

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-59/3 (19. 1. 59)

R. Toschi: SPECIFICHE TECNICHE DELLO SPETTROMETRO A COPPIE.

Nota interna: n° 9
19. Gennaio 1959

R. Toschi: SPECIFICHE TECNICHE DELLO SPETTROMETRO A COPPIE

Lo spettrometro a coppie potrà essere usato sia per l'analisi spettrale del fascio gamma uscente dal Sincrotrone, che per esperienze di elettrodinamica ad alte energie. Esso è costituito essenzialmente dalle seguenti parti:

- 1) Magnete a mantello con bobina di eccitazione (vedi dis. AS 25/14 e AS 25/15)(+)
- 2) Camera a vuoto (parte interna ed esterna al magnete, vedi dis. AS 25/11, AS 25/12 e AS 46).
- 3) Convertitore e rivelatori degli elettroni.

Il peso dello spettrometro a coppie è intorno alle 19 tonn.; esso verrà sistemato su un apposito supporto che ne permetterà l'allineamento con movimenti nelle tre direzioni ortogonali (X, Y, Z) e rotazioni intorno all'asse Z passante per il centro del convertitore.

1) - Magnete a mantello e bobina di eccitazione

A) Dimensionamento del ferro.

Tenendo conto delle alte energie delle particelle da analizzare la forma più conveniente della pianta del traferro è quella trapezoidale (vedi fig. 1). Il convertitore è

(+) - Tutti i disegni citati in questa nota, sono a disposizione degli interessati presso l'ufficio progetti di questi Laboratori.

posto in prossimità della base minore (punto C), mentre sui lati obliqui del trapezio verranno sistemati i rivelatori. Con questa forma del polo conviene risolvere la struttura magnetica con un magnete del tipo a mantello cioè con due ritorni per il flusso nell'intraferro (vedi fig. 1). Tali ritorni sono stati sistemati lateralmente alla direzione del fascio di particelle incidenti per avere la possibilità di rivelare particelle anche di elevato momento (> 1000 MeV/c) all'esterno del magnete nella zona prospiciente alla base maggiore del trapezio. La bobina di eccitazione abbraccia il polo seguendo il più possibile la forma.

I dati di partenza del progetto del nucleo magnetico sono stati i seguenti:

- campo magnetico massimo dell'intraferro 2 Wb/mq
- altezza intraferro 100 mm con poli piani e paralleli entro $\pm 0,1$ mm
- superficie polare di forma trapezoidale: altezza del trapezio 850 mm, angolo fra i lati obliqui compreso fra 50° e 60° .
- peso totale (compresa bobina) minore di 20.000 Kg. Questo limite è imposto dalla portata del carroponete installato nella sala delle esperienze.

Dato l'alto valore dell'induzione richiesta nell'intraferro si devono evitare espansioni polari molto pronunciate cioè cave per il rame molto più alte dell'intraferro (vedi fig. 2). Infatti in tal caso l'induzione alla base del polo raggiungerebbe valori proibitivi a causa della gran quantità di flusso che sfuggirebbe dalle faccie laterali del polo. Questa esigenza è però in contrasto con l'altra, dovuta anche essa all'alto valore di B nell'intraferro, di disporre di un alto numero di amperspire. Per conciliare queste due esigenze, si è dovuto ricorrere ad alti valori di densità di corrente (~ 15 A/mm²) nei conduttori e quindi a potenze dissipate nelle bobine molto rilevanti e a si

stemi di raffreddamento molto spinti. A vantaggio di una soluzione di questo tipo è il minor peso complessivo del magnete che nel nostro caso rappresenta uno dei requisiti principali da soddisfare.

Per il calcolo del flusso attraverso le colonne di ritorno si è supposto trascurabile il flusso che sfugge dalla faccia laterale delle espansioni polari poichè queste sono poco pronunciate (15 mm); il flusso che investe la bobina può essere calcolato assumendo un valore di B nella cava per il rame decrescent^{linearmente}e da un massimo verso l'intraferro a zero verso il ferro.

