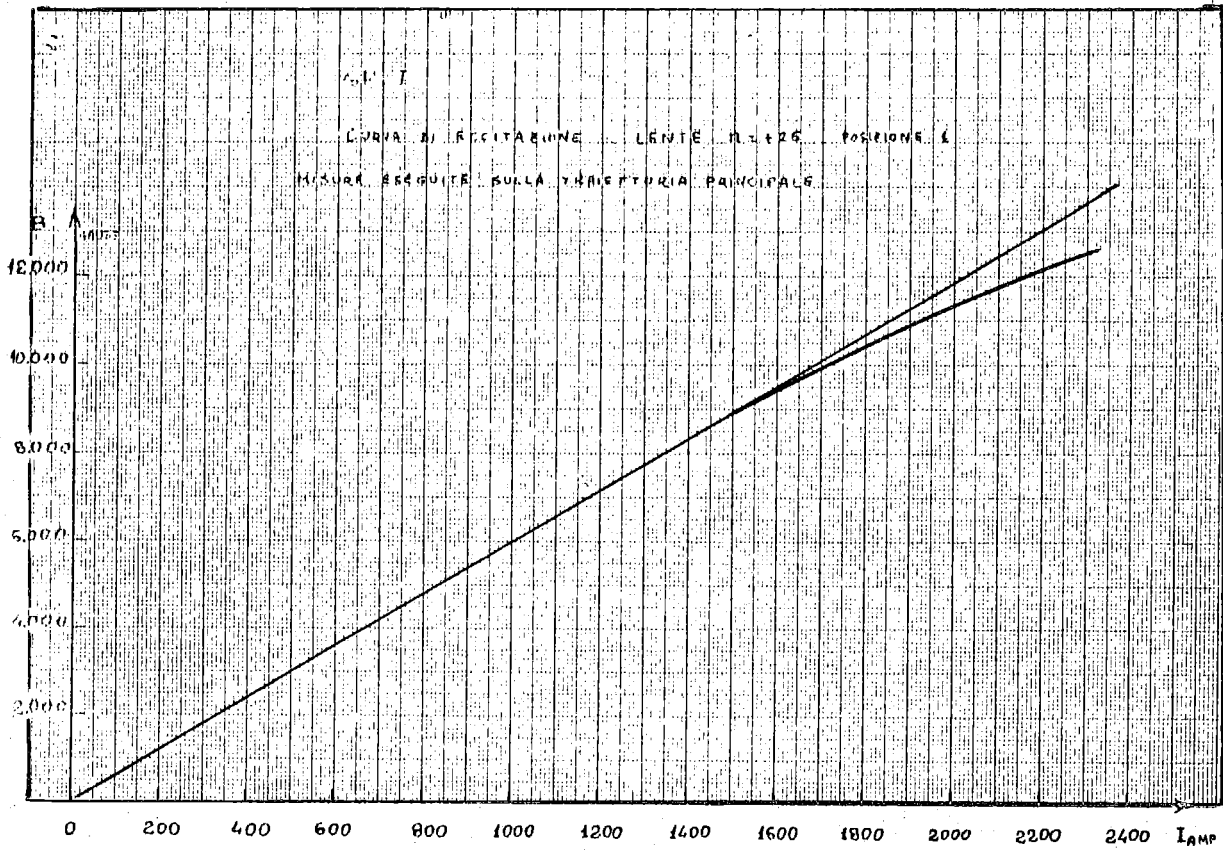


FIG. 3 - Curve di magnetizzazione ( $B$  vs  $I_M$ ), per le posizioni 1 e 3.

$R_0$  = raggio di curvatura = 250 cm

$$n = \frac{R_0}{x} \frac{B_0 - B}{B_0} \quad B = \text{campo nel punto di coordinata } (x, z, s) = (x, 0, s)$$

$B_0$  = campo nel punto di coordinata = (0; 0, S)

abbiamo misurato il campo  $B$  in punti distanziati di 1 cm situati lungo una prefissata direzione radiale, in corrispondenza delle varie posizioni (v. fig. 1).

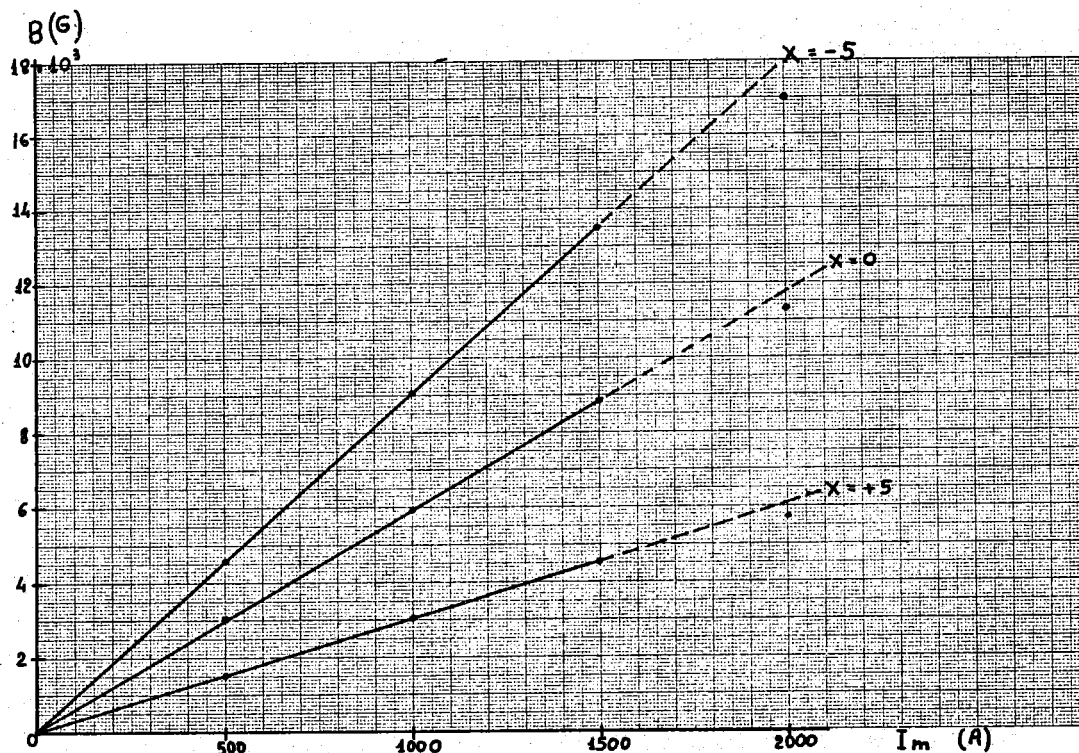


FIG. 4 - Curve di magnetizzazione ( $B$  vs  $I_M$ ), per la posizione 3, fuori dalla traiettoria principale ( $x = \pm 5$  cm).

In Tab. V abbiamo riportato per varie posizioni e varie correnti  $I_M$  i valori di  $n_0$ . Il calcolo di  $n$  è stato eseguito tenendo conto dei valori misurati di  $B/B_0$  entro  $x = \pm 5$  cm. In questo intervallo di  $x$  in tutti gli azimuth, esclusi quelli di transizione (2b, 2c), l'indice  $n$  è certamente costante. A titolo d'esempio, riportiamo (v. fig. 5) e le misure relative alle posizioni centrali 1 e 3, per  $I_M = 984$  A.

Per quanto riguarda la precisione ottenuta nella misura di  $n$  si può dire quanto segue.

Nella misura di  $n$  hanno poco peso eventuali errori anche sistematici connessi nella misura assoluta di  $B$ , poichè in bibl. (1) compare il rapporto  $B/B_0$ .

L'errore che si fa nella coordinata  $x$  è di due tipi: l'uno dovuto a disallineamento dell'asse  $x$  del coordinatometro rispetto alla direzione radiale prescelta e l'altro dovuto ad un errore sulla posizione del punto  $(0, 0, S)$ .

TABELLA V

$I_M(A)$	292	375	492	737	984	1476	1968	Media
Posizione								
1	25.18		25.23	25.20	25.43	25.40	25.18	I <sup>a</sup> lente:
10		25.32					25.13	25.26±0.08
9		-19.07					-18.95	II <sup>a</sup> lente:
3			-20.0		-20.25	-20.33	-19.98	
8		-20.10					-19.46	-19.8±0.2

Per quanto riguarda il suddetto disallineamento si ha, che si dovrebbe arrivare ad un disallineamento di  $5^\circ$  per avere una riduzione percentuale di  $n$  dell'1%. Noi valutiamo che nelle nostre misure il disallineamento era inferiore a 2-3 mm sui 200 mm di spostamento del coordinatometro.

La precisione con la quale, infine, si è determinato il punto  $(0, 0, S)$  è stata controllata, a posteriori, graficando i valori di  $B/B_0$  vs  $(1 - nx/R_0)$  nella zona di  $x/R_0$  in cui presumibilmente  $n$  è costante. Estrapolando i valori misurati per  $B/B_0$  nella zona suddetta a  $(1 - nx/R_0) = 0$  si riesce a valutare, un eventuale errore nel posizionamento del punto  $(0, 0, S)$  (una volta ammesso un certo valore per  $n$ ). Da questo controllo è risultato che il posizionamento del punto  $(0, 0, S)$  era preciso entro 1-2 mm.

In conclusione riteniamo che i valori di  $n$  per ciascuna posizione, da noi dati in tabella V, siano precisi entro  $\pm 2\%$ .

I principali risultati relativi all'indice  $n$  sono, in breve, i seguenti:

I. 2. 1. - I valori di  $n$  relativi alle due lenti, ottenuti come media esclu-

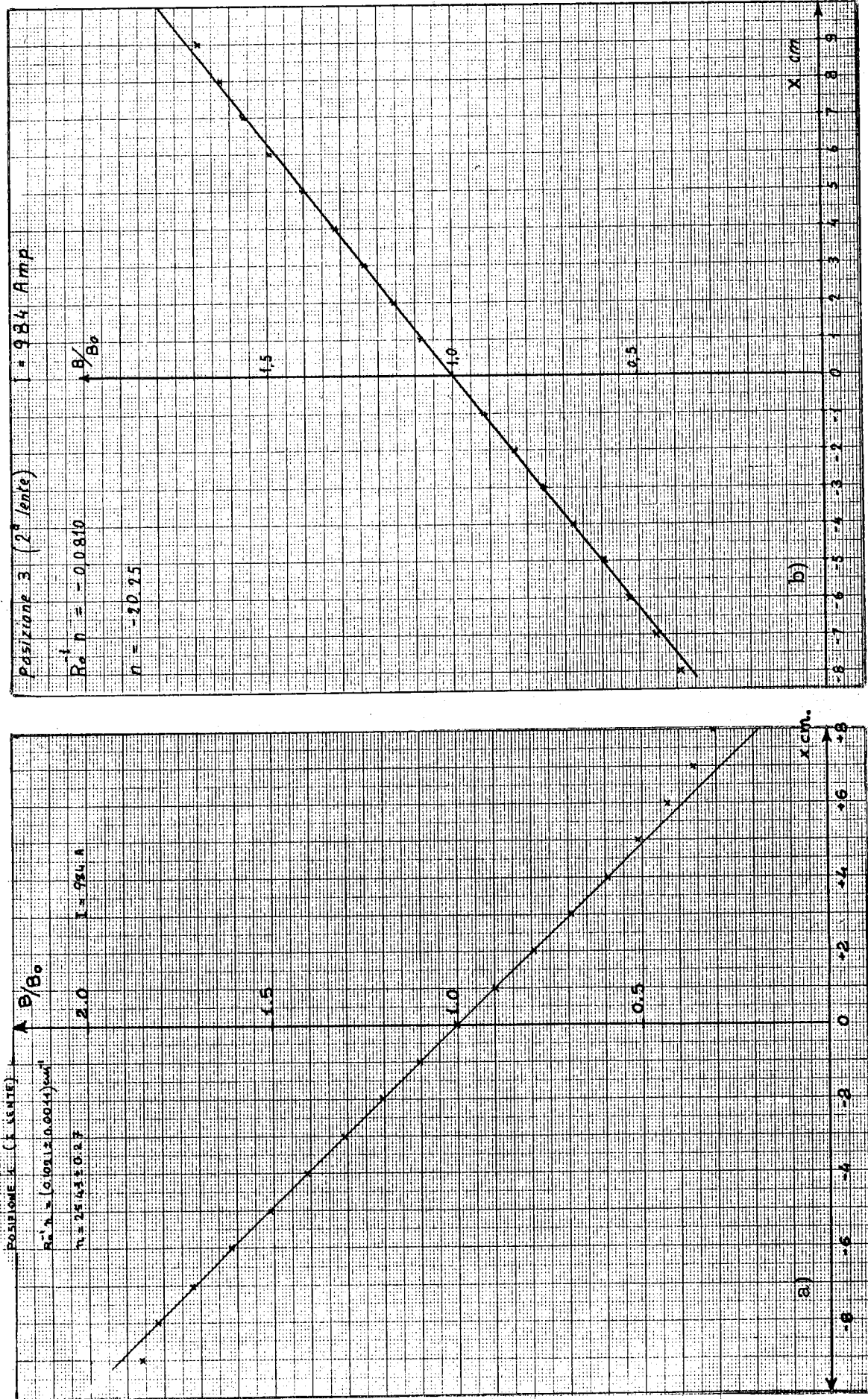


FIG. 5 - Indice di campo  $n$  nelle posizioni 1 e 3.

12.

dendo i valori relativi alle posizioni estreme (4, 5) e di transizione (2, 2a, 2b) sono rispettivamente:

I<sup>a</sup> lente:

$$n = + 25.26 \pm 0.08 \text{ (deviazione standard)}$$

II<sup>a</sup> lente:

$$n = - 19.8 \pm 0.2 \text{ (deviazione standard)}$$

Le differenze fra i valori medi misurati e quelli di progetto sono inferiori all'1%.

I. 2. 2. - Nelle posizioni di bordo (posizione 2b, 2c) non si può parlare di zone a  $n$  costante. A titolo di esempio, si riportano in fig. 6 le misure relative a  $I_M = 492 \text{ A}$  per le suddette posizioni. Questa situazione si ri produce alle altre correnti misurate.

