

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-62/120 (1920)

G. Corazza, G. Sacerdoti: L'ELETTROSINCROTRONE: TECNOLOGIA  
E COLLAUDI DEL MAGNETE.

Estratto dal: Nuovo Cimento, Suppl. 24, 112 (1962)

## CAPITOLO II

### Tecnologia e collaudi del magnete.

G. CORAZZA e G. SACERDOTI

#### 1. - Il ferro del magnete.

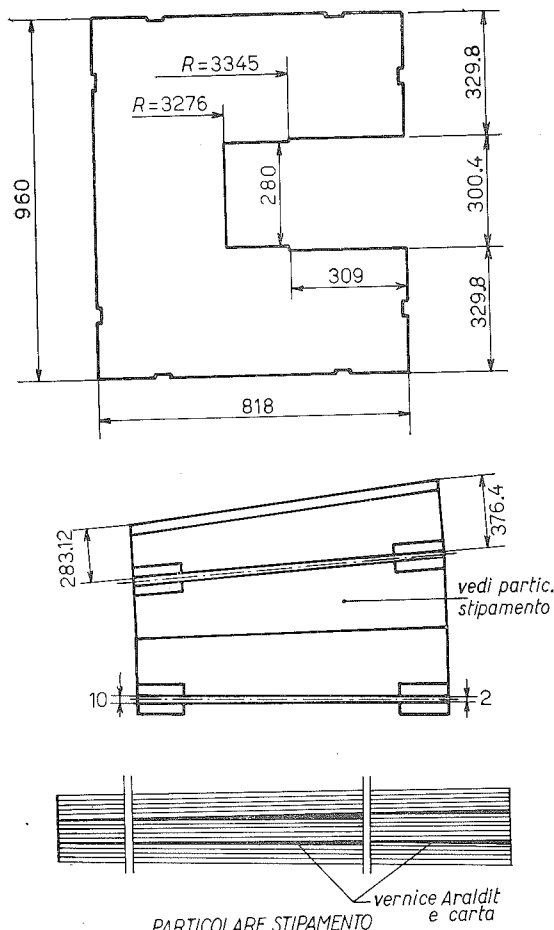


Fig. III.11.1.

Come già descritto nel Cap. I di questa parte il magnete è costituito da 64 blocchi a C di lamierino magnetico per trasformatori sui quali sono sistemate le espansioni polari, costituite da blocchi di lamierini dello spessore di 5 cm.

I blocchi a C furono ottenuti incollando fra loro, con araldite tipo XV della CIBA, lamierini di ferro tipo D MAX 19 della ARMCO. Il tipo di ferro, dello spessore di 0.35 mm, fu scelto in base alle proprietà magnetiche (perdite, campo coercitivo, induzione di saturazione, ecc.) ed alla uniformità di spessore che le lamiere presentavano. Questa ultima esigenza era giustificata dal fatto che si richiedevano alte precisioni meccaniche nella geometria dei blocchi con un coefficiente di stipamento elevato (0.92). Problema questo di notevole difficoltà tecnologica, date le grandi dimensioni dei

blocchi a C ( $818 \times 960$  mm<sup>2</sup>) e la forte curvatura, per cui la corda esterna di ciascun blocco (Fig. III.11.1) è circa il 30% maggiore della corda interna.

Il procedimento di incollatura fu studiato su campioni e modelli presso i nostri Laboratori e fu perfezionato presso l'Ansaldo San Giorgio con i tecnici della Ditta. Nelle prove preliminari furono preparati pacchi di lamierini con diversi procedimenti ed i risultati medi sono riassunti nella Tabella I.

TABELLA I. - Risultati delle prove incollaggio lamierini (i risultati sono indicativi, alcuni di essi dipendono molto dagli accorgimenti usati).