Tutte le linee di flusso, per qualsiasi valore di R, sono concatenate con lo stesso numero di amperspire, mentre il cammino magnetico nel ferro è diverso per diversi valori di R e precisamente aumenta con R. Nel dimensionare le colonne si è fissata una induzione maggiore, (e quindi minore permeabilità) sui cammini magnetici più brevi in modo da ottenere, per ciascun cammino, la stessa riluttanza. Si è cercato così di ridurre le disuniformità di induzione nell'intraferro che altrimenti si sarebbero avute a causa della diversa lunghezza dei cammini.

B) Tipo di ferro

Il ferro del magnete è del tipo T 11 S della Terni fucinato a basso tenore di carbonio. Le caratteristiche magnetiche sono indicate nella curva di magnetizzazione (fig. 3). Si è controllato, su provini prelevati in diversi punti della massa del ferro, che, con una forza magneto-motrice di 30000 Asp/m, il valore dell'induzione non vari, da un provino all'altra per più di 0,08 Wb/mq. Su tali provini si sono anche controllate le caratteristiche meccaniche.

C) Lavorazione del ferro.

Il ferro del magnete è costituito da due gioghi, uno superiore (vedi dis. AS 25/4) e uno inferiore (vedi dis.

AS 25/5) e da due colonne distanziatrici (vedi dis. AS 25/6). Il giogo superiore viene collegato a quello inferiore, con interposte le colonne distanziatrici, mediante quattro bulloni. Quattro spine di riferimento garantiscono il perfetto accoppiamento delle varie parti; al giogo superiore sono applicati quattro golfari per il sollevamento dell'intero magnete, oppure del giogo superiore soltanto, mediante il carroponte.

Le tolleranze prescritte nelle lavorazioni delle superfici di accoppiamento e delle superfici polari sono tali da garantire l'uniformità dell'altezza dell'intraferro entro $\pm 0,1$ mm. Tale prescrizione sull'altezza dell'intraferro viene rispettata anche a magnete eccitato ed è ottenuta senza l'ausilio di spessori.

In prossimità del convertitore le espansioni polari di entrambi i gioghi sono prolungate verso l'esterno per migliorare l'uniformità del campo di circa 60 mm.

Sia nel giogo superiore che in quello inferiore tutto intorno ai poli si è realizzata una doppia scanalatura per ospitare le guarnizioni di tenuta della scatola a vuoto e le pareti della stessa.

Sul giogo superiore si sono eseguiti 36 fori cilindrici passanti (altezza 600 mm) per il passaggio delle guide di luce necessarie al funzionamento dei contatori a scintillazione da porsi nell'intraferro. Di tali fori sedici (vedi fig. 1 e dis. AS 25/4) aventi ϕ di 25 mm ($C_3, C_4, C_5 \dots \dots \dots C_{18}$) hanno i centri su due semirette partenti da C e simmetriche rispetto al piano verticale di simmetria del magnete e formanti tra loro un angolo di 54° e $8'$. La distanza del convertitore di tali fori è stata scelta in modo tale da potere effettuare l'analisi di tutto lo spettro dei momenti degli elettroni e positroni prodotti nel convertitore (da 100 MeV/c 1000 MeV/c, a 2 Wb/mq).

Altri quattordici fori con ϕ 35 mm ($C_{13}, C_{14} \dots \dots \dots$

C'_{16}) hanno i centri su circonferenze passanti per C tangenti all'asse di simmetria OO' e passanti per il centro dei fori corrispondenti della prima fila. I corrispondenti di C_{16} e C_{17} cadono fuori del polo e pertanto i loro rivelatori saranno posti all'esterno del magnete entro il prolungamento della scatola a vuoto (1).

Quattro fori (C_1 , C_2 , $C'_{1'}$, $C'_{2'}$) sono stati tracciati con criteri analoghi a quelli di cui sopra per un impulso di 50 MeV/c a 2 Wb/mq.