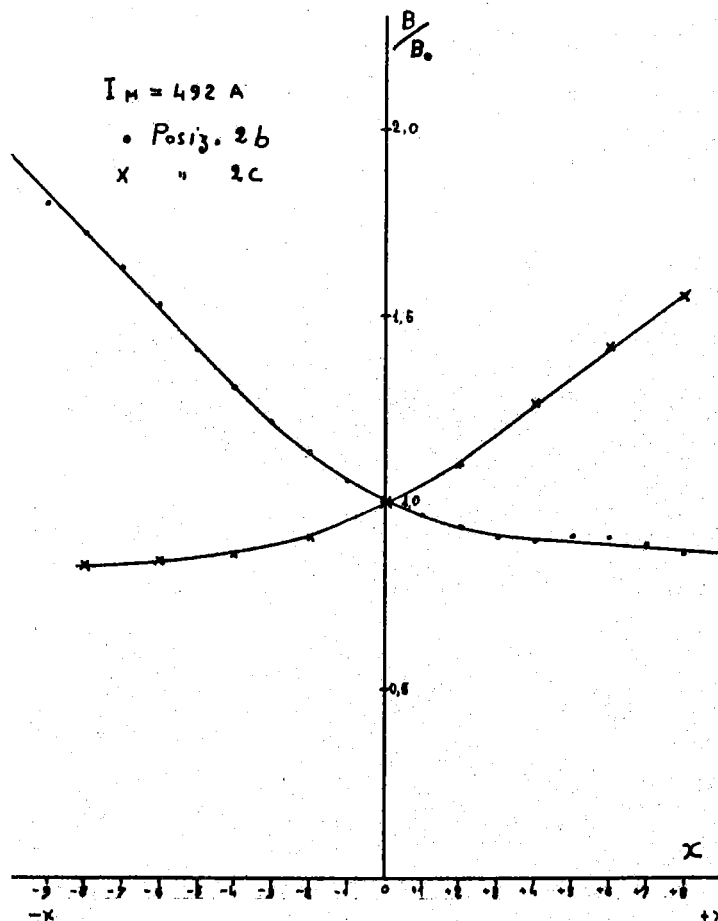


FIG. 6 - Indice di campo  $n$  nelle posizioni 2b, 2c.

I. 2. 3. - In corrispondenza di ciascuna posizione radiale abbiamo convenuto di dire che si ha costanza di  $n$  quando questo differisce dal valore misurato in corrispondenza della T.P. ( $x = 0$ ) inferiore a  $\pm 0.5$ . Ciò corrisponde, nell'esempio riportato in fig. 5a, ad una zona di costanza in  $x$  da  $-8$  a  $+5$  cm.

In fig. 7 riportiamo per alcune posizioni e a varie  $I_M$  la zona di costanza di  $n$ .

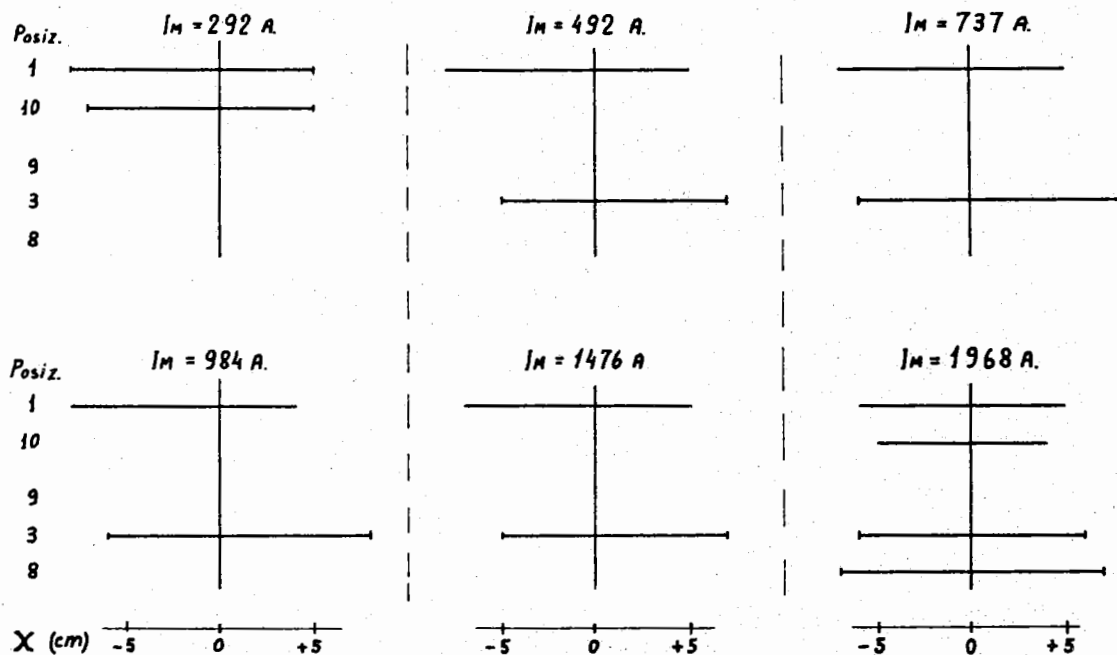


FIG. 7 - Zone del magnete a  $n$  costante, per varie  $I_M$ .

Da questa figura si conclude, fra l'altro, che per  $x = \pm 5$  cm si ha costanza di  $n$  per tutte le correnti misurate.

I. 3. - Campo disperso. -

Le misure del campo disperso, nelle posizioni 6 e 7, sono riportate nella fig. 8.

Da queste misure si deduce che la "lunghezza magnetica" ( $l_m$ ) è maggiore di circa 5 cm rispetto alla lunghezza geometrica (1) del magnete. Il calcolo di  $l_m$ , lungo la T.P., dà<sup>(3)</sup>  $l_m = 179.4$  cm contro  $l = 174.3$  cm.

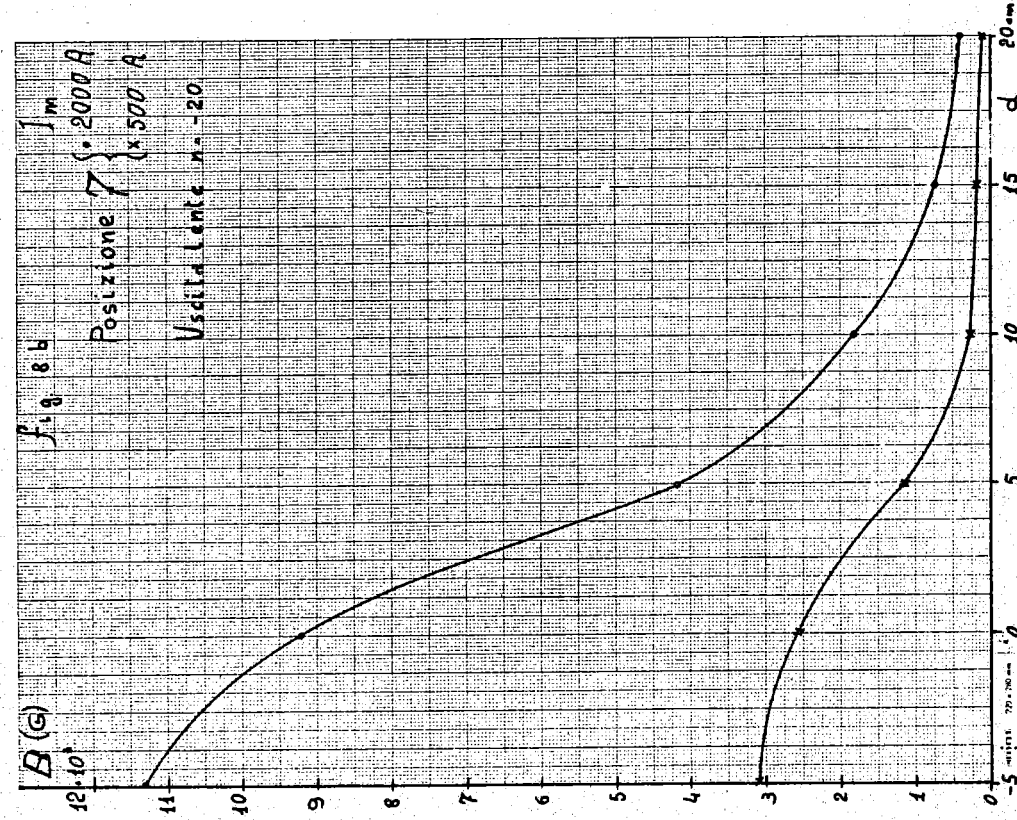
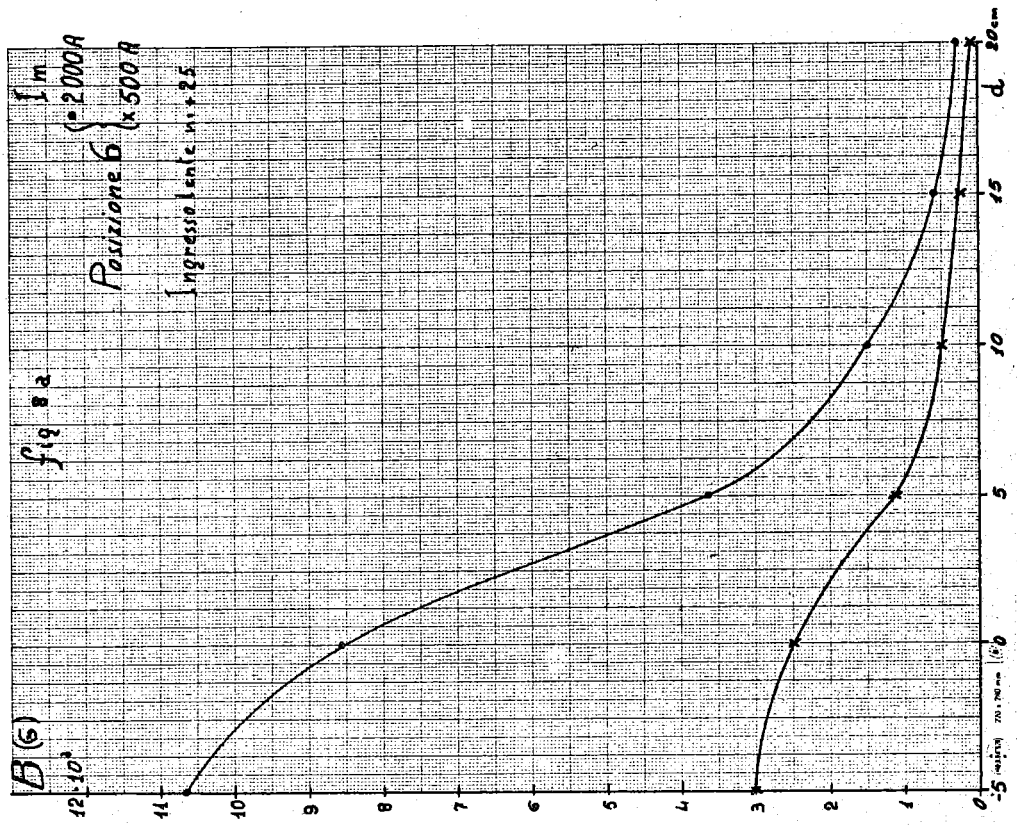


FIG. 8 - Campo disperso (fringing)

## II - MISURE CON IL METODO DEL FILO E DELLE $\alpha$ -

In questa seconda parte riportiamo i risultati ottenuti nei riguardi di alcuni parametri del magnete (momento centrale, dispersione, fuochi, ecc.) con i metodi seguenti:

- metodo del filo
- metodo delle  $\alpha$  .

### II.1. - Metodo del filo. -

Nel metodo del filo si sfrutta, come è noto, l'analogia fra le configurazioni di equilibrio di un filo percorso da corrente, sottoposto ad una tensione, in un campo magnetico e la traiettoria nello stesso campo magnetico di una particella carica con un certo impulso costante<sup>(5)</sup>. I limiti di questa analogia, sono discussi in (5), e negli articoli ivi citati.

Questa analogia si sintetizza nella relazione fra la corrente (i) nel filo, la tensione T cui è sottoposto il filo e l'impulso p corrispondente:

$$P = 2.94 \cdot 10^3 \frac{T}{i}$$

T in g  
i in mA  
p in MeV/c

Nel nostro caso  $T = (l_1/l_2)P$ , ove  $l_1$  ed  $l_2$  sono i due bracci della bilancia portaoggetto (v. fig. 9) e P = peso del piattello della bilancia ( $20.010 \pm \pm 0.005$  g) + peso aggiunto sulla bilancia. Il filo da noi usato nelle misure era di tungsteno, con diametro  $\phi = 40 \mu$ .

La corrente i è fornita da uno stabilizzatore di corrente ( $i_{\max} = 300$  mA, V = 200 Volts).

II.1.1. - Descrizione dell'apparato sperimentale<sup>(x)</sup>. - Un disegno schematico d'insieme di questo apparato è riportato in fig. 10.

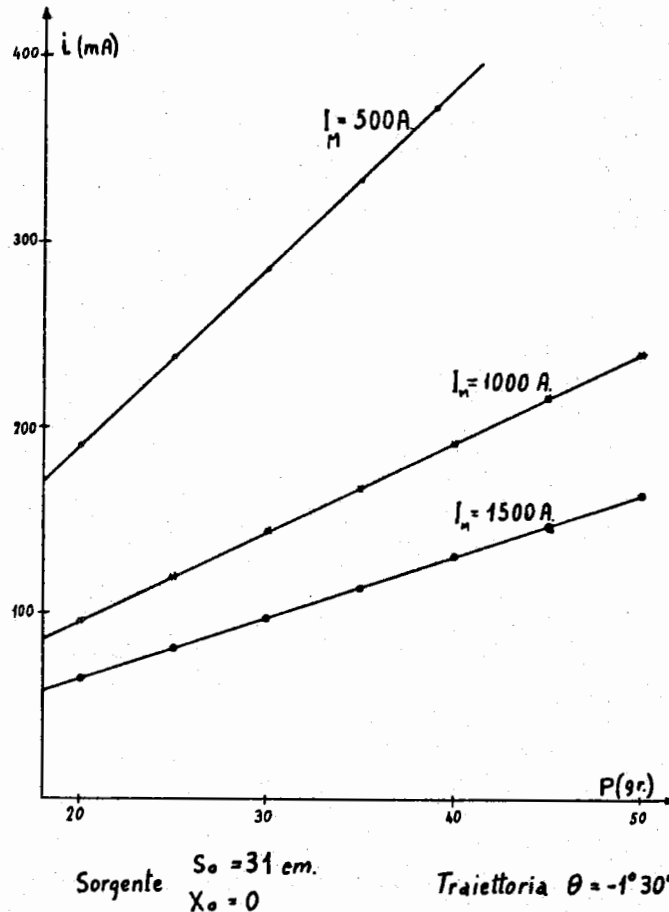
Il punto oggetto da cui parte il filo è costituito da un punto dell'asse di rotazione del goniometro su cui è posta la bilancia.