Procedimenti di impacchettamento	Isolamento elettrico	Coefficiente di stipamento	Resistenza meccanica
Lamierini sabbiati e semplicemente incollati con Araldite	scarso	buono ( $\geq 0.94$ )	ottimo
Lamierini sabbiati preisolati con Araldite su una faccia e incollati	suffic.	scarso ( $< 0.90$ )	buono
Lamierini ricoperti con Carlyte ed incollati	suffic.	buono ( $> 0.94$ )	scarso
Lamierini incollati interponendo carta per isolamento	buono	scarso ( $< 0.90$ )	suffic.
Lamierini semplicem. incollati senza levare l'ossido superficiale	suffic.	buono ( $\geq 0.92$ )	suffic.
Lamierini fosfatizzati ed incollati	buono	buono ( $\geq 0.92$ )	buono

Per la costruzione dei blocchi si è proceduto come segue.

I fogli di lamierini quali venivano dalla fabbrica furono mescolati fra loro per evitare che derive eventuali nella produzione degli stessi potessero essere causa di disuniformità azimutali del magnete.

Il procedimento di impacchettamento scelto è stato l'ultimo di quelli segnati in Tabella in quanto, oltre a soddisfare le esigenze costruttive, garantiva uniformità di risultati. Tale procedimento inoltre aveva il vantaggio che durante