I fori C_{19} e C_{20} sono stati tracciati per impulsi da 600 MeV/c a 1,6 Wb/mq. Tutti i fori sono internamente alesati ed eseguiti con le precisioni indicate nel disegno.

Essi possono essere chiusi nel caso che non vengano utilizzati, ripristinando la continuità nel ferro, mediante tappi calibrati flangiati in testa provvisti di guarnizione per la tenuta del vuoto nell'intraferro.

D) Avvolgimento di eccitazione.

Con 2Wb/mq nell'intraferro, si è calcolato che le Asp assorbite nel ferro siano circa 60.000 e le Asp assorbite nell'intraferro siano circa 160.000.

L'avvolgimento di eccitazione è stato dimensionato per 250.000 Asp, conservando così un certo margine rispetto al valore calcolato.

L'altezza della cava per il rame non può essere molto maggiore di quello dell'intraferro e la sua larghezza la minima possibile per ridurre il flusso disperso e il peso del magnete compatibilmente con la potenza dissipabile nel

(1) - I contatori su questa seconda fila di fori saranno posti in coincidenza ciascuno con il corrispondente della fila contigua per escludere dal conteggio la maggior parte degli eventi spuri (prodotti per esempio da elettroni che urtano la bobina o le pareti della camera a vuoto).

l'avvolgimento.

Scegliendo un'alta densità di corrente (14,7 A/mm²) le dimensioni della cava per il rame sono risultate 126 x 230 mm² (v. fig. 2). L'avvolgimento di eccitazione, sistemato intorno ai poli, è costituito da quattro bobine a doppio disco, di cui due hanno le testate ripiegate verticalmente verso l'alto e due verso il basso, per lasciare libera la zona corrispondente al traferro.

Esso è raffreddato con circolazione di acqua all'interno del conduttore.

Le quattro bobine sono collegate elettricamente in serie, mentre dal punto di vista idraulico si hanno 24 percorsi in parallelo, essendo ciascun disco (in totale 8) diviso in 4 parti di 5 spire ciascuna.

Per permettere l'uscita dei tubetti di raffreddamento nei punti intermedi, sulla testata posteriore (base maggiore del trapezio), i dischi sono divisi in tre parti uguali di 5 spire ciascuna, distanziate tra di loro di 40 mm.

Il conduttore è in barre di lunghezza commerciale (4 + 5 metri) saldato in castolin. Il passaggio dell'acqua di raffreddamento tra l'avvolgimento ed i tubi collettori avviene attraverso i tubi di gomma.

Le due parti in cui è divisa la bobina sono ancorate l'una nel giogo superiore e l'altra a quello inferiore.

2) - Camera a vuoto

Per realizzare il vuoto entro l'intraferro si è progettata una struttura a scatola (vedi fig. 4 e dis. AS 46) in acciaio inossidabile costituita essenzialmente da due pareti fra loro collegate con due flange. Tale scatola viene posta tra le espansioni polari, con le pareti entro le apposite scanalature, e viene fissata ai gioghi superiore e inferiore mediante viti. Con l'ausilio di due guarnizioni

che corrono intorno al polo ~~dentro apposite scanalature~~ si viene a realizzare un accoppiamento a tenuta di vuoto fra detta scatola e le espansioni polari del magnete. Alle due flange possono venire applicati (vedi dis. AS 25/11 e /12) all'ingresso un tubo verso i collimatori con gli attacchi per le pompe del vuoto e all'uscita una scatola con fori per la sistemazione di eventuali contatori esterni.

Per il montaggio della scatola a vuoto si alza con il carro-ponte il giogo superiore che si muove entro le apposite spine di riferimento ancorate al giogo inferiore, si infila poi la scatola con le guarnizioni indi si riabbassa il giogo superiore che preme sulle guarnizioni realizzando la tenuta.