---

(x) - Il progetto e la realizzazione della parte meccanica è dovuto ai Dr. G. Finocchiaro e P. Kusstascher.



Il filo quindi passa in mezzo ad una fenditura verticale nel seguito indicata come fenditura di direzione, ottenuta con due laminette di argento. La posizione della fenditura definisce l'angolo di emergenza del filo alla sorgente, essendo solidale con il cerchio graduato. Infatti è possibile ruotare il cerchio graduato mentre l'indice del goniometro rimane fisso.



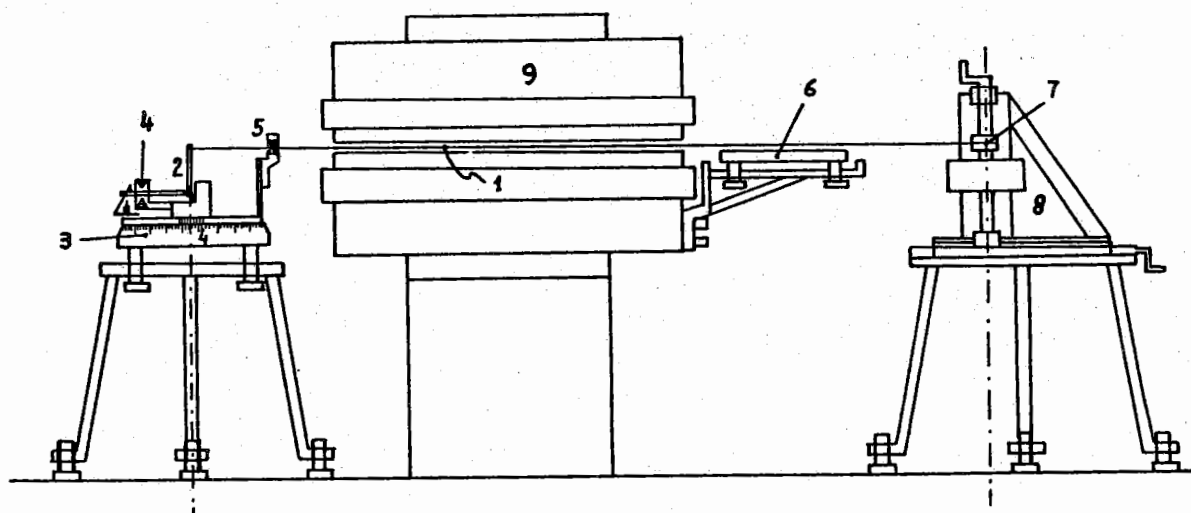
**FIG. 9** - Controlli fatti sulle misure con la tecnica del filo (v. testo):  
 ( $i$  = corrente nel filo,  $P$  = tensione del filo,  $I_M$  = corrente di eccitazione del magnete).

All'altra estremità il filo è avvolto su un rocchetto che costituisce il secondo vincolo.

Il rocchetto può essere ruotato nei due sensi da un motore asservibile ad un comando opportuno, con il che si varia la lunghezza totale del filo<sup>(x)</sup>.

(x) - E' stato necessario inserire il filo in una fenditura orizzontale posta all'ingresso del magnete, altrimenti si ha instabilità verticale per certe configurazioni.

All'uscita del magnete è posto un piano opportunamente livellato per la rivelazione della traiettoria, in uscita dal magnete. Tale operazione viene eseguita ricalcando su un foglio di carta lucida steso sul piano suddetto l'ombra del filo ottenuta mediante un proiettore a fascio parallelo.



- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1 | filo teso  | 6 | piano per rilevazione delle traiettorie                |
| 2 | bilanciere   | 7 | rocchetto avvolgitore                                  |
| 3 | goniometro   | 8 | crociera per spostamenti tridimensionali del rocchetto |
| 4 | contatti elettrici per l'equilibrio della bilancia | 9 | magnete  |
| 5 | fenditura di direzione                             |   |  |

FIG. 10 - Disposizione d'insieme nella visuale con la tecnica del filo.

La posizione del punto sorgente e del punto finale della traiettoria rappresentata dal filo regolabili nelle tre direzioni ( $x, z, s$ ; v. fig. 1) con movimenti meccanici dei supporti. In tal modo è possibile far giacere il filo nel piano mediano<sup>(1)</sup> del magnete, e assegnare valori qualsivoglia al le estremità della traiettoria.

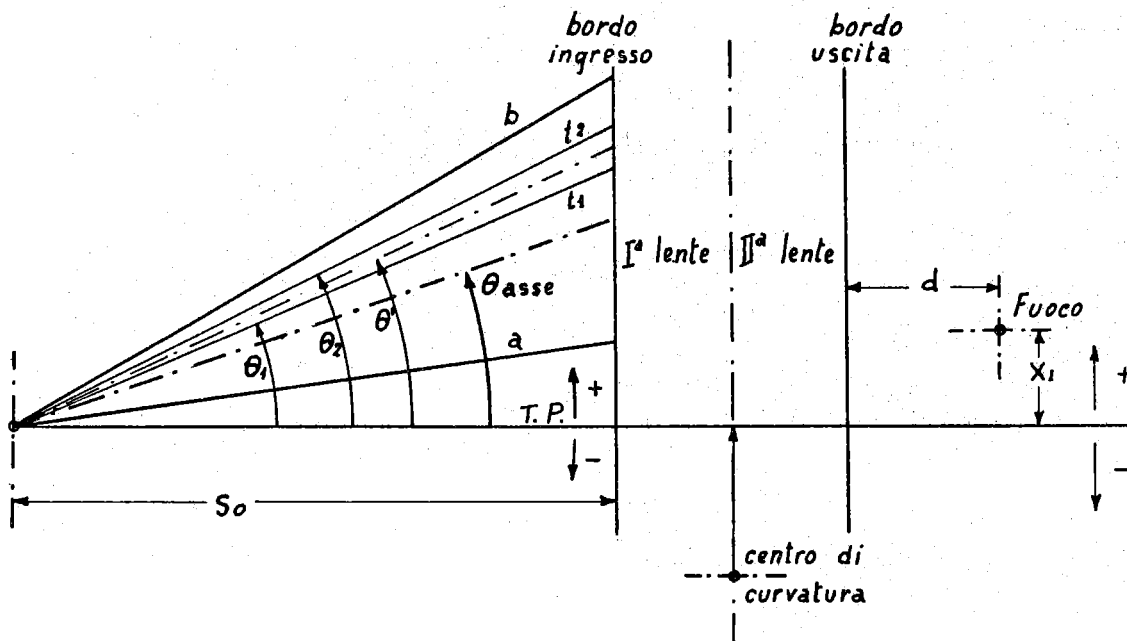
La condizione di equilibrio del filo si ottiene variando i due parametri disponibili (lunghezza del filo, angolo di emergenza). Ciò non è fatto normalmente, bensì mediante servomeccanismi<sup>(1)</sup>, comandati dal la coppia di contatti elettrici posti in corrispondenza della bilancia e del la fenditura di direzione (v. fig. 9). A queste coppie di contatti elettrici so no connesse delle lampadine spia, che segnalano l'avvenuto equilibrio.

Con il metodo del filo si è proceduto essenzialmente a:

a) - Ricerca dell'immagine della sorgente.

Fissata una posizione ( $s_0, x_0, z_0$ ) per il punto sorgente e una  $I_M$ , si cercano le traiettorie di equilibrio corrispondenti ad una data

coppia (i, T), cioè ad un momento definito p, per diversi angoli di ingresso nel magnete (v. fig. 11).



$t_1; t_2$ : due traiettorie generiche comprese nel fascetto definito dalle traiettorie limiti

$$\theta' = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

**FIG. 11** - Definizione delle coordinate della sorgente, del fuoco, dell'angolo di ingresso e di angolo di limite (v. testo):

a e b: traiettorie limiti

$\theta_1(2)$  = angolo fra una traiettoria generica  $t_1(t_2)$  e la T.P.

$\theta_{asse}$  = angolo fra l'asse del fascetto di traiettorie accettato dal magnete e la T.P.

$$\theta' = (\theta_1 + \theta_2) / 2$$

In (II. 1, 3, b) è precisato come si trovano le coordinate del fuoco di un dato punto oggetto a partire dagli incroci a due a due delle varie traiettorie.

b) - Ricerca del momento centrale  $p_c$ .

E' definito come il momento  $p_c$  la cui traiettoria di equilibrio coincide in ingresso ed uscita del magnete con la traiettoria principale (T.P.). Questa è definita come l'arco di cerchio di raggio di curvatura di 250 cm avente angoli di ingresso ed uscita dal magnete pari a  $0^\circ$  con la tangente al cerchio nei punti suddetti.

Dal punto di vista operativo questa traiettoria viene definita

mediante una traccia incisa meccanicamente sulle faccie di ingresso ed uscita del magnete (spessore della traccia  $\pm 0.5$  mm). L'angolo di uscita è controllato con una squadra di precisione.

II.1.2. - Valutazioni sulla precisione nelle misure e controlli. - In tab. VI riassumiamo le nostre valutazioni sulla precisione raggiunta nelle varie grandezze o operazioni che intervengono nelle misure con il metodo del filo.

TABELLA VI

Grandezza od operazione	Errore	Note
P(peso)	0,1%	La bilancia trabocca con l'aggiunta di 20 mg, mentre i pesi usati sono da 20 + 40 g. Il peso del piatto della bilancia (20 g) è noto entro 5 mg.
i	$\lesssim 1\%$	Si valuta un errore di lettura di $\leq 1$ mA su una i, generalmente, di 100-200 mA.
$p = K \frac{P}{i}$	$\lesssim 1\%$	Sulla base della precisione valutata per P e i.
Posizionamenti o rivelamenti vari (errori massimi)		
Punto sorgente	$\pm 1$ mm	
Angolo ingresso	$\pm 3'$	Errore di lettura sul goniometro porta sorgente
Angolo uscita	$\pm \frac{1^\circ}{2}$	La direzione della traiettoria in uscita si definisce rilevando 2 o 3 punti (spessore del "punto" disegnato $\sim 0,2$ mm) lungo una lunghezza totale di circa 50 cm.
Posizione del piano mediano del magnete.	$\pm 0,1$ mm	Era contraddistinto da opportuni traguardi in plexiglass. Con l'ausilio di questi si posiziona sul piano mediano il punto sorgente e il rocchetto "avvolgi-filo" tirando fra questi due vincoli il filo (in assenza di campo magnetico) e riferendosi ai suddetti traguardi.

Oltre gli ovvi e continui prove e controlli fatti durante le misure (stabilità delle correnti, lampadine spia, ecc.) ne abbiamo fatti alcuni tendenti a verificare l'eventuale dipendenza dei principali risultati dal peso P e da i, nell'intervallo di valori adoperato per questi parametri, la riproducibilità delle misure, ecc.

Nel caso di prove simili su traiettorie diverse da quella principale abbiamo ottenuto risultati del tipo riportati in fig. 10. Questi risultati dicono che nel range di i e P da noi adoperati è valida una relazione di proporzionalità fra queste due grandezze, così come vuole la

equazione (2):

$$(1) \quad p = K \frac{P}{i}$$

Risultati di questi tipo si possono vedere anche sotto altra forma. Precisamente, se vale una relazione del tipo (1) e siamo in zona di linearità del magnete (cioè  $B \propto I_M$ ) si deve avere che una qualsiasi traiettoria è realizzata, al variare di  $I_M$ , da  $P$  e  $i$  differenti ma tali che  $I_M \cdot i = h$ , ove  $h$  è una costante direttamente proporzionale a  $P$ .

In fig. 12 riportiamo un controllo di questi tipo su una traiettoria con  $\theta = -30'$ . Si vede che nella zona di linearità ( $I_M \leq 1200$  A). Si ha, con buona approssimazione, che  $I_M \cdot i = h$  ed in più che  $(h)40g/(h)30g = 1.37 \pm 0.03$ , in accordo con il valore previsto  $40/30 = 1.33$ .

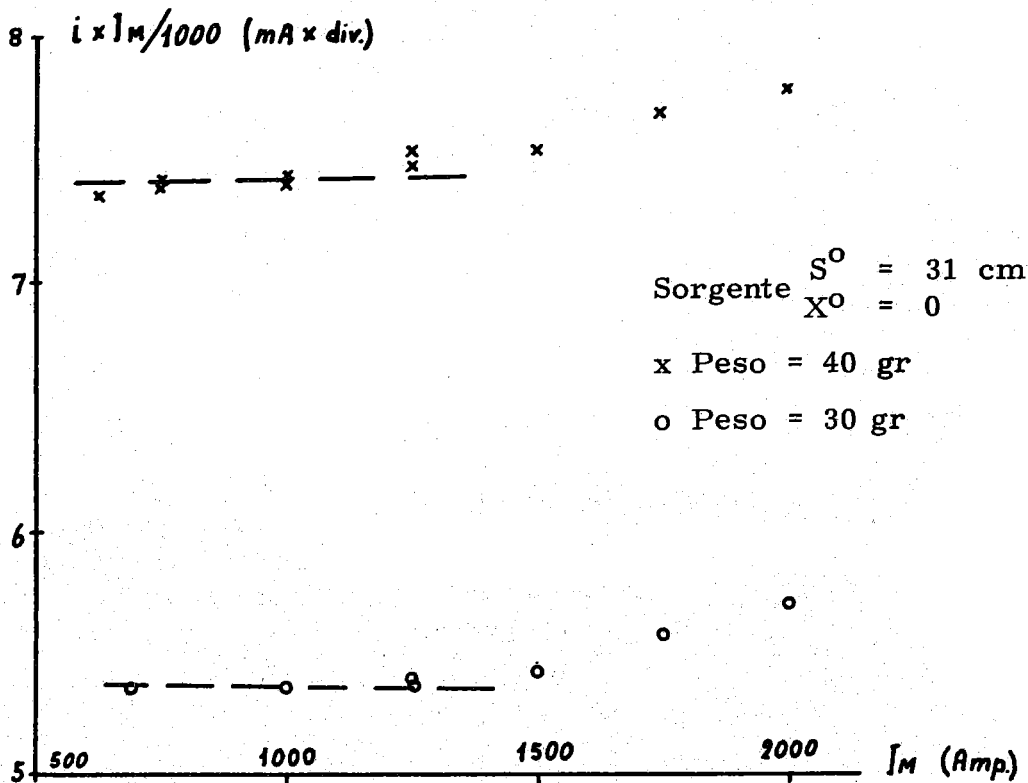


FIG. 12 - Controlli fatti sulle misure con la tecnica del filo (v. testo)  
 ( $i$  = corrente nel filo,  $P$  = tensione del filo,  $I_M$  = corrente di eccitazione del magnete)

Abbiamo controllato la riproducibilità delle misure ridisegnando in tempi diversi una stessa traiettoria, a  $I_M$  fissato. Tutte queste

misure ripetute sono in accordo con la precisione stimata di  $\pm 0.5^{\circ}$  (v. tab. VI) con cui si riusciva a definire una generica traiettoria.