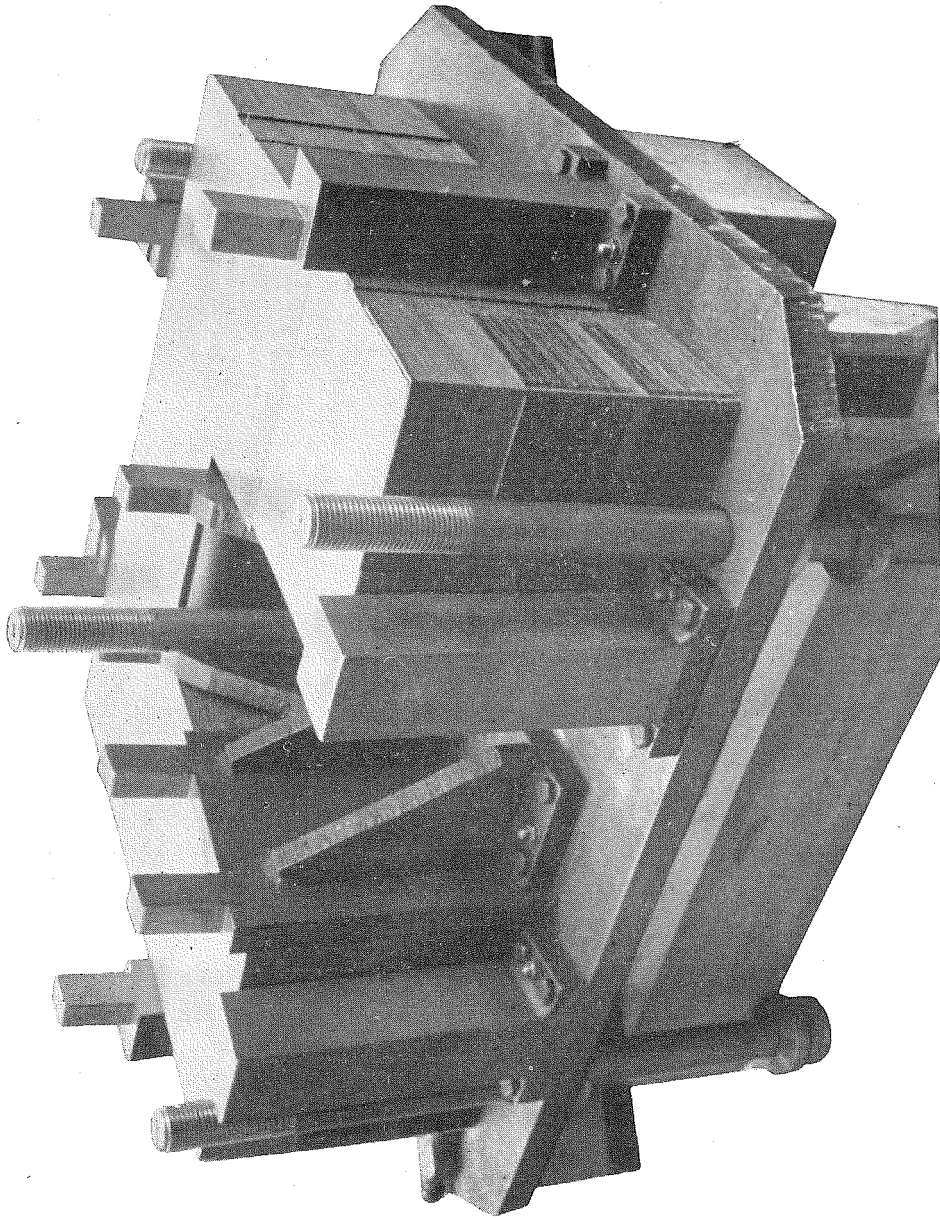


Fig. III.11.2. - a) stampo impaccamento per blocchi a C.