Avendo usato le espansioni polari stesse come parete superiore e inferiore della scatola non si perde nulla nell'altezza dell'intraferro e nella sua precisione oltre a semplificare la tenuta della scatola stessa.

RIASSUNTO DEI DATI RELATIVI ALLO SPETTROMETRO A COPPIEMAGNETE

- Tipo di ferro A11S Terni fucinato e basso tenore di carbonio 30000 Asp/m a 2Wb/mq
- Altezza intraferro 100 mm \pm 0,5 mm
- Poli piani e paralleli entro \pm 0,1 mm a pianta trapezoidale (altezza 850 mm basi 300 e 1100 mm)
- Induzione massima nell'intraferro : 2 Wb/mq
- Peso del ferro : 17800 Kg.
- Fori nel giogo superiore per rivelatori 20 ϕ 25, 16 ϕ 30

AVVOLGIMENTO DI ECCITAZIONE

- Amper spire totali : 250.000
- numero di spire : 8 x 15 = 120
- conduttore : quadro rame Wirebars 13,5 x 13,5mmq con spigoli arrotondati r=1 mm, con foro centrale ϕ 7 mm. Sezione utile 144 mmq.
- resistenza (a 90°) : 0,09 ohm
- induttanza : $57 \cdot 10^{-3}$ H
- corrente : 2100 A c.c.
- Tensione (a 90°) : 185 V c.c.
- densità di corrente : 14,7 A/mmq
- portata acqua raffreddamento : 1,3 lt/sec. (\pm v. pag. 9)
- sovratemperatura dell'acqua di raffreddamento : 70°C
- pressione dell'acqua di raffreddamento : \sim 3 Atm
- peso dell'avvolgimento : \sim 750 Kg.
- Isolamento : l'isolamento della bobina è in classe B e precisamente:

- di spira : 2 nastre a $1/2$ sovrapposizione di na
stro mica 20 x 0,12;
 - di bobina a doppio disco : 1 na
stratura a $1/2$ sovrapposizione di na
stro mica 20 x 0,12;
 - di due bobine a doppio disco : 2 na
strature a $1/2$ so
vrrapposizione di na
stro mica 20 x 0,12; 1 na
stratura a $1/2$ sovrapposizione di na
stro cotone 20 x 0,14, e
bachelizzazione con pressatura dei tratti diritti e
della testata posteriore.
- Prove :
- di isolamento verso massa: 2000 V ca. 50 p/sec per 1/mi
 - di tenuta del circuito dell'acqua di raffreddamento:
10 atm. per 10'
 - di resistenza di isolamento di ogni doppio disco ri-
spetto agli altri e massa: maggiore o uguale a 20.000
ohm misurati a 200 Vcc.

(+) - L'acqua di raffreddamento, distillata, circola in cir-
cuito chiuso e viene raffreddata in uno scambiatore
di calore.

IMPIANTO DI ECCITAZIONE

Gruppo convertitore motore asincrono - dinamo

Dinamo

- Potenza	600 kW
- Corrente massima	3000 A
- Tensione massima	200 V
- Eccitazione separata	120 V
- Velocità	970 g/minuto
- stabilizzazione di corrente	$\pm 0,1\%$ del valore massimo

Motore asincrono

- Potenza	890 CV
- Tensione	3000 V
- Frequenza	50 p/sec
- Poli	6
- Velocità	970 g/min.