Da queste misure ripetute si è potuto valutare, inoltre, che le coordinate  $(d, x_I)$  dell'incrocio di due traiettorie si ritrovano rispettivamente con errori  $2 \Delta d \approx 3 \text{ cm}$  a  $2 \Delta x_I \approx 2 \text{ mm}$  (v. fig. 11).

Da un controllo fatto, infine, è risultato che la sensibilità delle misure era meglio dell'1% (cioè due traiettorie, con tutti gli altri parametri fissi e con un peso  $P$  differente dall'1% erano nettamente distinguibili). Questa sensibilità però, agli effetti pratici è decisamente sommersa dalle aberrazioni del magnete, che danno ad esempio, (v. II.1.3., a, b), per una sorgente puntiforme una immagine circolare estesa invece di un punto focale.

II.1.3. - Risultati con il metodo del filo. - Nel seguito riportiamo, nell'ordine, i risultati ottenuti per le seguenti grandezze:

- a) - Angoli limiti
- b) - Distanza focale
- c) - Dispersione
- d) - Luogo dei fuochi (piano focale)
- e) - Momento centrale
- f) - Aberrazioni.

a) - Angoli limiti. -

Con la sorgente puntiforme posta a  $s_o = 31 \text{ cm}^{(1)}$ ,  $x_o = 0$  si sono misurati a vari momenti gli angoli d'ingresso nel magnete delle traiettorie che rasentano il diaframma  $yz \pm 7,5 \text{ cm}$  posto in posizione 3 (v. fig. 1).

La convenzione usata nel definire il segno di questi angoli ed altre coordinate e simboli importanti sono richiamati in fig. 11. In questa figura  $b$  ed  $a$  sono le traiettorie esterne del fascetto accettate dal magnete e precisamente "b" passa a  $+ 7.5 \text{ cm}$  e "a" a  $-7.5 \text{ cm}$  in corrispondenza della posizione<sup>(3)</sup> (diaframma orizzontale).

Gli angoli limiti  $(\theta_b, \theta_a)$  da noi trovati, per  $I_M = 984 \text{ A}$  a diversi momenti, sono riportati in fig. 13. Da questa si vede il buon accordo fra gli angoli misurati e quelli previsti dall'ottica lineare per il magnete (rette disegnate in figura).

b) - Distanza focale. -

A causa delle aberrazioni (v. f) il magnete non dà una immagine puntiforme di una sorgente puntiforme.

Ciò può vedersi dalla fig. 14, ove sono riportate le traietto-

rie (in uscita dal magnete) relative alla misura a  $I_M = 984$  A e per i tre momenti più esaurientemente studiati (503; 457; 418 MeV/c). Queste misure si riferiscono al caso di un diaframma in posizione 3 di  $\pm 7,5$  cm.

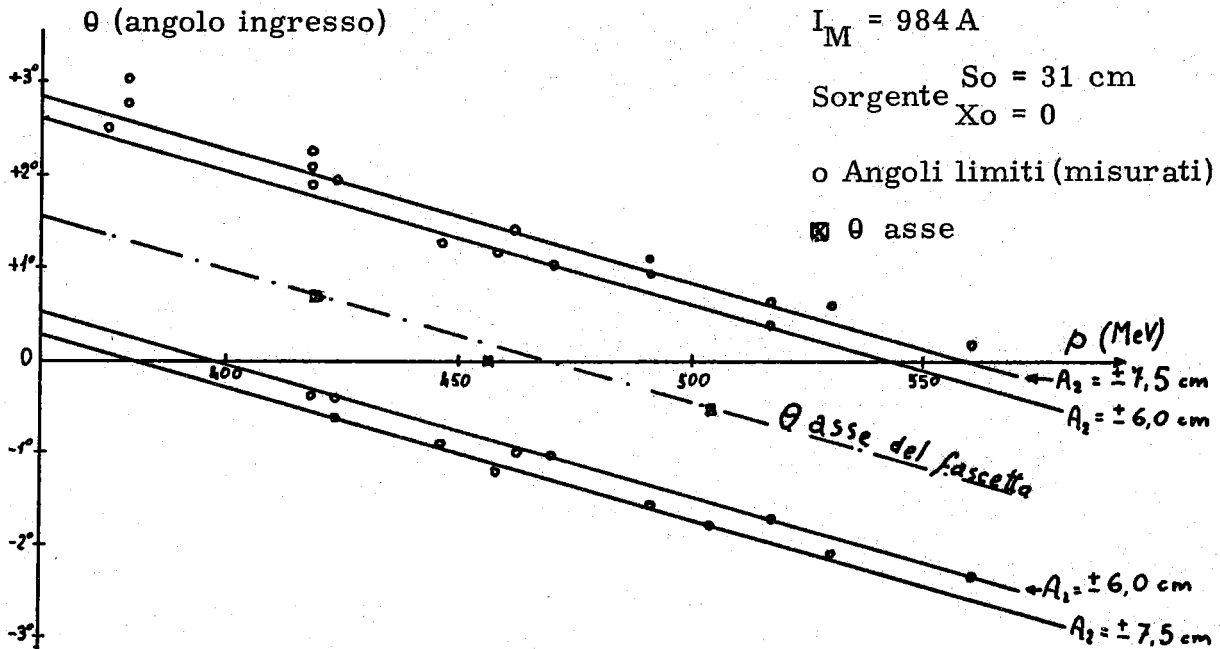


FIG. 13 - Angoli limiti

Operativamente definiamo come fuoco della nostra sorgente puntiforme per un certo momento  $p$  la macchietta di minime dimensioni trasverse. Di questa "macchietta-immagine" misuriamo le coordinate ( $d$ ,  $x_I$ ) e la semilarghezza ( $\rho$ ).  $d$  e  $x_I$  così misurati sono per noi le coordinate del fuoco.

Le nostre misure relative a  $I_M = 984$  A sono sintetizzate nella tabella VII ( $p_0$  corrisponde al momento focalizzato sulla T.P., ossia con  $x_I \sim 0$ ):

TABELLA VII

$I_M$	$p_0$	$A_2$	$(\theta_b - \theta_{asse}) = (x)$	$d$	$x_I$	$\rho$
(A)	(MeV/c)	(cm)	$(\theta_{asse} - \theta_a)$	(cm)	(cm)	(mm)
984	457	$\pm 3.5$	35'	55	0	$\pm 7$
		$\pm 7.5$	77'	56	-0,2	$\pm 15$

(x) - a e b sono le traiettorie limiti di cui è detto in A.

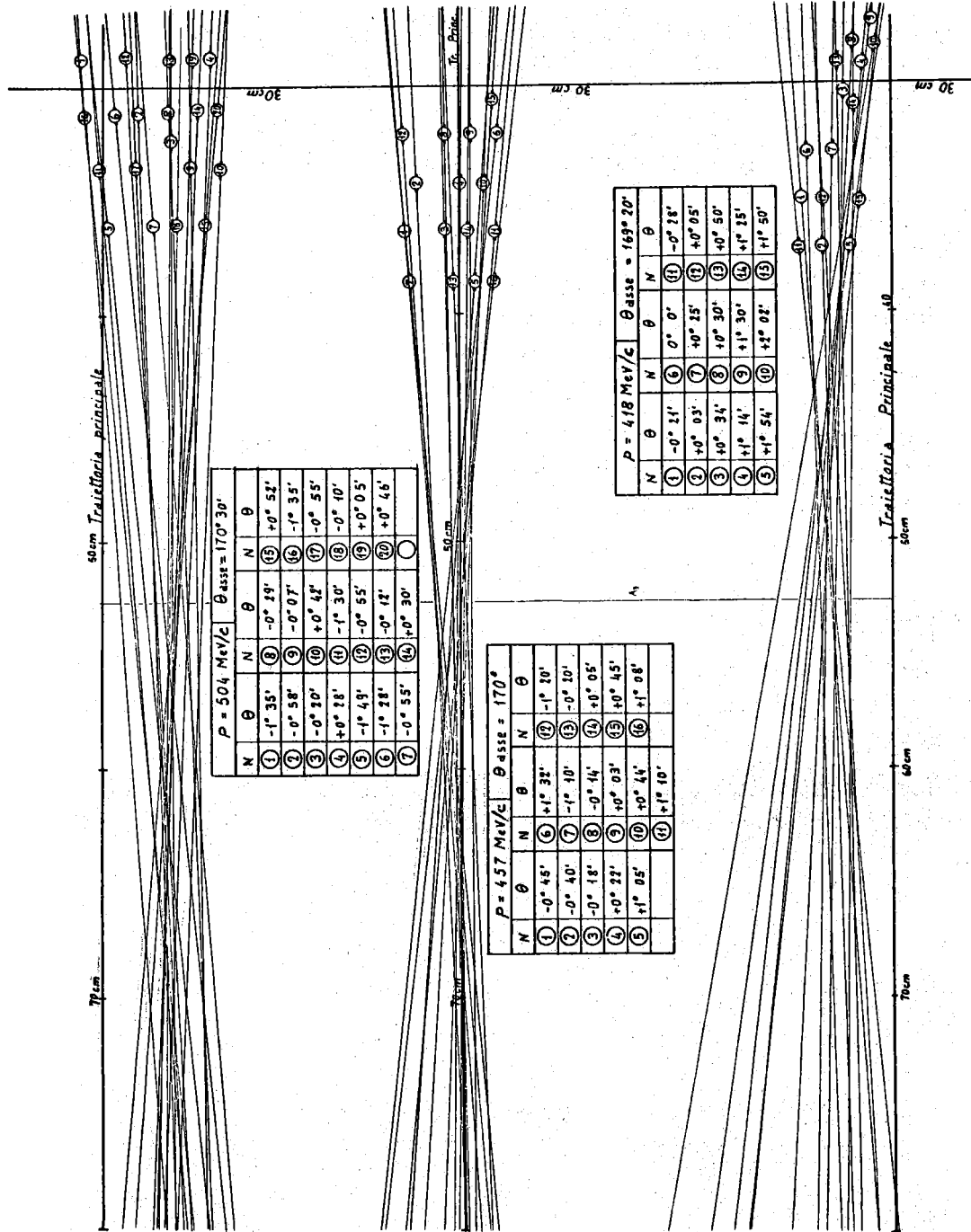


FIG. 14 - Traiettorie ottenute con il metodo del filo per una sorgente puntiforme e con diaframma (in posizione 3) di  $\pm 7,5 \text{ cm}$ , per  $p = 418; 457; 502 \text{ MeV/c}$ .



Misure a  $I_M = 500$  MeV, meno estese di quelle a 984 MeV, confermano  $d \sim 55$  cm. Questo valore da noi trovato è in accordo con quello misurato da L. Tau<sup>(1)</sup>, con il metodo delle  $\alpha$ , sul prototipo del nostro magnete.

Dalla tabella riportata è chiaro il vantaggio, per ridurre la dimensione  $\rho$ , di stringere il diaframma  $A_2$  da  $\pm 7,5$  cm a  $\pm 3,5$ .

La distanza  $d$  da usare in esperienza riteniamo non sia  $d = 55$  cm, per la ragione seguente. Poichè, come detto in e), il piano focale non è ortogonale alla T.P. dall'osservazione delle traiettorie, per momenti compresi entro  $\Delta p/p_0 = \pm 10\%$ , (v. fig. 14) si trova che per ottimizzare  $\rho$  per i diversi  $p$  su un contatore ortogonale alla T.P. (come in pratica verrà impiegato in esperienza) conviene disporre detto contatore a  $d = 51$  cm.

Per vedere come varia  $d$  nel caso di sorgente non puntiforme abbiamo osservato anche un numero limitato di traiettorie con origine  $(s_0, x_0) \neq (31,0)$ . Risulta che per variazioni in  $s_0$  e  $x_0$  contenuti entro  $\pm 2$  cm non si ha variazione della distanza focale  $d$ .

Le variazioni attese in  $x_1$ , derivanti dalle su citate variazioni in  $X_0$  sono dell'ordine di qualche millimetro (l'ingrandimento orizzontale vale 0,2), e quindi, sono fuori dalla precisione con cui sono misurabili le  $X_1$ .

#### c) - Dispersione del magnete. -

Dalla registrazione delle coordinate  $x_1$  dei fuochi di traiettorie con  $p \neq p_0$  cioè che non focalizzano sulla T.P., si misura la dispersione del magnete.

Le nostre misure a  $I_M = 984$  A e relative ai tre momenti (503, 457, 418 MeV/c) più esaurientemente studiati sono sintetizzate nella tabella VIII.

TABELLA VIII

$\Delta p$	$\Delta p/p_0$	$X_1$ (cm)	$\rho$ (mm)
503	+10%	+32	19
457	0	0	8
418	-8.5%	-2,7	11

L'errore relativo di  $X_I$ , cioè della coordinata  $X$  del centro della "macchietta" immagine, è valutato essere  $\leq 10\%$ . Questa imprecisione deriva, essenzialmente dalla incertezza nel definire il circolo di minima confusione con un limitato numero di traiettorie.