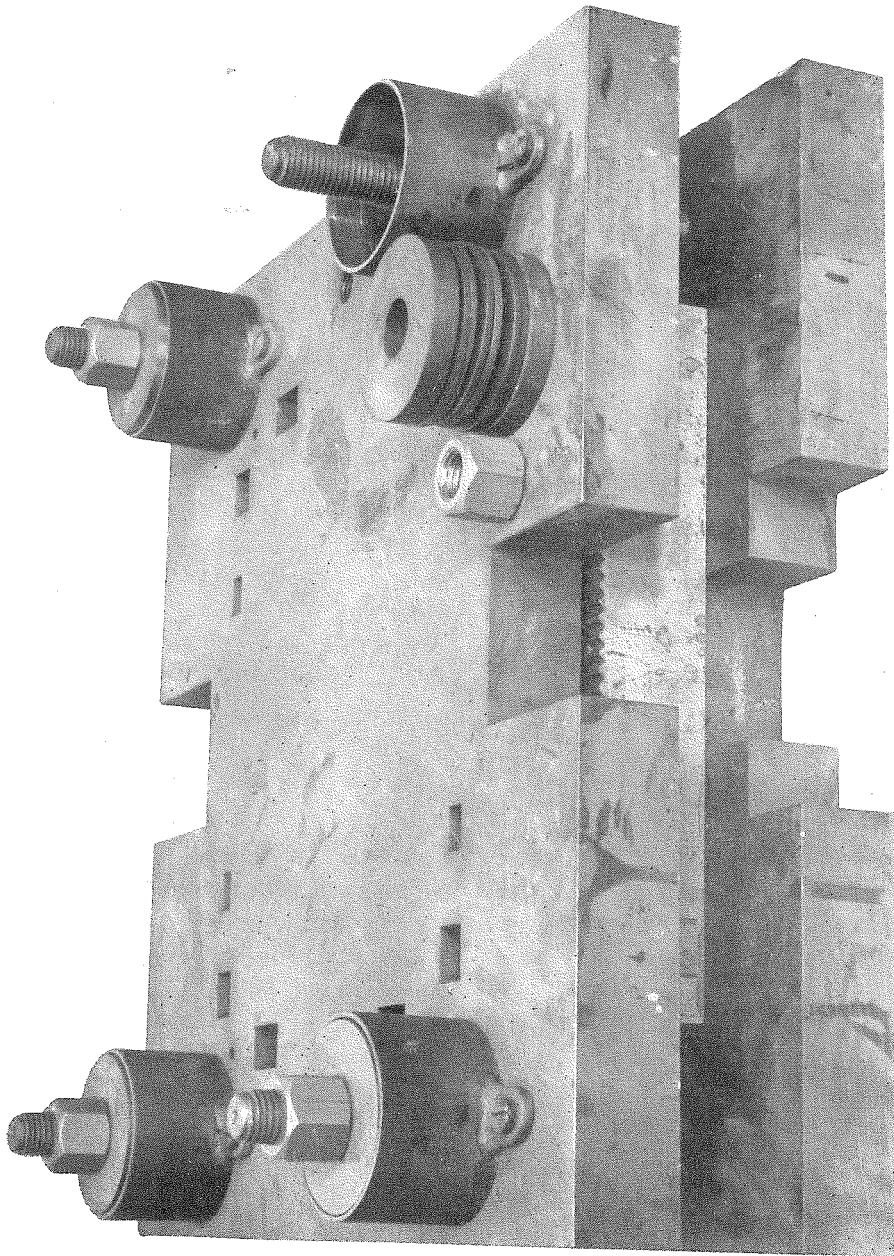


Fig. III.11.2 - b) stampo impaccamento per i poli.

la fosfatizzazione dei lamierini si venivano a togliere le bave di tranciatura che nell'impacchettamento potevano dare origine a corti circuiti sui blocchi.

Le lamiere così mescolate passarono alla tranciatura dei C. Questa fu eseguita dopo una pretranciatura quasi a misura, per eliminare le tensioni interne dei lamierini.

I lamierini tranciati passarono quindi alla fosfatizzazione. Nella fosfatizzazione fu necessario eseguire controlli accurati dei bagni per evitare sia una troppo decisa azione superficiale che avrebbe potuto assottigliare il lamierino, sia per evitare «fanghi» i quali avrebbero ostacolato l'incollatura.

L'aderenza della fosfatizzazione veniva controllata incollando e strappando un nastro adesivo dalle pareti del lamierino. Quando il trattamento era eseguito a regola d'arte il nastro presentava solo poche tracce della fosfatizzazione.

I lamierini così trattati, dopo essere stati sgrassati con vapori di trielina, passavano all'araldizzazione.

Un nastro trasportatore trascinava i lamierini araldizzati in una zona a 140 °C per l'evaporazione del solvente mescolato all'araldite.

I lamierini venivano poi impaccati in uno stampo (Fig. III.11.2). Lo stampo, risultato di parecchi tentativi e perfezionamenti, aveva per riferimenti principali un piano su cui poggiavano le superfici interne dell'ala inferiore del C e dei settori opportunamente sagomati per ottenere la giusta curvatura. Una piastra superiore collegata con dei tiranti alla base dello stampo bloccava il pacco su riscontri di riferimento.

Il piano di riferimento per l'ala del C permetteva di ottenere un'ottima superficie di appoggio delle espansioni polari: infatti a differenza delle altre superfici, dalle quali l'araldite usciva durante la cottura, per la pressione della piastra superiore, questa rimaneva completamente pulita.

La curvatura dei blocchi era ottenuta inserendo, durante l'impaccatura, spezzoni di lamierino fissati con punti di saldatura in corrispondenza delle ali del C (circa uno spezzone ogni 5 lamierini).

A polimerizzazione avvenuta era necessario prolungare il raffreddamento per parecchie ore onde evitare che i blocchi si fessurassero a causa di tensioni interne provocate da un rapido raffreddamento.

Il procedimento di impacchettamento dei poli è stato identico a quello descritto per i blocchi a C. Sullo stampo di impaccatura i poli poggiavano su un piano corrispondente al piano di appoggio dei poli stessi e contro questo erano bloccati mediante due montanti in corrispondenza di risalti laterali (Fig. III.1.5).

La curvatura era ottenuta con spessori di carta giapponese opportunamente distribuiti.

Sia i blocchi dei C che i pacchi dei poli furono minuziosamente controllati

con strumenti di misura opportunamente costruiti. Ogni blocco era stato numerato e ne fu redatta la carta d'identità.