CENNI SULLE PROPRIETA' OTTICHE DELLO
SPETTROMETRO

Chiamiamo ϕ l'angolo di deflessione e r il raggio di curvatura delle traiettorie. (vedi fig. 1)

1) Caso in cui i rivelatori sono posti entro l'intraferro

Matrice delle deviazioni orizzontali

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} X & & \cos \phi & r \operatorname{sen} \phi & -r(1 - \cos \phi) & x_0 \\ X' & = & -\frac{1}{r} \operatorname{sen} \phi & \cos \phi & -\operatorname{sen} \phi & x'_0 \\ \frac{\Delta p}{p} & & 0 & 0 & 1 & \frac{\Delta p}{p} \end{array}$$

Matrice delle deviazioni verticali

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} Z & & 1 & r \phi & & Z_0 \\ Z' & = & 0 & 1 & & Z'_0 \end{array}$$

Dispersione

$$\frac{\Delta x}{\Delta p/p} = r(1 - \cos \phi) \quad (1)$$

Per i contatori posti in corrispondenza dei fori fatti nel giogo superiore si danno nella tabella seguente i valori di r , ϕ e $\Delta p/p$ (quest'ultimo per $\Delta x = 10$ mm).

	r (mm)	ϕ	$\Delta p/p$
C ₁	83	83°40'	
C ₃	164	54°8'	14,3%
C ₅	252	"	9,3%
C ₇	340	"	6,9%
C ₉	428	"	5,5%
C ₁₁	515	"	4,6%
C ₁₃	603	"	3,7%
C ₁₅	910	"	2,6%
C ₁₇	998	"	2,4%
C ₁₉	1287	30°20'	5,7%

Nella determinazione del potere risolutivo si potrà trascurare il contributo dovuto alla fluttuazione col tempo del campo (la corrente è stabilizzata all'1°/100). Sarà invece rilevante quello dovuto alla disuniformità del campo nell'intraferro conseguenza dell'assimetria nel circuito magnetico. Dalle misure effettuate sul modello dello spettrometro tali disuniformità possono arrivare fino a qualche % in corrispondenza dei fori più lontani dal convertitore a 2 Wb/mq.

2) Caso in cui i rivelatori siano posti all'esterno dell'intraferro (punto C₀ - fig. 1)

Matrice delle deviazioni orizzontali

$$\begin{vmatrix} x \\ x' \\ \frac{\Delta p}{p} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & l & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{\text{tg}\alpha}{r} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\phi & r \text{ sen}\phi & -r(1 - \cos\phi) \\ -\frac{\text{sen}\phi}{r} & \cos\phi & -\text{sen}\phi \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ \frac{\Delta p}{p} \end{vmatrix} =$$

$$\begin{vmatrix} (1 + \frac{l}{r} \text{tg}\alpha) \cos\phi - \frac{l}{r} \text{sen}\phi & (1 + \frac{l}{r} \text{tg}\alpha) r \text{ sen}\phi + l \cos\phi & -r(1 - \cos\phi) (1 + \frac{l}{r} \text{tg}\alpha) + l \text{sen}\phi \\ \frac{\text{tg}\alpha}{r} \cos\phi - \frac{l}{r} \text{sen}\phi & \text{sen}\phi \text{tg}\alpha + \cos\phi & -(1 - \cos\phi) \text{tg}\alpha - \text{sen}\phi \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ \frac{\Delta p}{p} \end{vmatrix} =$$

Matrice delle deviazioni verticali

$$\begin{vmatrix} z \\ z' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{\text{tg}\alpha}{r} & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & r\phi \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} z_0 \\ z'_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - \frac{l}{r} \text{tg}\alpha & (1 - \frac{l}{r} \text{tg}\alpha) r\phi + l \\ -\frac{\text{tg}\alpha}{2} & -\phi \text{tg}\alpha + 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} z_0 \\ z'_0 \end{vmatrix}$$

Dispersione

$$\frac{\Delta x}{\Delta p/p} = r(1 - \cos\phi) (1 + \frac{l}{r} \text{tg}\alpha) + l \text{sen}\phi$$