Su un piano ortogonale alla T.P. e posto a  $d = 51$  cm si ha la situazione seguente, relativa a  $A_2 = \pm 3,5$  cm.

L'errore in  $X_I$ , quando noi fissiamo a priori  $d$ , è certamente minore del 10% valutato dianzi, riducendosi all'errore materiale della misura del centro della "macchietta-immagine" sul piano prefissato. Valutiamo che in questo caso  $\Delta X_I \sim \pm 1$  mm.

La dispersione del magnete, quindi, sul piano fissato a  $d = 51$  cm risulta essere

$$\frac{\Delta p/p_0}{X_I} = (3,2 \pm 0.1)\%/cm$$

d) - Piano focale. -

Dai dati della tabella in c), graficati in fig. 15, si vede che se si approssima il luogo dei fuochi con piano, questo non risulta ortogonale alla T.P., ma forma con un piano ortogonale alla T.P. un angolo di circa  $70^\circ$ .

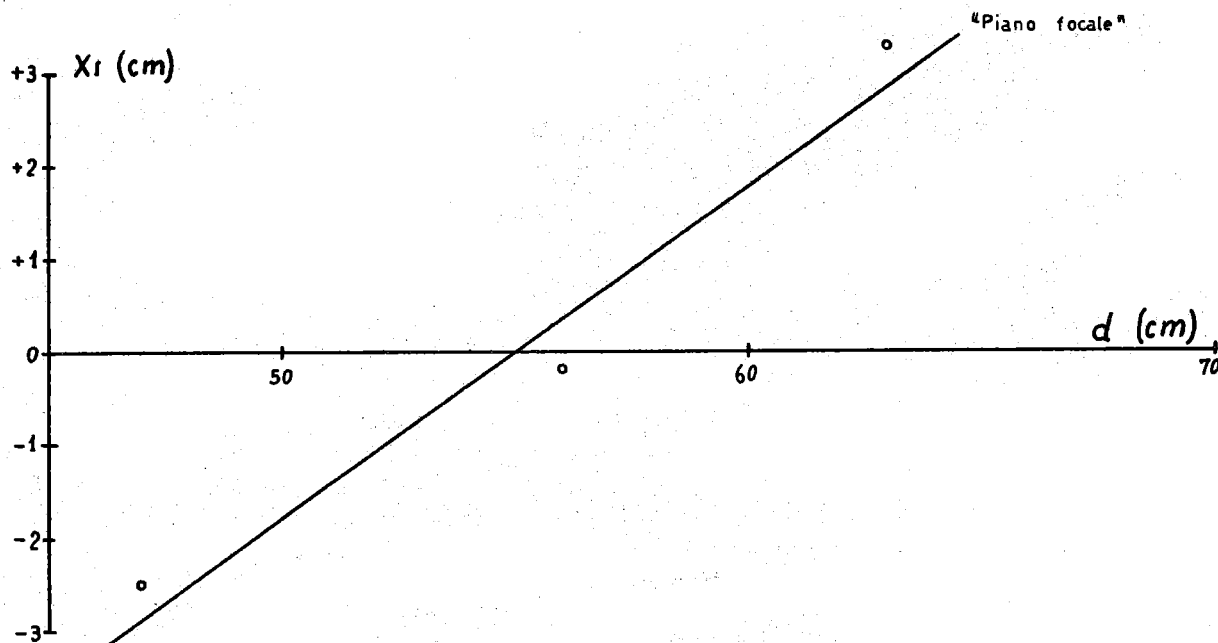


FIG. 15 - Piano focale.

e) - Momento centrale ( $p_c$ ). -

Per momento centrale  $p_c$  ad una data  $I_M$  definiamo quello corrispondente, alla configurazione di equilibrio del filo coincidente con la T. P. (cioè la traiettoria; v. fig. 1) con angolo di ingresso ed uscita di  $90^\circ$  rispetto ai bordi dei poli del magnete e con un raggio di curvatura di 250 cm all'interno del magnete<sup>(x)</sup>.

La relazione (lineare) da noi ottenuta che lega  $p_c$  e  $I_M$  è, nella zona da noi misurata con il filo ( $375 \pm 1000$  A):

$$p_c = K I_M$$

K è risultata come media di 54 misure del tipo suddetto:

$$K = \frac{p_c}{I_M} = 460 \times 10^{-3} \frac{\text{MeV}/c}{\text{A}} \quad (\text{x})$$

L'errore in K che noi valutiamo includendo le imprecisioni, (tab. VI), della misura di  $i$ ,  $I_M$  e, soprattutto, nel rilevamento della traiettoria che si portava a coincidere con quella principale è ( $\Delta K/K \sim \pm 1\%$ ).

Per quanto riguarda una eventuale dipendenza della costante K dal valore dei pesi P e correnti  $i$  adoperati in misure, i valori da noi trovati, a riguardo, sono per vari valori di P e  $I_M$ :

---

(x) - In realtà nelle nostre misure con il filo ci assicuravano solo che il filo coincidesse con la T. P. fuori dal magnete.

(x) - Per la conversione A  $\rightarrow$  mV, cioè per la  $I_M$  misurata in ampere o mediante i mV (ai capi dello shunt) si ha:  
 Gruppo 600 KW  $\rightarrow$  400 mV  $\rightarrow$  1000 A; Gruppo 250 KW  $\rightarrow$  120 mV  $\rightarrow$  1000 A.

P	$K \left( \frac{\text{MeV}/c}{\text{A}} \right)$	NOTE						
20 g	$456.8 \times 10^{-3}$	Media di 6 determinazioni a diverse $I_M$ (375 ÷ 1000 A)						
22	$458.4 \times 10^{-3}$	"	"	5	"	"	"	"
25	$460.8 \times 10^{-3}$	"	"	5	"	"	"	"
30	$460.0 \times 10^{-3}$	"	"	5	"	"	"	"
35	$462.0 \times 10^{-3}$	"	"	3	"	"	"	"
40	$463.6 \times 10^{-3}$	"	"	3	"	"	"	"

Sembrerebbe esserci una dipendenza sistematica di K dal peso, ma, comunque, tale che tutti i valori sono coincidenti entro  $\pm 1\%$ , errore sopra indicato per K.

Il valore misurato della costante K fornisce per una corrente  $I_M = 984$  A il valore  $p_c = 453$  MeV/c in accordo col valore  $p_o = 457$  MeV/c, ottenuto dallo studio delle traiettorie quale valore del momento per cui  $x_1 = 0$  alla suddetta corrente (vedi paragrafo II. 1. 3. c).

#### f) - Aberrazioni del magnete. -

Sotto questo nome intendiamo riassumere alcune grosse differenze risultanti fra le previsioni dei calcoli in approssimazione lineare e le misure con il filo. Tra queste ricordiamo:

- 1) - Il piano focale non è ortogonale alla T. P., come abbiamo detto in d) (v. fig. 14 e 15).
- 2) - Il punto d'incrocio di due traiettorie generiche  $t_1$  e  $t_2$  (v. fig. 12), cioè il punto  $(x_1, d)$ , è funzione dell'angolo  $(\theta' - \theta)$  asse, ossia dell'angolo compreso fra l'asse del fascetto accettato dal magnete e le traiettorie in parola. La definizione di questo angolo  $\theta$  è chiarita in fig. 12. Quest'angolo corrisponde alla media  $(\theta_1 - \theta_2)/2$  dei due angoli d'ingresso relativi alle traiettorie  $t_1$  e  $t_2$ .

Come si vede dalle fig. 16 c'è una tendenza di  $d$  a crescere passando da  $\theta' - \theta$  asse  $> 0$  a  $\theta' - \theta$  asse  $< 0$ , ed una analoga tendenza (anche se meno accentuata) di  $X_1$  a variare nello stesso senso di  $d$ .

Nella zona  $\theta' - \theta$  asse  $< 0$  le misure di  $d$  (e, in parte, anche di  $X_1$ ) mostrano una maggiore dispersione che per valori positivi di  $(\theta' - \theta)$  asse. Pensiamo che ciò sia collegato ad una maggiore instabilità verticale del filo generalmente riscontrata per misure con  $\theta' - \theta$  asse  $< 0$  rispetto a quelle con  $\theta - \theta$  asse  $> 0$ . Per ovviare a tale inconveniente abbia

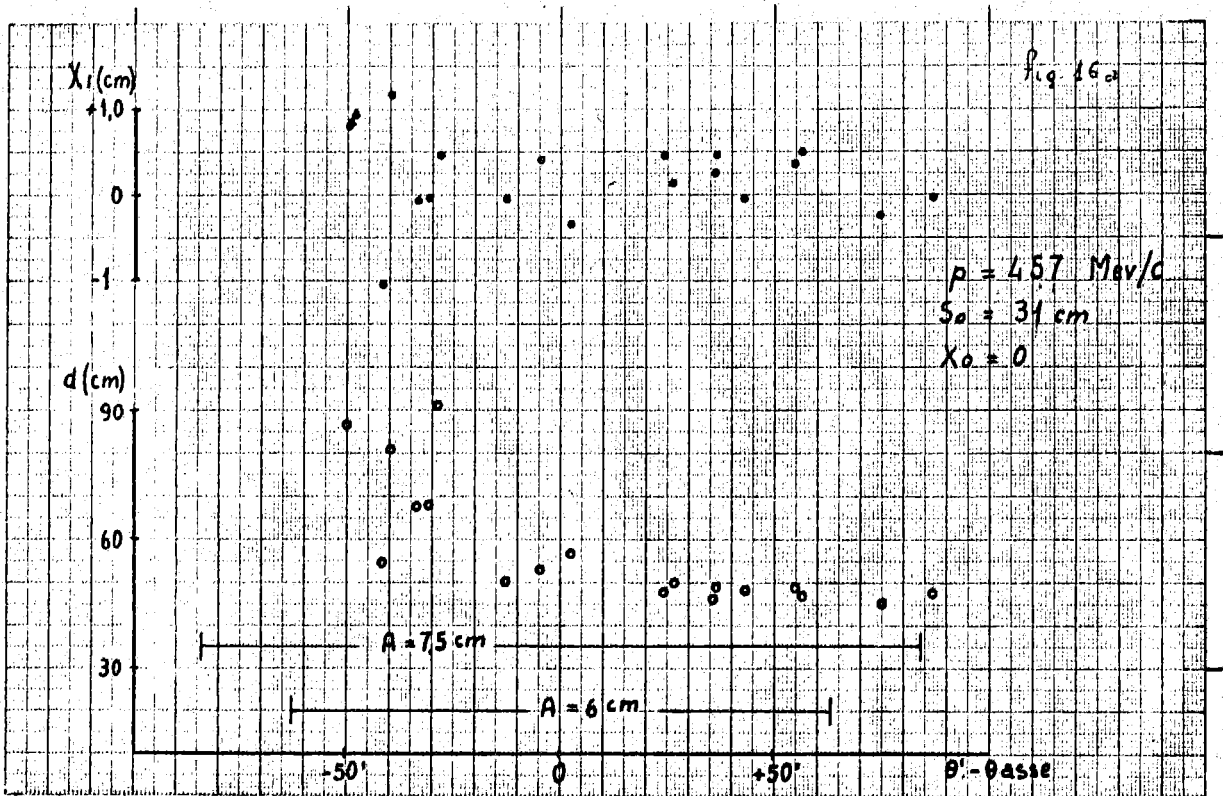


FIG. 16a) - Variazione di  $X_I$  con l'angolo ( $\theta - \theta$  asse):  $p = 457 \text{ MeV/c}$ .

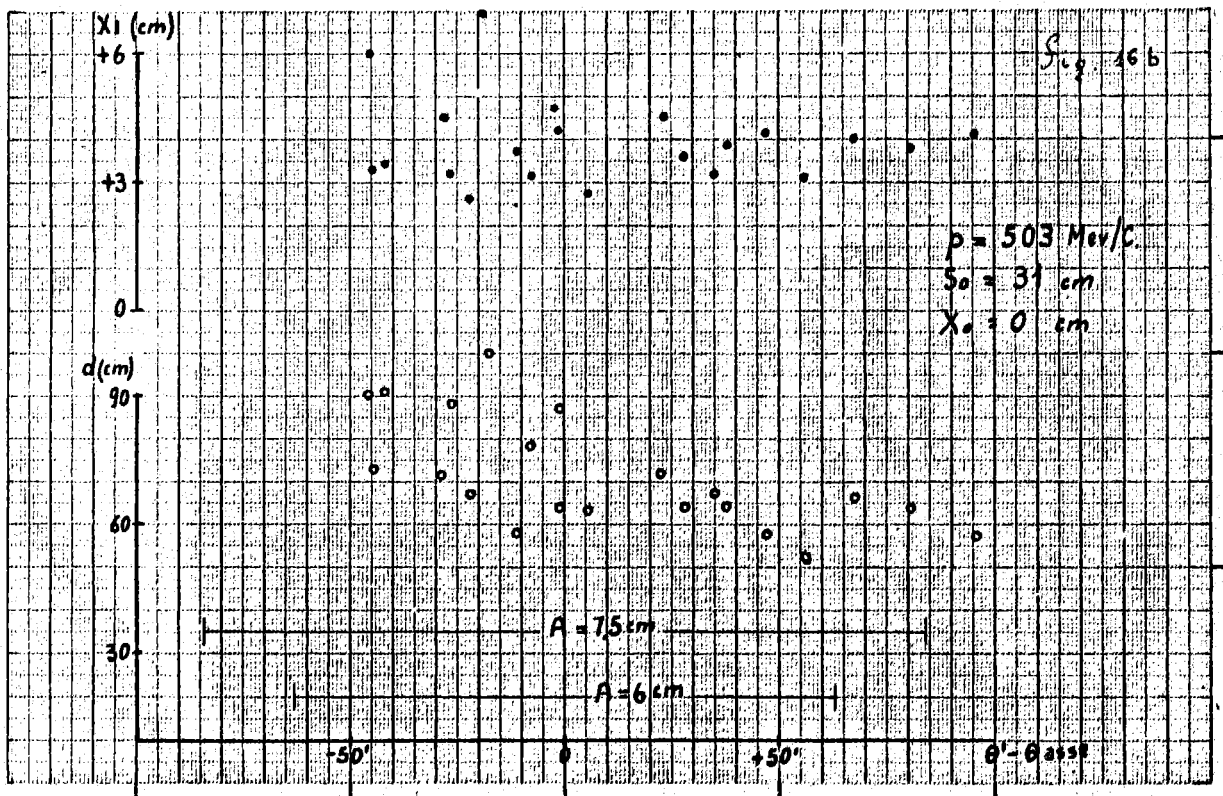


FIG. 16b) - Variazione di  $X_I$  con l'angolo ( $\theta - \theta$  asse):  $p = 503 \text{ MeV/c}$ .