I controlli eseguiti furono:

a) distanza dei piani di appoggio delle espansioni polari: l'apertura presentava uniformità tra un lamierino e l'altro di  $\pm 1/100$  mm;

b) planarità del piano di appoggio dei poli: la planarità era contenuta entro  $\pm 5/100$  mm;

c) lunghezza delle corde (interna ed esterna) dei pacchi: uniformità entro  $\pm 1$  mm;

d) peso (dal peso e dal volume si ricavava il coefficiente di stipamento): uniforme entro il 5%;

e) freccia max di curvatura delle pareti laterali dei blocchi:  $< 2$  mm;

f) resistenza al taglio dei blocchi: la resistenza è stata controllata su alcuni blocchi mediante una pressa;

g) resistenza elettrica d'isolamento tra i lamierini dei blocchi di magneti:  $> 20$  ohm/cm<sup>2</sup>.

## 2. - La bobina di eccitazione.

La bobina di eccitazione principale è costituita da un avvolgimento di 12 spire (6 spire costituiscono la bobina superiore e 6 quella inferiore) di 44 conduttori trasposti delle dimensioni di  $(5.3 \times 7.3)$  mm<sup>2</sup>. Il raffreddamento è ottenuto mediante due guaine di rame, per ciascuna zona, sulle quali è saldato un tubo di rame a sezione ovale per il passaggio dell'acqua (Fig. III.1.6).

Il procedimento tecnologico seguito per la costruzione della bobina, nei suoi passi principali, è stato il seguente.

Il conduttore, avvolto in una guaina di tessuto di vetro non apprettato, fu tagliato alle giuste dimensioni e sagomato per la trasposizione. Durante questa operazione l'isolamento elettrico alle piegature fu rinforzato con un doppio strato di micasetta. Le estremità dei conduttori venivano denudate e ravnivate. Con i conduttori così ottenuti si formavano le barre le quali subivano una prima sagomatura su attrezzi di legno, dopodichè erano impregnate di bakelite. Evaporato il solvente, le barre erano pressate a freddo entro uno stampo di ferro e cotte ad una temperatura di 150 °C per circa 10 ore. Dopo questa operazione si avevano le zone perfettamente sagomate a misura. Sopra

queste furono sistemate le guaine di rame e i tubicini di raffreddamento dopodichè si passò ad una seconda impregnazione in autoclave e sotto vuoto.

Ultimato questo trattamento le zone furono isolate con 4 strati di mica-cartta ed 1 strato di cotone, i quali a loro volta furono impregnati in autoclave e sotto vuoto.

Con le zone così composte fu formata la bobina che venne ulteriormente isolata e racchiusa, per protezione, entro una scatola di bakelite.

La bobina finita fu collaudata conformemente alle Norme C.E.I. con risultati soddisfacenti.

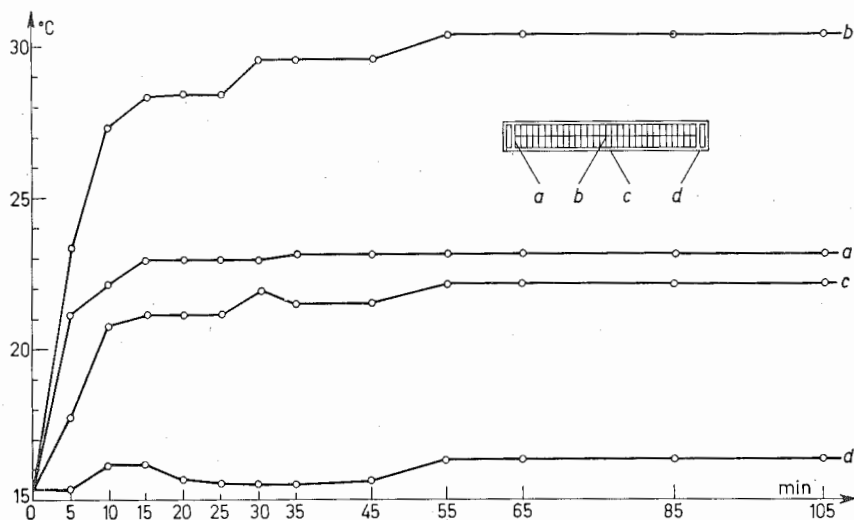


Fig. III.11.3. - Diagramma delle temperature dedotto da misure eseguite su una barra di prova. Raffreddamento ad acqua: 3 l/min; lunghezza barra trasposta=1.50 m; densità di corrente=3 A/mm<sup>2</sup>; sezione=1375 mm<sup>2</sup>; temperatura delle saldature ai capi della barra=50 °C (misura n. 3 del 17-11-1956).