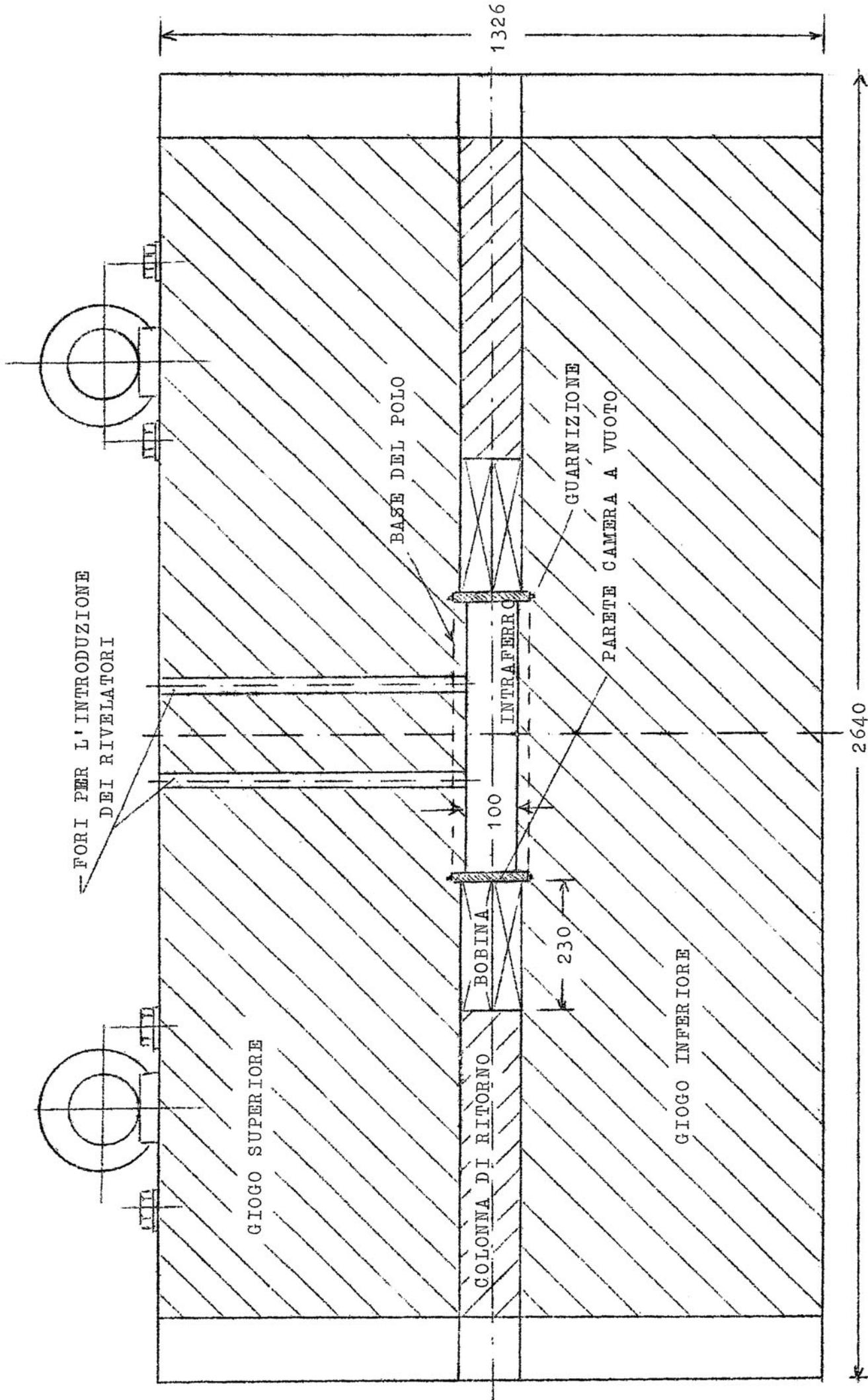


FIG. 2 - SEZIONE DEL MAGNETE CON UN PIANO VERTICALE