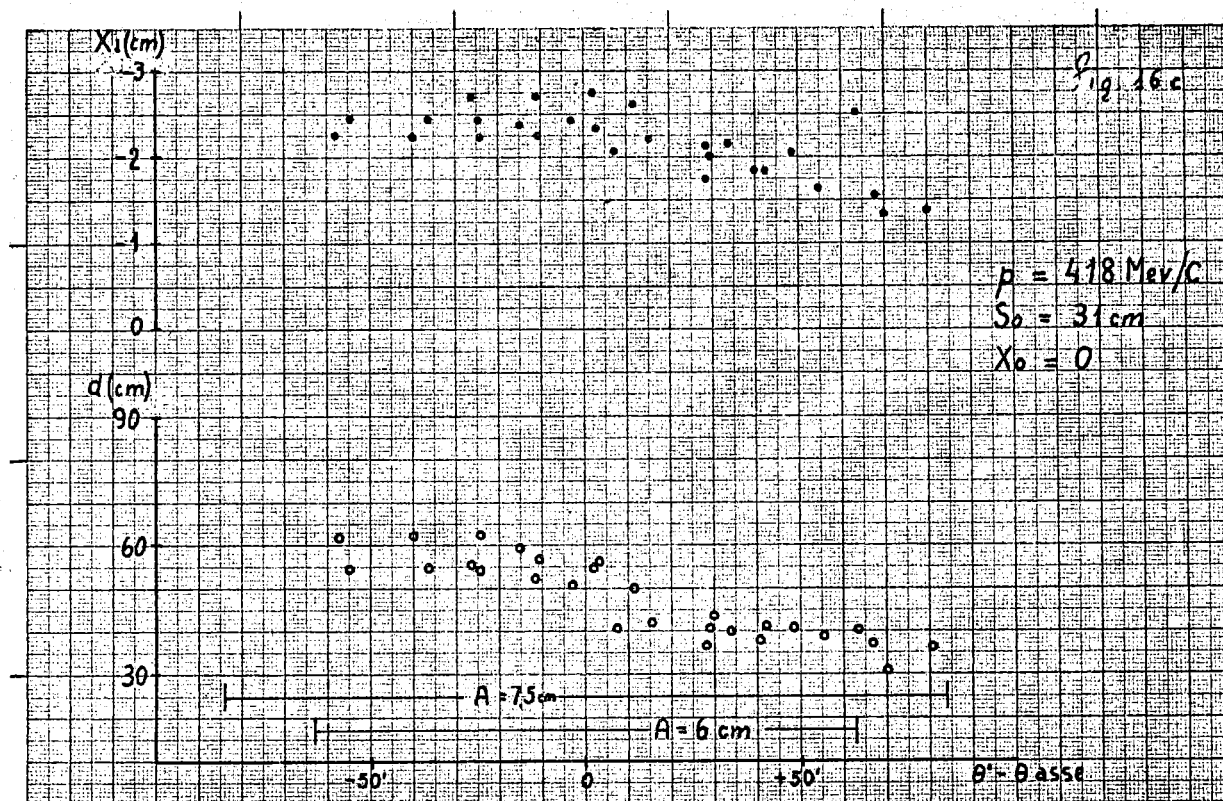


FIG. 16c) - Variazione di  $X_I$  con l'angolo ( $\theta - \theta_{\text{asse}}$ ):  $p = 418 \text{ MeV/c}$ .

mo fatto passare il filo in una fenditura orizzontale (come è detto in II. 1. 1).

Il luogo dei fuochi, cioè dei punti d'incrocio ( $X_I, d$ ) delle traiettorie prese a due a due, è riportato in fig. 14 per i tre momenti 503, 457, 418 MeV/c.

## II. 2. - Metodo delle $\alpha$ . -

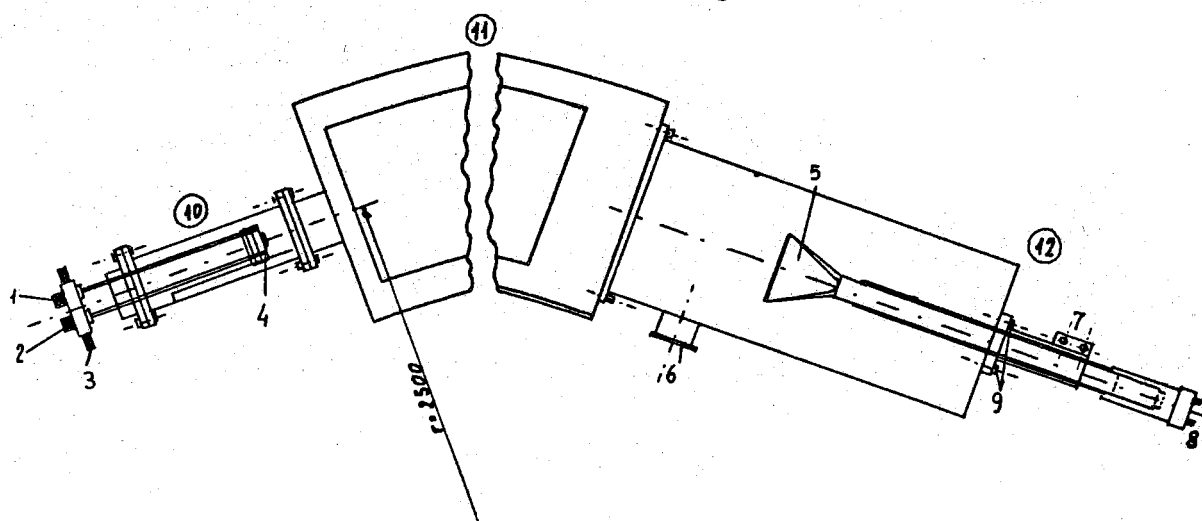
### II. 2. 1. - Generalità. -

Con questo metodo si studiano le proprietà ottiche del magnete (fuochi, risoluzione, ecc.) utilizzando la focalizzazione delle  $\alpha$  emesse da una sorgente di Polonio. Questa sorgente si pone nel punto oggetto del magnete, mentre nel fuoco si trova un contatore a scintillazione. Si conta, così, il numero di  $\alpha$  focalizzate su questo contatore in un tempo prefissato.

Uno schema della disposizione d'insieme adoperata nelle nostre misure è riprodotta in fig. 17. Le principali caratteristiche di questo dispositivo si possono sintetizzare, come segue:

a) - Sorgente di  $\text{Po}^{210}$ .

- Dimensioni: dischetto circolare di  $\phi = 0,5$  cm
- Spostamenti: mediante viti di regolazione la sorgente può essere spostata in verticale, orizzontale e longitudinalmente lungo la T.P. (cioè lungo una normale al bordo d'ingresso del magnete).
- Monocromaticità: lo spessore della sorgente è tale che il  $\Delta p/p$  delle  $\alpha$  emesse è trascurabile rispetto alle altre cause di incertezza. Ciò risulta in accordo con i risultati di misure dirette eseguite con sorgenti simili a quella da noi adoperata.
- Intensità: è stata da noi valutata misurando il conteggio in un tempo prefissato, disponendo in una tank (in cui si faceva un vuoto di  $35 \mu\text{Hg}$ ) ad una distanza nota  $D$  il contatore dalla sorgente  $\alpha$ .



- |  |   |
|--|---|
| 1 viti regolazione spostamenti verticali   | 8 uscita cavi di alimentazione e di segnale     |
| 2 viti regolazione spostamenti orizzontali | 9 viti di regolazione e fissaggio del contatore |
| 3 maniglie per spostamenti longitudinali   | 10 complesso portasorgente                      |
| 4 sorgente di particelle                   | 11 camera a vuoto del magnete                   |
| 5 contatore a scintillazione               | 12 complesso portacontatore                     |
| 6 attacco per pompa da vuoto               |   |
| 7 viti di fissaggio del contatore          |   |

FIG. 17 - Disposizione d'insieme nelle misure con il metodo delle  $\alpha$ .

I risultati di questa misura sono:

Misura	D	$C_1$	$C_f$	$C = C_1 - C_f$	$\frac{\Omega}{10^{-3} \text{ster}}$	$I = C / \text{ster.}$
1 <sup>a</sup>	31,8	143.867	3.688	140.179	18,9	$7,43 \cdot 10^6$
2 <sup>a</sup>	21,8	288.085	3.400	284.685	38,2	$7,45 \cdot 10^6$

ove

$D$  = distanza sorgente-contatore

$C_1$  = conteggi totali in un certo tempo (10 s) cioè conteggi buoni + conteggi di fondo ( $C_f$ )

$\Omega$  = angolo solido (calcolato sotto cui il contatore ( $1 \times 20 \text{ cm}^2$ ) vede la sorgente

$I$  (Intensità) =  $n^\circ$  di  $\alpha$  emesse in 20s in uno steradiante.

I conteggi di fondo si misurano portando la tank a pressione atmosferica.  $\Omega$  è stato calcolato con le formule date in (7) per il caso di sorgente puntiforme e contatore rettangolare.

Il valore medio delle due misure suddette risulta essere  $I = 7,44 \times 10^6 / 20s.$  sterad.

Questo valore di  $I$  è stato utilizzato per la misura dell'angolo solido accettato dal magnete (II. 2. 3. c).

Impulso delle  $\alpha$  : all'energia delle  $\alpha$  del Polonio corrisponde un impulso  $p_\alpha = 198,83 \text{ MeV}/c$ , cui corrisponde, per una particella di carica unitaria, un impulso  $p = 99,43 \text{ MeV}/c$ .

b) - Contatore. -

E' costituito da un plastico (NE 102) di dimensioni  $1 \times 20 \text{ cm}^2$ , connesso (con guida di luce; v. fig. 17) ad un fotomoltiplicatore RCA 6342(x).

La catena di amplificazione e conteggio è costituita da 2 amplificatori distribuiti (in serie) con guadagno complessivo 60 db, seguiti da un discriminatore rapido e, da un circuito di conteggio.

c) - Vuoto. -

Lungo il percorso delle particelle  $\alpha$  nel magnete è fatto un vuoto migliore di  $200 \mu\text{Hg}$ . A questo scopo è stata montata all'interno del magnete una opportuna camera a vuoto (v. fig. 17).

II. 2. 2. - Valutazione degli errori nelle misure con il metodo delle  $\alpha$ . - I posizionamenti della sorgente e del contatore-immagine, eseguiti mediante viti di regolazione, sono precisi entro 1 mm.

---

(x) - Per migliorare la raccolta di luce, onde ridurre ad un livello accettabile il rapporto segnale/fondo, è stato necessario illuminare sotto vuoto la superficie del plastico opposta a quella in contatto con la guida di luce.



Per quanto riguarda la precisione dei conteggi:

- 1) - l'errore statistico  $\Delta N/N = 1/\sqrt{N}$  era dell'ordine del 5‰, nel punto di massimo conteggio (v. picchi nel grafico di fig. 18).
- 2) - il fondo, cioè i conteggi non dovuti alla sorgente di Polonio, erano dell'ordine 3-4‰, come risulta dai grafici di fig. 18.
- 3) - i conteggi erano fatti su un tempo di 20-30 s. Ciò che entra nelle nostre misure, essendo quasi tutte misure relative e non assolute è la costanza dell'intervallo di tempo nelle varie misure. Questa costanza può essere garantita entro il 2‰.
- 4) - la corrente di eccitazione,  $I_M$ , del magnete era letta con un ponte (Leeds-Northoup) preciso al  $0,5 \pm 1\%$ .

Immagine  $d = 52,7$  cm    Sorgente:  $X_0 = 0$      $Z_0 = 0$      $S_0 = 31$  cm    Diaframma  $A_2 = \pm 7,5$  cm

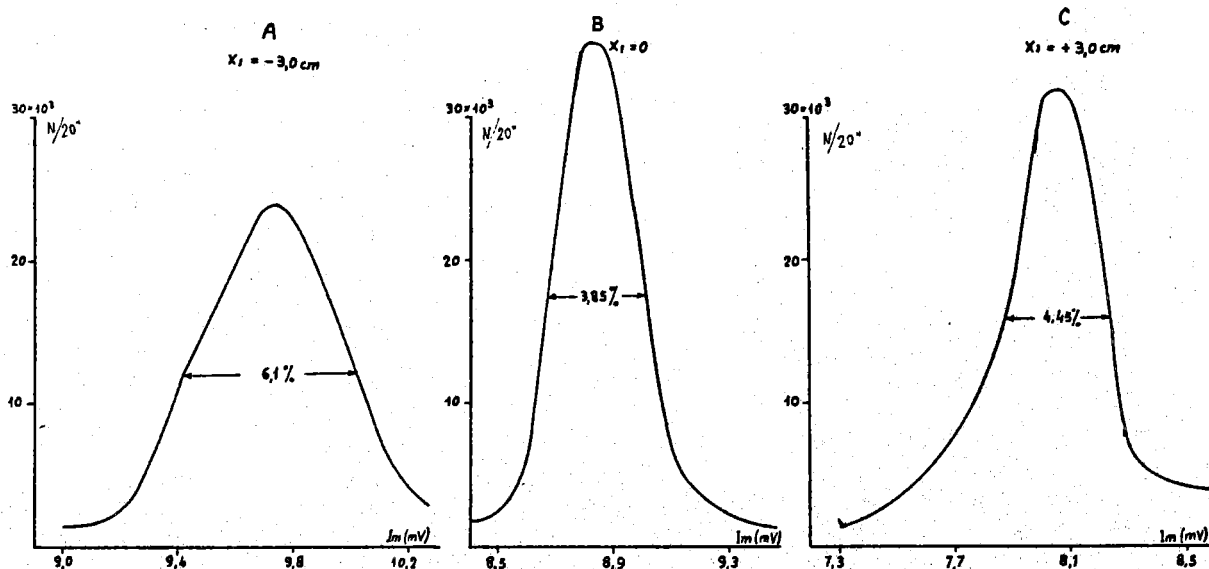


FIG. 18 - Esempi di curve "conteggio  $\alpha$  vs  $I_M$ " per alcune posizioni di  $X_1$ .