In Fig. III.11.3 è riportato un diagramma relativo alle temperature rilevate su una barra di prova alimentata in corrente continua. La prova è stata eseguita con una densità di corrente di 3 A/mm<sup>2</sup> su una sezione di 1375 mm<sup>2</sup> mentre le condizioni normali per una energia dell'elettrosincrotrone di 1000 MeV sono di 2.1 A/mm<sup>2</sup> su una sezione di 1700 mm<sup>2</sup>.



### 3. - Gli avvolgimenti di correzione (\*).

Nella Fig. III.II.4 si dà una sezione del traferro del magnete e dei poli dalla quali appare la disposizione degli avvolgimenti.

Con il no. 1 sono indicati gli avvolgimenti polari costituiti da 83 fili di rame  $\varnothing 14/10$  isolati con doppio strato di formivex e rivestiti con materiale termoplastico dello spessore di 0.4 mm, tensione di prova 2000 V. Questi fili affiancati sono stati incollati fra loro con un nastro di tela di vetro con araldite tipo D della ditta CIBA polimerizzante a freddo.

La rivestitura termoplastica dei fili adoperati per i tappetini polari fu scelta in 10 colori diversi. In questo modo, raggruppando i fili alla testata del tappeto in gruppi di 10 e seguendo il codice dei colori usato comunemente in elettronica, è stato possibile, nella fase di collegamento alle morsettiere, riconoscere la posizione di ciascun filo del tappeto.

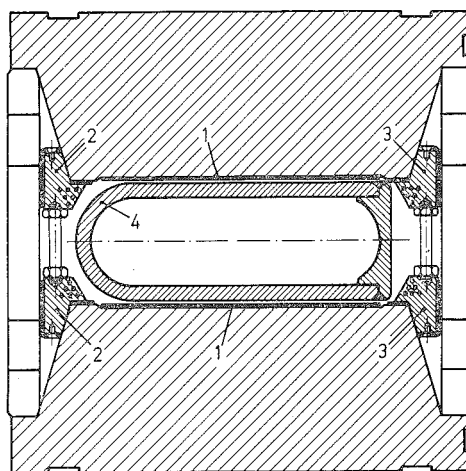


Fig. III.II.4. - Sezione del traferro completa di camera a vuoto (ciambella) e circuiti di correzione: 1) tappeti polari; 2) e 3) circuiti di correzione forte; 4) ciambella.

Nella Fig. III.II.5 si possono vedere i tappetini polari sistemati sulle facce superiore ed inferiore dei poli ed i circuiti di « correzioni forti » interni sostenuti da martinetti isolanti.

I circuiti di « correzioni forti » sono indicati in Fig. III.II.4 con il n. 2-3.

In sede di montaggio i circuiti di correzioni forti esterni non furono montati per le ragioni descritte nel Cap. VIII, Sez. 1, di questa Parte III.

(\*) Gli avvolgimenti di correzione sono stati realizzati dal Gruppo Tecnologie e particolarmente curati dal Dr. R. HABEL.