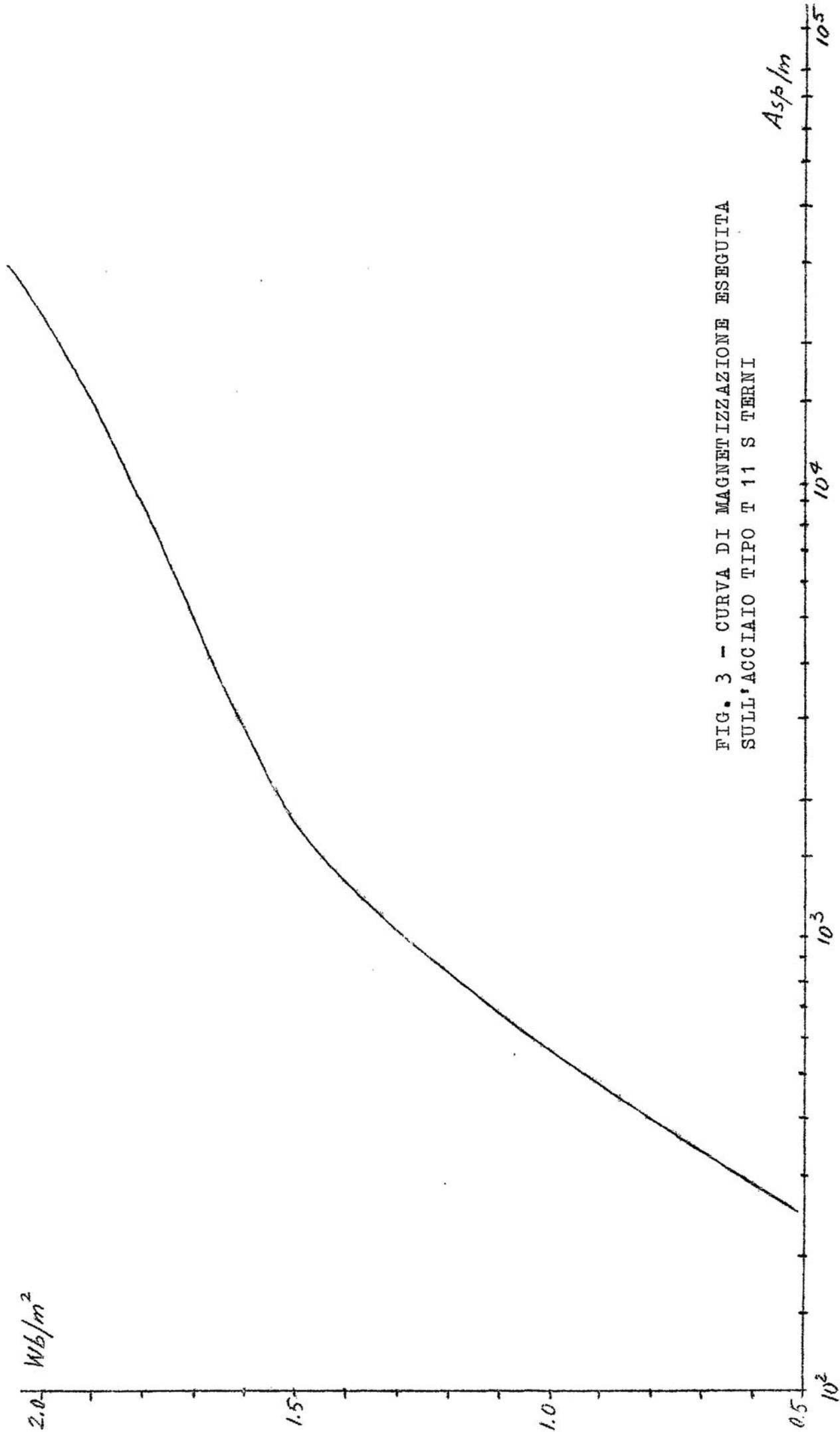


FIG. 3 - CURVA DI MAGNETIZZAZIONE ESEGUITA
SULL'ACCIAIO TIPO T 11 S TERNI