II. 2. 3. - Risultati del metodo delle  $\alpha$ . - Nel seguito riportiamo i risultati ottenuti riguardo a:

- a) - Potere risolutivo
  - b) - Dispersione
  - c) - Angolo solido
  - d) - Momento centrale e costante del magnete
  - e) - Simmetria delle proprietà ottiche del magnete rispetto al suo piano mediano.
- a) - Potere risolutivo. -

Come è noto il potere risolutivo di un canale magnetico è mi

surato per una data sorgente ed un dato contatore-immagine, dalla banda di impulsi  $\Delta p/p$  accettata dal contatore-immagine, quando nel suo centro è focalizzato il momento  $p$ .

Nel caso di misure con il metodo delle  $\alpha$ , ossia con una sorgente monocromatica il potere risolutivo è misurato dalla larghezza totale, a metà altezza, delle curve "conteggio  $\alpha$  vs  $I_M$ ", avendo posto il nostro contatore immagine (larghezza totale orizzontale = 1 cm) in una determinata posizione nella zona dei fuochi.

Esempi di queste curve sono mostrati in fig. 18. Sono relative alla posizione della sorgente  $(x_0, z_0, s_0) = (0, 0, 31 \text{ cm})$ , con diaframma  $A_2 = \pm 7,5 \text{ cm}$  e per tre posizioni del contatore ( $X_1 = \pm 3 \text{ cm}, 0$ ).

I dati relativi al potere risolutivo, nelle condizioni sopra specificate (posizione della sorgente, contatore immagine di 1 cm, ecc.) sono riassunti nella fig. 19 e 20. La valutazione della precisione di queste misure portano al più ad un errore assoluto sul potere risolutivo  $\Delta I_M/I_M$  di 0,3%. Questo errore deriva, essenzialmente, dal fit dei punti sperimentali nelle curve del tipo di fig. 18.

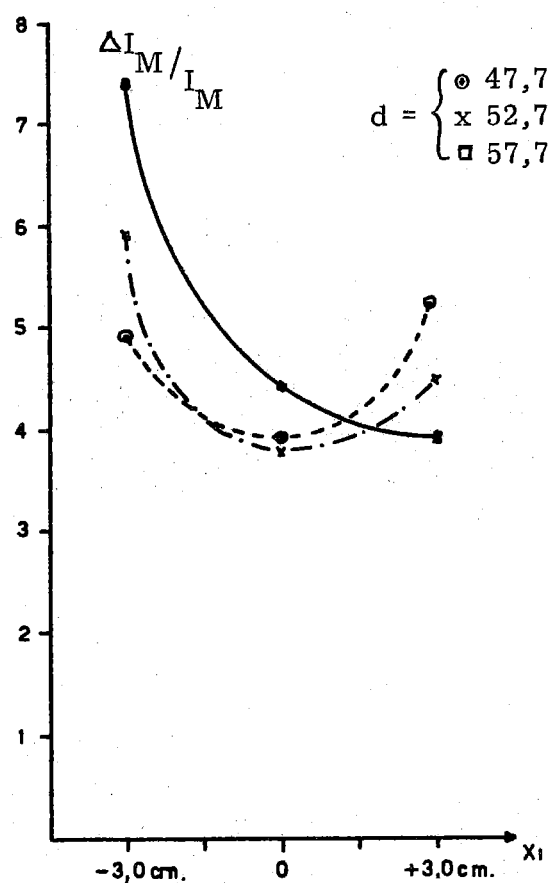


FIG. 19 - Variazione del potere risolutivo ( $\Delta I_M/I_M$ ) (v. testo) con la posizione del contatore.

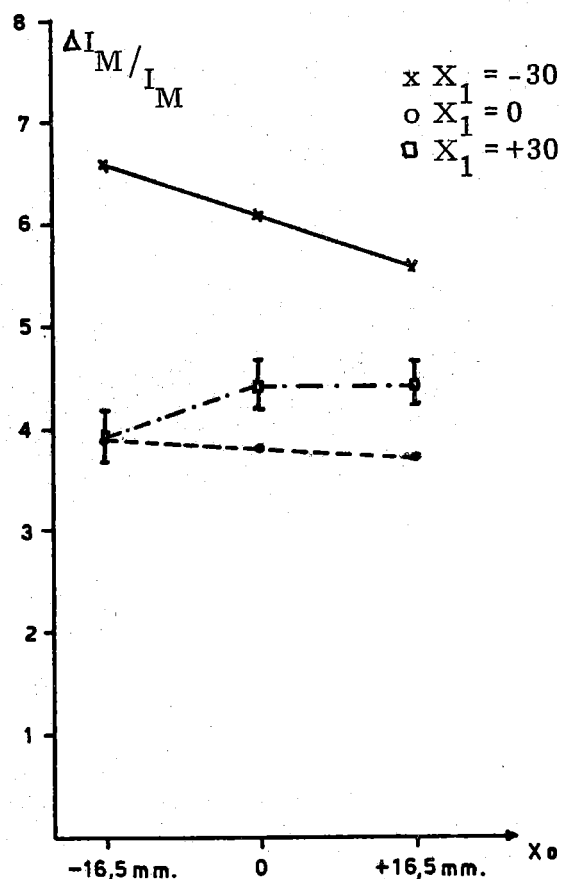


FIG. 20 - Variazione del potere risolutivo ( $\Delta I_M/I_M$ ) (v. testo) al variare della coordinata  $x_0$  della sorgente.

Dalla osservazione dei grafici si ricavano le seguenti principali conclusioni:

- 1) - il potere risolutivo ha un minimo quando il contatore è sulla T.P. ( $X_I = 0$ ) (v. fig. 19)
- 2) - il p. r. non varia apprezzabilmente al variare della posizione  $X_O$  della sorgente (entro  $\pm 2$  cm).

Sono state fatte anche misure del p. r. senza il diaframma  $A_2$ . Per esempio, nel caso analogo a quello di fig. 18b), questo passa da 3,8% ( $A_2 = \pm 7,5$  cm) a 4,8%. Il peggioramento in  $\Delta I_M / I_M$  è più netto nel caso di  $X_I$  negativi. Per  $X_I = -3,0$  cm si passa (per  $d = 52$  cm) da 6% (per  $A_2 = \pm 7,5$  cm) all'8%, senza diaframma  $A_2$ .

b) - Dispersione. -

E' ottenuta dal grafico di fig. 21 in cui si riporta per ciascuna posizione in  $X_I$  del contatore il valore di  $I_M$  corrispondente a  $I_{M1} + I_{M2} / 2$ .  $I_{M1}$  ed  $I_{M2}$  sono i valori per i quali si ha un conteggio  $\alpha$  metà del massimo.

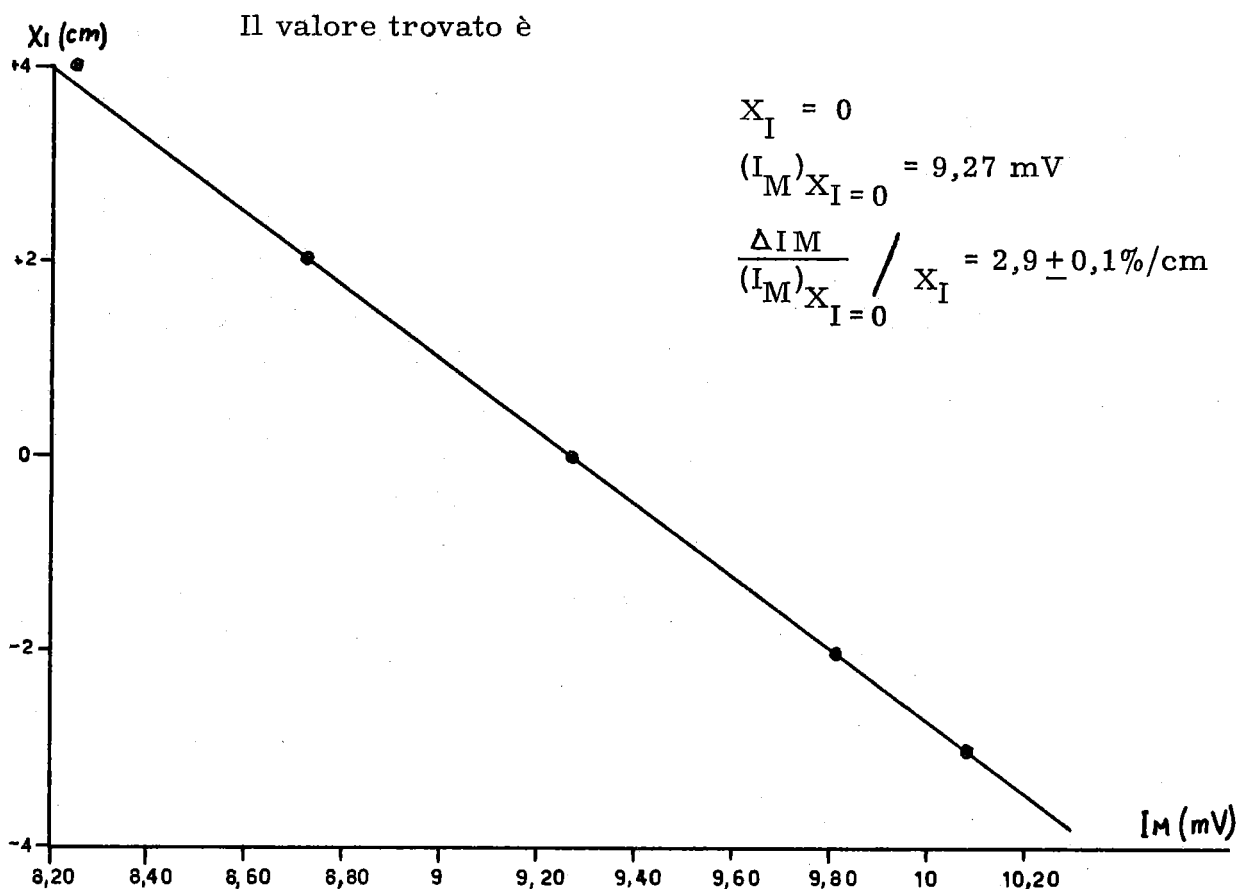


FIG. 21 - Dispersione del magnete (misurata con il metodo delle  $\alpha$ ).

Il valore trovato è:

$$\frac{\Delta p}{p_0} / X_I = (2,9 \pm 0,1)\% / \text{cm}$$

Non si è trovato alcun scostamento dalla linearità al variare di  $X_I$  entro  $\pm 3,0$  cm.

c) - Angolo solido. -

Questa grandezza si può misurare dal conteggio  $\alpha$  (diviso l'intensità della sorgente) che si ottiene su un contatore di dimensioni eguali (o maggiori) a quelle dell'immagine effettiva (cioè incluse le aberrazioni) della sorgente puntiforme, ad una corrente fissa  $I_M$ .

Poichè la sorgente è monocromatica, cioè  $\Delta p/p = 0$ , la misura del conteggio  $\alpha$  nelle condizioni suddette non è una determinazione dell'accettanza (= angolo solido x risoluzione) bensì solo dell'angolo solido.

Una soluzione alternativa per la misura dell'angolo solido sarebbe la misura "conteggio  $\alpha$  vs  $I_M$ " (cioè curve del tipo di fig. 19) eseguita con un contatore molto più piccolo delle dimensioni dell'immagine, operando una opportuna integrazione della suddetta distribuzione.

Nelle nostre misure il contatore era più grande dell'immagine in verticale e più piccolo delle dimensioni dell'immagine in orizzontale per cui l'integrazione delle curve di fig. 19 dà risultati con precisione dell'ordine del 10%. Una tale valutazione dell'angolo solido fornisce il valore  $\Delta \Omega = 6,5 \cdot 10^{-3}$  sterad(x).

Il valore di picco delle distribuzioni di fig. 20 dà una indicazione dell'angolo solido per la particolare situazione sperimentale in cui venga impiegato un contatore di larghezza uguale a 1 cm. Relativamente alle seguenti posizioni di  $X_I$  e per ( $X_0 = Z_0 = 0$ ) si ha per ( $\Delta \Omega$ ) 1 cm<sup>(+)</sup>

(x) - Il diaframma  $A_2$  in questo caso è stato posto uguale a  $\pm 7,5$  cm.

(+) - Con l'indicazione esplicita ( $\Delta \Omega$ ) 1 cm si vuole ricordare che detta misura vale per le condizioni particolari da noi usate, cioè sorgente "quasi" puntiforme ( $\phi = 0,5$  cm) posta a ( $s_0, x_0, z_0 = 31, 0, 0$ ) e con contatore immagine di 1 cm di larghezza totale.

$X_I(\text{cm})$	$(\Delta\Omega) 1 \text{ cm}$
+3.0	$4,1 \times 10^{-3}$ sterad
0	$4,5 \times 10^{-3}$ sterad
-3,0	$3,2 \times 10^{-3}$ sterad

La variazione di  $(\Delta\Omega) 1 \text{ cm}$  per diverse posizioni di sorgente ( $X_0, Z_0$ ) si può ricavare dai grafici riportati in fig. 22. In questa figura si riporta, al variare delle coordinate ( $x_0, z_0$ ), il conteggio  $(N/20'')$  picco che si ha sul picco delle distribuzioni "conteggi  $\propto$  vs  $I_M$ ".

