

Laboratori Nazionali di Frascati

LNf-54/37 (29. 10. 54)

G. Sacerdoti: PROMEMORIA SUL MAGNETE DEL SINCROTRONE DA
1000 MeV.

**PRO-MEMORIA SUL MAGNETE DEL SINCROTRONE
DA 1000 MeV**

(Le informazioni che seguono hanno lo scopo di illustrare il Sincrotrone Italiano per quanto riguarda il magnete.)

1.- Generalità sulla struttura del magnete per il Sincrotrone Italiano dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.-

Presso l'I.N.F.N. è in corso lo studio per la progettazione di un sincrotrone da 1000 MeV per elettroni. Questo sincrotrone è una macchina nucleare che serve a produrre elettroni e fotoni di alta energia.

Gli elettroni vengono accelerati entro un condotto a forma di ciambella ove viene fatto il vuoto. Il condotto passa tra le espansioni polari di un magnete ove un campo magnetico di intensità crescente obbliga gli elettroni a percorrere una traiettoria chiusa di forma pressochè circolare.

Il magnete (cfr. disegno MA 59 T2) è diviso in quattro quadranti interrotti da sezioni diritte. Ogni quadrante è costituito da un solido di rotazione la cui figura generatrice è rappresentata nel disegno allegato MA 59 T2). L'intraferro entro cui passano gli elettroni si trova tra i poli PP. Il campo magnetico entro questo intraferro deve essere realizzato con notevolissima precisione per evitare che gli elettroni vadano a sbattere contro le pareti del condotto (ciambella) entro il quale devono scorrere; e pertanto il magnete deve essere costruito con grande precisione; precisi devono essere i pezzi, facile e preciso il montaggio di questi. Il ferro del magnete sarà lamierino di circa 3/10 di mm di spessore, in quanto che il magnete sarà eccitato a una frequenza di 25 periodi al secondo. La struttura del magnete deve quindi presentare sufficienti garanzie di solidità

per gli sforzi elettromagnetici alternati a cui viene assoggettata.

2. - Illustrazione dei dati di massima per il sincrotrone.-

Colla collaborazione dei teorici sono stati stabiliti i seguenti dati di partenza per il sincrotrone da 1 BeV (cfr. disegni allegati: MA 58 T2 ed MA 59 T2)

altezza intraferro	80 mm
larghezza intraferro	210 mm
raggio della traiettoria media dell'intraferro del magnete	3330 mm
B_{max} intraferro	10000 gauss (1 Wb/m ²)

In base a questi dati si sono dedotti altri dati:

larghezza base poli	275 mm
altezza finestra rame	260 mm
larghezza finestra rame	110 mm
altezza massima lamierini	810 mm
larghezza radiale massima lamierino	660 mm
raggio massimo lamierini	3462,5 mm
raggio minimo lamierini	2802,5 mm
lunghezza sezioni diritte	1000 mm
lunghezza tratto sezioni diritte che deve esser lasciato libero per altri usi (radiofrequenza)	650 mm

Questi dati potrebbero esser modificati solo dopo discussione con noi.

3. - Illustrazione della soluzione verso la quale si è attualmente orientati.-

In questi mesi si sono fatti i calcoli di massima per determinare i lineamenti fondamentali della struttura del nostro magnete. In base a questi calcoli abbiamo tracciato il progetto esposto nei disegni (cfr. disegni MA58T2, MA59T2, MA60T2, MA61T2, MA62T2). Questi disegni contengono come si vede elementi costruttivi. Ciò nonostante ci rendiamo conto che essi sono ancora provvisori ed insufficienti.

Non riteniamo però opportuno approfondire ulteriormente i particolari costruttivi del progetto senza prima consultarvi, poichè certamente voi sarete portati a definire la struttura del magnete secondo la vostra esperienza e il vostro stile.

Illustriamo ora i nostri disegni suddetti, e successivamente il lustreremo alcune varianti ed alternative che abbiamo anche preso in considerazione, e che sono indicate nei disegni MA43T1, MA49T1 etc.

Nel disegno MA59T2 si può vedere un insieme del magnete del nostro sincrotrone: i quattro quadranti e le quattro sezioni diritte vi appaiono con chiarezza. Nel disegno, le lettere P, si riferiscono ai piastroni terminali di ogni quadrante del magnete; essi servono da "ferma libri" per i lamierini che costituiscono il magnete. I lamierini si ottengono per punzonatura in un unico pezzo; i poli sono applicati successivamente al magnete. Questi ultimi particolari si possono rilevare dal disegno MA58T2.