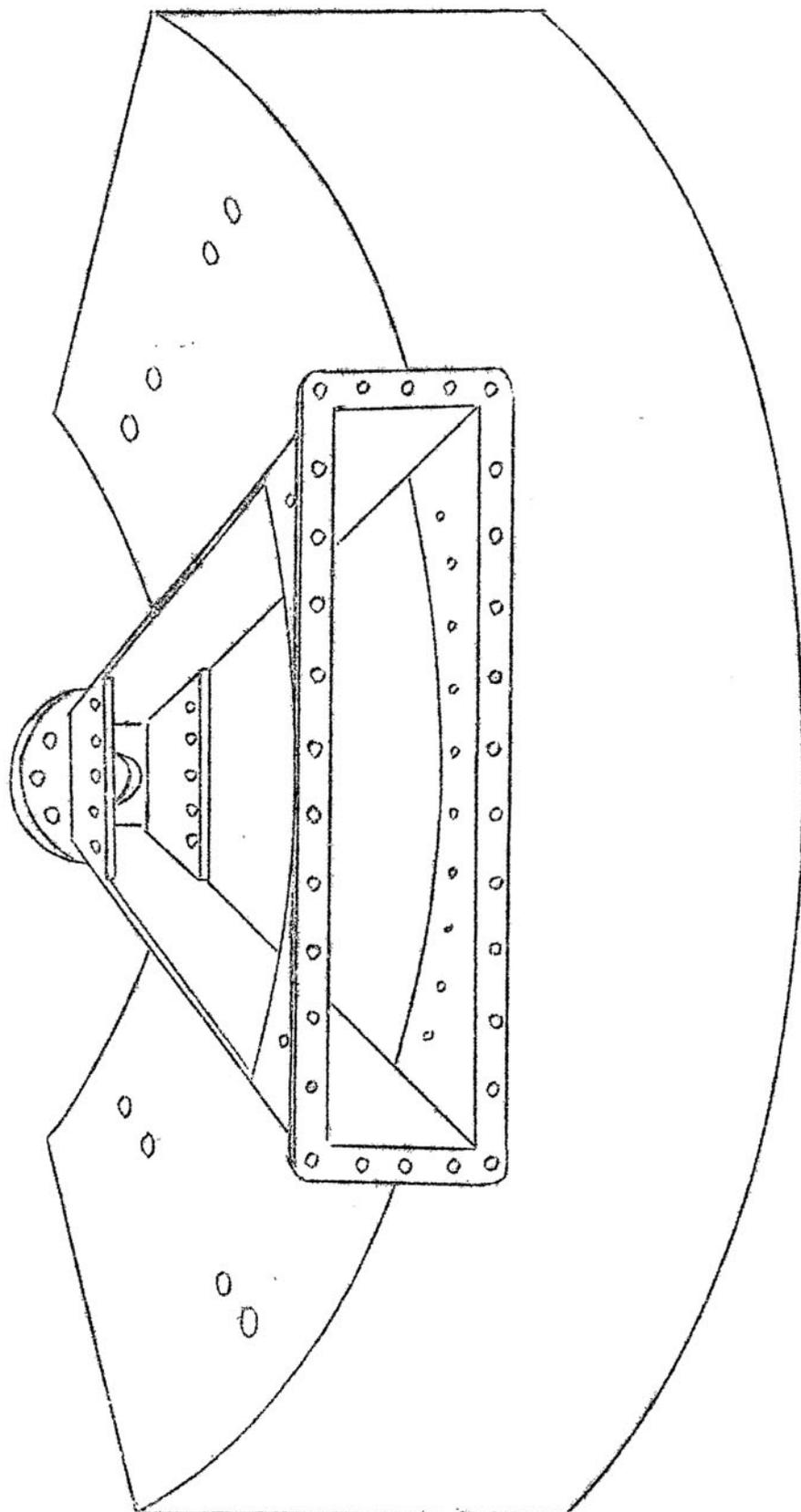


FIG. 4 - CAMERA A VUOTO SUL GIOGO INFERIORE