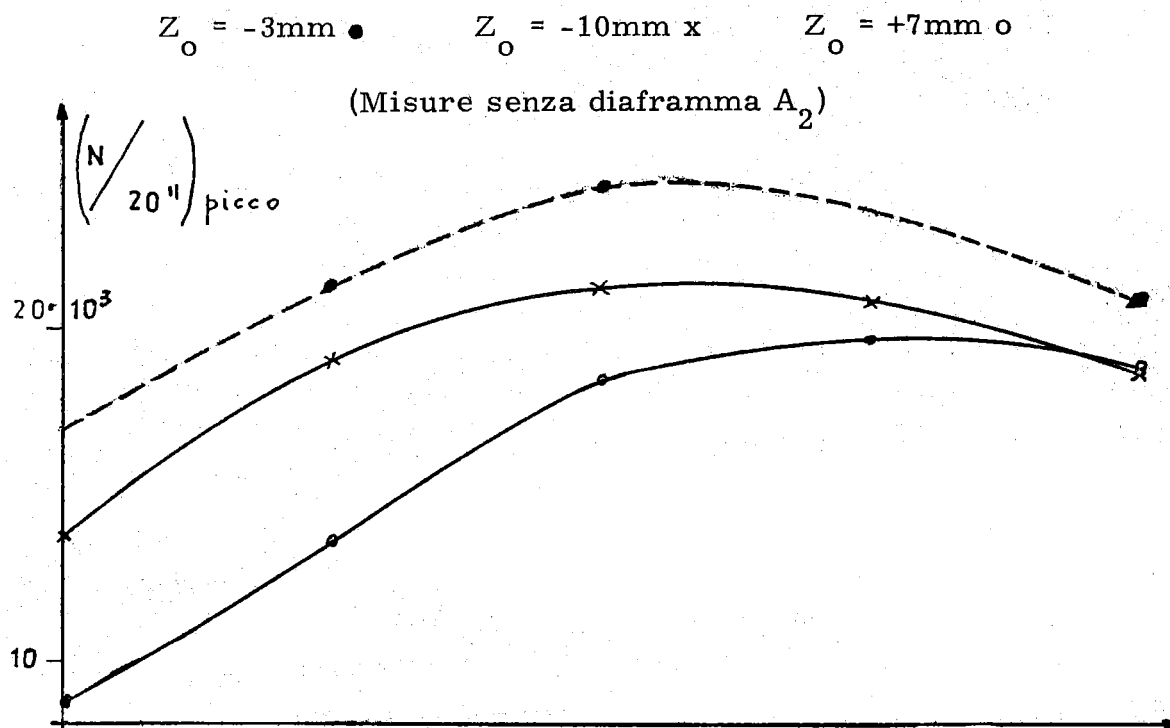


FIG. 22 - Variazione del conteggio (di picco)  $(N/20'')$  picco al variare delle coordinate di sorgente ( $x_0, z_0$ ). Contatore di 1 cm di larghezza, posto a  $d \sim 52 \text{ cm}$ .

d) - Costante del magnete. -

Dal grafico b) di fig. 19 in corrispondenza del massimo del conteggio si ha  $I_M = 221,0 \text{ A}$ .

L'impulso equivalente, per particella di carica unitaria, a quello delle  $\alpha$  del  $P_0$  è, come si è detto,  $99,43 \text{ MeV/c}$ .

La costante del magnete, derivata dalla misura con il meto

do è allora:

$$K'_{\alpha} = \frac{p}{I_M} = \frac{99,42}{221} \frac{\text{MeV/c}}{\text{A}} = 450 \times 10^{-3} \text{ MeV/c/A}$$

Questa costante  $K'_{\alpha}$  è calcolata ammettendo che il campo magnetico  $B$  vada esattamente a zero per  $I_M = 0$ . Ciò non è risultato vero<sup>(3)</sup> per cui quando, come nel caso del metodo delle  $\alpha$ , si lavora a bassi valori di  $I_M$  è necessario usare la formula completa

$$p = p^x + K_{\alpha} I_M$$

Dalle misure riportate in (3) risulta che  $p^x = -2,25 \text{ MeV/c}$  per cui  $K$ , corretta dagli effetti del campo residuo, vale

$$K_{\alpha} = \frac{p - p^x}{I_M} = \frac{101,67}{221} = 460 \times 10^{-3} \frac{\text{MeV/c}}{\text{A}}$$

Questa costante  $K_{\alpha}$  e non  $K'_{\alpha}$  va confrontata con quella ottenuta dalle misure con il metodo del filo, durante le quali si operava a correnti  $I_M$  tali ( $\sim 1000 \text{ A}$ ) da poter trascurare l'effetto del campo residuo.

L'errore che si valuta per  $K_{\alpha}$ , tenendo conto, fra l'altro, della precisione con cui si conosce la correzione  $p^x$ , è dell'ordine del 2%.

e) - Simmetria dell'ottica del magnete rispetto al suo piano mediano. -

In molte esperienze, come ad esempio, in misure di asimmetria<sup>(6)</sup> è importante conoscere l'eventuale variazione delle proprietà ottiche del magnete al variare della posizione della sorgente rispetto al piano mediano.

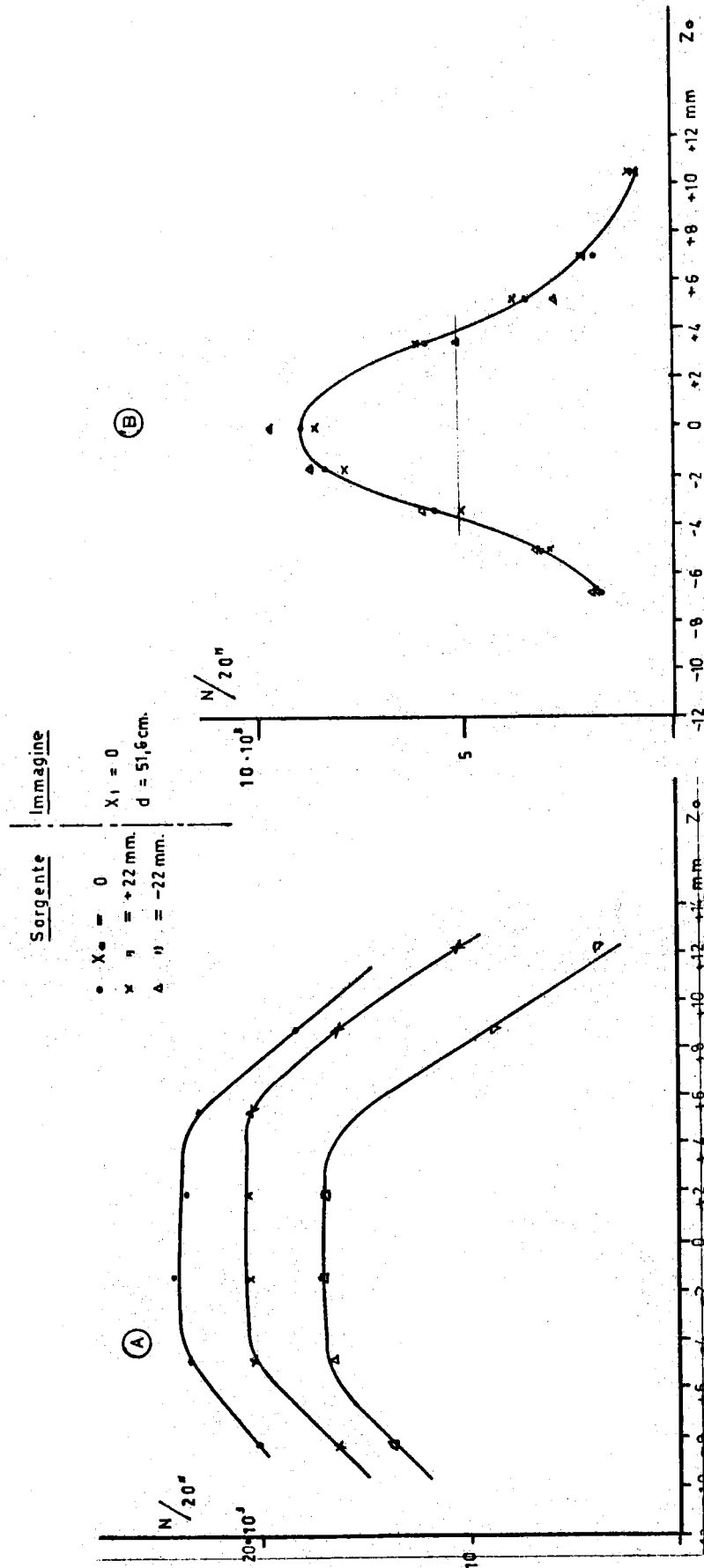
Abbiamo fatto, a questo fine, misure con la sorgente  $\alpha$  posta a diversi  $z_0$  e con il contatore-immagine, nel fuoco disposto rispettivamente, con il lato più lungo ( $\pm 10 \text{ cm}$ ) parallelamente o perpendicolarmente al piano mediano.

Nella fig. 23 si indica rispettivamente con "contatore a  $0^{\circ}$ " la posizione parallela e con "contatore a  $90^{\circ}$ " quella ortogonale.

Nella posizione parallela il contatore presenta una dimensione verticale di solo  $\pm 0,5 \text{ cm}$ , mentre nella posizione ortogonale questa è di  $\pm 10 \text{ cm}$ . In conseguenza di ciò in fig. 23 si ha un plateau nella curva dei

Contatore a 90°  
(rispetto al piano mediano)

Contatore a 0°  
(rispetto al piano mediano)



**FIG. 23** - Controllo della simmetria delle proprietà ottiche del magnete rispetto al piano mediano (piano con  $z_0 = 0$ ).

conteggi. Dei due procedimenti il più sensibile è, ovviamente, quello con il contatore a  $0^\circ$ .

Da fig. 23a) si vede che entro  $\pm 1/2$  cm, in  $z_0$ , non si ha variazione dei conteggi e, per quanto riguarda la simmetria questa è verificata (v. fig. 23b) entro  $\pm 1$  cm. Quest'ultimo risultato connesso con la costanza del potere risolutivo al variare di  $z_0$ , assicura un sufficiente grado di simmetria, per  $z_0$  compreso entro  $\pm 1$  cm, in misure di flusso fatte con il magnete in discussione.

### III - CONCLUSIONI. -

Dalle misure riportate in questa nota si ricavano i seguenti valori per i principali parametri del magnete studiato.

a) - Costante del magnete. -

Dalle misure con la tecnica del filo e delle  $\alpha$  si è ottenuto per:

$$K = \frac{p}{I_M} \quad \begin{array}{l} p = \text{momento focalizzato} \\ I_M = \text{corrente nel magnete} \end{array}$$

$$(2) \quad K = (460 \pm 4) \times 10^{-3} \frac{\text{MeV/c}}{\text{A}}$$

ovvero, misurando la corrente  $I_M$  mediante la tensione ai capi dello shunt del gruppo di alimentazione di 600 KW (in dotazione al sincrotrone).

$$(3) \quad K = (11,5 \pm 0,1) \frac{\text{MeV/c}^{(x)}}{\text{mV}}$$

(x) - Da calibrations del magnete fatte, nel caso della esperienza di foto produzione di  $\pi^+$  con  $\gamma$  linearmente polarizzati, sfruttando la cinematica del processo citato e le caratteristiche dello spettro di bremsstrahlung coerente si è trovato per K:

$$\begin{aligned} K &= 11,6 \pm 0,1 \quad \text{MeV/c/mV} && \text{ovvero} \\ &= (464 \pm 5) \cdot 10^{-3} \quad \text{MeV/c/A} \end{aligned}$$



La misura di  $K$  ottenuta da misura di campo lungo la traiettoria principale, quando si tiene conto opportunamente del campo disperso e di quello residuo (vedi (3)) è in accordo con la determinazione (2). Si ottiene in fatti da queste misure  $K = (458 \pm 5) \cdot 10^{-3} \text{ MeV/c/A}$ .

Nella media (2) non è inclusa la misura ottenuta con le misure di campo, perchè riteniamo che i metodi del filo e delle  $\alpha$  siano più diretti.

b) - Dispersione. -

- Metodo del filo	$(3.2 \pm 0,1)\% \text{ cm}^{-1}$
- Metodo delle $\alpha$	$(2.9 \pm 0,1)\% \text{ cm}^{-1}$
- Media	$(3.05 \pm 0.15)\% \text{ cm}^{-1}$ (errore massimo)

Questa dispersione è stata misurata lungo una retta normale alla traiettoria principale ed in corrispondenza del fuoco ( $d = 51 \text{ cm}$ ), relativo ad una sorgente posta a  $31 \text{ cm}$  dal polo di ingresso del magnete.

La dispersione misurata è in ottimo accordo con quella calcolata, in approssimazione lineare:  $(3.0)\% \text{ cm}^{-1}$  (v. Tab. II).

c) - Potere risolutivo. -

Con il metodo delle  $\alpha$  si è trovato che con una sorgente posta a ( $s_0, x_0, z_0 = 31 \text{ cm}, 0, 0$ ) e con il contatore-immagine (larghezza =  $\pm 0,5 \text{ cm}$ ) situato a ( $d = 53 \text{ cm}, x_1 = 0$ ) il potere risolutivo vale (v. fig. 19, b)  $(3,8 \pm 0.3)\%$ .

d) - Distanza focale. -

Ottimizzando le misure ottenute con il metodo del filo si ha per una sorgente posta a  $s_0 = 31 \text{ cm}$  una distanza focale  $d = 5/\text{cm}$ .

Ringraziamo i nostri colleghi di gruppo Prof. L. Mezzetti, Dr. i M. Nigro, E. Schiavuta, F. Villa per l'aiuto datoci nella esecuzione ed elaborazione delle misure riportate.

Di validissimo aiuto, inoltre, è stata la collaborazione in tutto il lavoro del perito industriale sig. R. Giantin.

## BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - G. Sacerdoti and L. Tau, Nuclear Instr. and Meth. 16, 139 (1962)
- (2) - P. G. Sona, Report LNF
- (3) - M. I. Montesanti, "Canale magnetico per lo studio della reazione  $\gamma + p = K^+ + \Lambda^0$ ", Tesi, Università Roma (1963).
- (4) - R. H. Dicke, Rev. Sci. Instr. 19, 533 (1948)
- (5) - A. Citron, F. J. M. Farley, E. G. Michaelis and H. Overas, Floating wire measurements on the SC magnet, Report CERN 58-9 (1958)
- (6) - B. Borgia, M. Grilli, P. Joos, L. Mezzetti, M. Nigro, E. Schiavuta and F. Villa, Nuovo Cimento 32, 218 (1964); M. Grilli, L. Mezzetti M. Nigro, E. Schiavuta, Nuovo Cimento 38, 1467 (1965)
- (7) - "High energy particle data", Report UCRL 2426, vol. II.