I simboli P si riferiscono ai poli: sono ottenuti incollando i lamierini e inserendo ogni n lamierini mezzo lamierino per ottenere la curvatura; vengono riferiti radialmente al C del magnete attraverso una cerchiatura di isolante F, (o materiale plastico) sottile 2 + 3 mm onde rendere più regolare la superficie di riferimento dei lamierini. Contro di essa vengono sospinti da spingenti orizzontali che li premono al reverso una fascia isolante analoga a quella interna.

Gli sporgenti S orizzontali (vedi sempre disegno MA58T2), distanziati 50+60 cm possono esercitare la pressione facendo perno sui montanti verticali C (colonnine) che a loro volta si imperniano sulla base e sulla piastra superiore del sincrotrone. La piastra superiore ha l'ufficio di esercitare una pressione stabilizzatrice sul pacco dei lamierini.

Il riferimento reciproco dei poli viene ottenuto mediante colonnine di plexiglass, contrassegnate nel disegno MA58T2 con la lettera B, che stanno tra le fasce continue isonalti A su cui si appoggiano le spalle dei poli: tubi di pressione posti in F tra il polo superiore e il C rendono solido e immobile tutto l'insieme. Questo tipo di struttura è stato suggerito dal sincrotrone montato alla Cornell University.

Da questo disegno MA58T2 si possono rilevare anche alcuni dettagli sull'andamento della bobina di eccitazione. La bobina è costituita da 12 spire per quadrante, e di essa nel disegno si vedono le sezioni B_1 , B_2 , B_3 . Si può rilevare che i conduttori interni sono di diverse spessore. Questo è stato previsto per diminuire le perdite per correnti di Foucault. Il pacco dei conduttori interni si trova entro una scatola di isolante, in modo che, tolti i poli, il pacco può essere levato dal C in un singolo pezzo.. I conduttori esterni sono divisi in due pacchi, uno superiore e l'altro inferiore, e sono sostenuti da un involucro metallico rinforzato da nervature N che si vanno ad avvitare alle colonne C su cui si imperniano anche gli spingenti S e di cui abbiamo già precedentemente parlato.

Nel disegno si possono anche vedere la sezione delle guide G dei lamierini. Queste guide, sulle quali a mezzo scannellature scorrono i lamierini, servono di riferimento nel montaggio e sono fissate due al banco ottico PA e due alla lastra superiore. Però l'ufficio per cui ciascuna (riferimento radiale o orizzontale) è preveduta, è legato alla struttura azimutale che si sceglie, ed essendo noi ancora incerti su questo argomento non possiamo precisare completamente gli uffici specifici di queste guide.

Nel disegno MA60T2 si può rilevare la struttura azimutale del magnete. Il pacco di lamierini dovrebbe essere incollato (la funzione delle guide è in tal modo solo parziale): la curvatura verrebbe, secondo questo disegno, ad essere ottenuta in modo continuo mediante l'inserzione di parti di lamierini verso la periferia esterna del magnete. Si può rilevare questo particolare della struttura dal particolare che sta nel disegno MA60T2, ove per rendere possibile il disegno la scala delle dimensioni radiali è $\frac{1}{2}$, mentre quella delle dimensioni azimutali è 15/1.

Nei disegni MA61T2 e MA62T2 sono sviluppati i collegamenti alle testate (rispettivamente una sezione orizzontale ed una verticale). Le testate e i conduttori interni costituiscono un tutto unico; così può dirsi dell'insieme dei conduttori esterni. I collegamenti tra le testate e i conduttori esterni viene eseguito con avvitanamento una volta che siano fissati gli avvolgimenti sul magnete. I conduttori di collegamento alle testate sono saldati ai conduttori interni: questa operazione viene eseguita durante la composizione del fascio interno. Risalta è stata pure la questione del raffreddamento.

4. - Possibili varianti ed altri particolari.-

Durante la fase preliminare di studio per giungere ai risultati riferiti al paragrafo n.3, sono state fatte alcune proposte che rimangono sempre attuali e che sono da noi considerate quali possibili alternative di massima. Anche alcuni particolari tecnici sono stati sviluppati; tali particolari possono ancora essere utilizzati cambiando opportunamente le dimensioni nel nostro ultimo progetto. In questo paragrafo verranno illustrate rapidamente queste proposte sia per la struttura azimutale del magnete, sia per la sezione del magnete verticale.

Per la struttura azimutale queste proposte sono illustrate nei disegni MA47T1, MA49T1, MA50T1, MA51T1, MA52T1. Nei disegni MA49T1 ed MA50T1 si possono rilevare particolari di un'altra proposta per impedire che i lamierini si scostino da una posizione verticale. I lamierini sono previsti sciolti o incollati, e alternati con pacchetti incollati per ottenere la curvatura del magnete; i lamierini sono guidati da un sistema di guide G (vedi dis. MA49T1). Nel pacco dei lamierini si incuneano dei pilastri P che si avvitano alla piastra di sostegno del magnete ed alla piastra superiore, tenuti in posizione verticale da tiranti T regolabili.