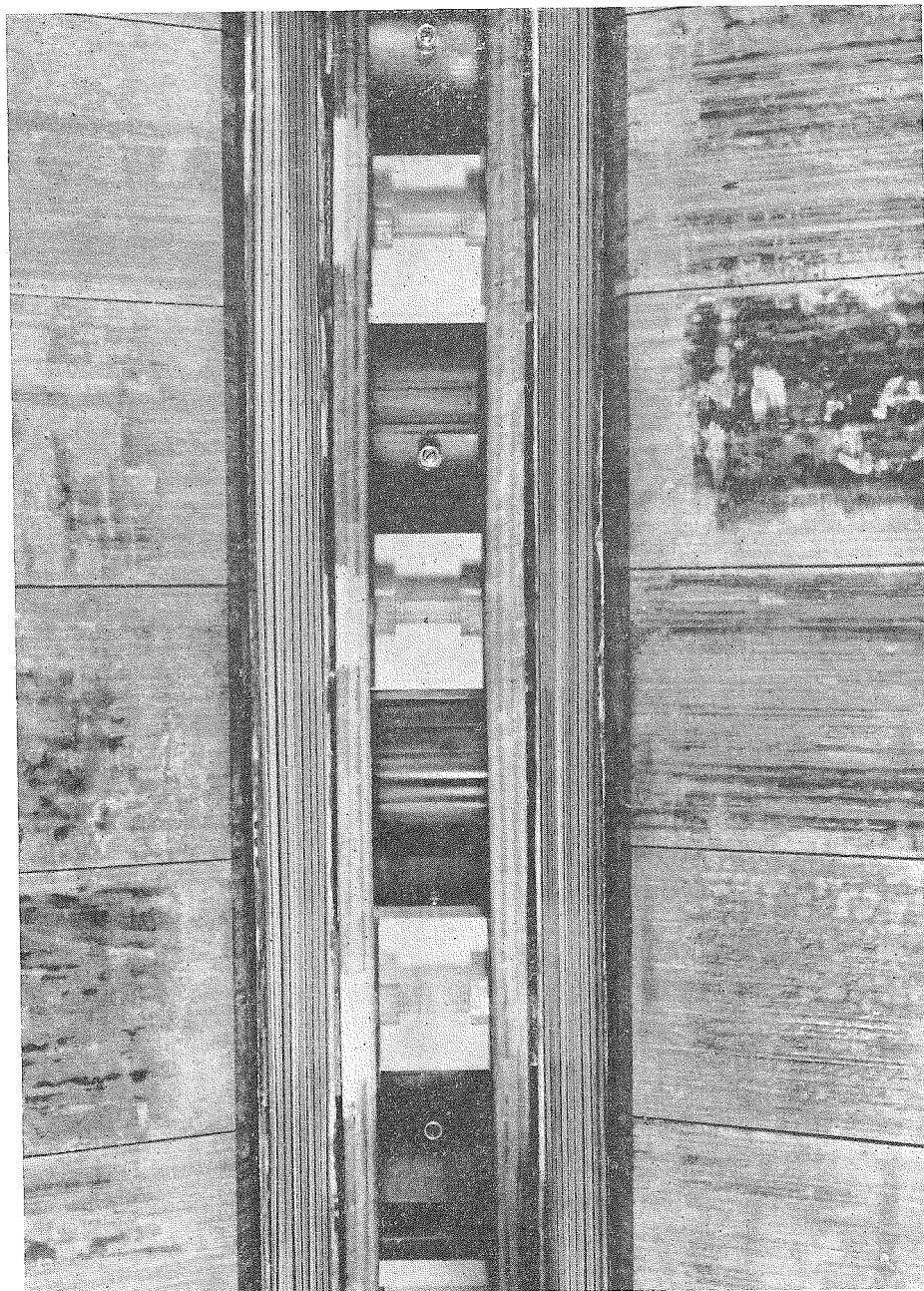


Fig. III.11.5. - Vista dell'interno del traferro completo di tappeti polari e correzioni forti interne.

I ritorni dei circuiti correttivi di cui sopra sono stati sistemati in 4 cave ricavate nella bakelite delle bobine di eccitazione verso la gamba di ritorno del magnete.

Per ciascuna cava fu realizzato un pacchetto di fili in 4 strati incollati fra loro con araldite tipo *D* polimerizzante a freddo e nastrati in blocco con nastro di seta da 5/100 mm. Ciascun pacco è formato da 60 fili; l'ultimo strato di 15 fili verso il ferro di tre pacchetti è stato adoperato per avvolgere la gamba di ritorno del magnete per le correzioni di campo azimutali, di prima, seconda, terza armonica e di  $B_z$  alle testate.