Nei disegni MA51T1 e MA52T1 si trova illustrata una proposta nella quale invece di pilastri che si incuneano come nelle due proposte precedenti si è pensato di far sporgere dei pacchetti P di lamierini che vengono imbullonati e collegati (i vari pacchetti) con tiranti T. (Per i simboli vedere il dis. MA52T1).-

Nel disegno MA47T1 è data una struttura a lamierini sciolti A di cui una parte forati onde ospitare la testa del bullone B; la guida GP ha funzione di riferimento radiale, mentre GO ha funzione solo di riferimento orizzontale. Viene poi fatto scorrere sullo stesso pacco un pacco di lamierini L imbullonati strettamente dai bulloni B (due in tutto). Vengono fatti scorrere altri lamierini del tipo di quelli di A, e viene compresso il tutto. Poi si fissa la colonna C al piastrone di sostegno (eventualmente al piastrone superiore se lo si è già montato). Viene poi inserito il pacchetto dei lamierini incollati P che danno la curvatura (discontinua). Le guide GR servono di ulteriore garanzia a spostamenti radiali. Le colonne C ed i bulloni B hanno l'ufficio di impedire che i lamierini si spostino da una posizione piana verticale.

E' da dire che una soluzione senza bulloni è forse più augurabile. Infine Vi accludiamo anche un disegno che rappresenta la sezione del magnete dell'elettrosincrotrone dell'Università di Cornell. Come si vede

tale magnete non è fondamentale-mente diverso da quello da noi previsto nei nostri disegni, ed infatti quel magnete sotto molti riguardi ci è servito di guida. E' da notare però che il disegno di Cornell che Vi accludiamo è in scala 1:1, mentre i nostri sono in scala 1:2. Il nostro magnete ha quindi un intraferro notevolmente maggiore, e questo è dovuto ai risultati dei nostri calcoli che suggeriscono di mantenere un maggiore spazio a disposizione delle traiettorie degli elettroni.

5. - Tolleranze.-

Non possiamo dare altro che dati indicativi su questo argomento, stabiliti per analogia con altri sincrotroni costruiti negli Stati Uniti.

A tal fine sono stati allegati i disegni MA44T1 e MA46T1. Naturalmente specie per il lamierino tipo la precisione delle distanze reciproche tra i vari riferimenti varia di importanza a seconda della struttura azimutale assunta dalla Vostra ditta.

Sappiamo che le tolleranze in questi disegni sono molto impegnative, e aspettiamo Vostre controposte, poichè non è accertato che queste tolleranze debbano essere assolutamente rispettate. Per gli altri pezzi (guide, piano di riferimento ecc.) vanno stabilite tolleranze che giustifichino quelle così strette stabilite per il lamierino.

----- • -----
Lucidi dei disegni in archivio

DATI DI MASSIMA RELATIVI AL MAGNETO

Induttanza totale	.....	18,35	mH
Sec. conduttori:	int. 1000 mm ² ; test. 1000 mm ² ; est. 2000 mm ²		
Lunghezza condutt.	" 238 m ; " 53 m ; " 264 m		
Resist. conduttori	" 4,4 mOhm ; " 0,98 mOhm ; " 2,44 mOhm		
Resistenza totale	..... R _t	7,8	mOhm W _a
Amperspire (valore massimo)	..... NI _M	64.000	Asp
Componente continua	..... I _{cc}	2.700	A <i>Ca</i>
Corrente alternata	..... I _{alt} = 2.700 A I _a = 1.910 A		
Tensione alternata	..... V _{alt} = 7.780 V V _a = 5.500 V		
Potenza reattiva	..... Q = V _a I _a	10.500	kVar
Energia magn. immagazzinata dovuta alla c.c.	..... W _{cc}	67	kJ |
" " " " " c.a.	..... W _{ca}	67	kJ | ?
" " " totale	..... W = W _{cc} + W _{ca}	134	kJ |
Corrente efficace totale	..... I _T = $\sqrt{\frac{1}{8} (I_{cc}^2 + I_{alt}^2)}$	3.310	A
Perdite ohmiche totali	..... R _t I _T ² = P _T	86	kW
" per corr. parassite : cond. int.	..... P _{pt}	16,2	kW
" " " " " est.	..... P _{pe}	45,4	kW
" " " " totali	..... P _p	61,6	kW
" totali nel rame	..... P _{Cu}	147,6	kW
" nel cond. più caldo (un quadrante) : int.	..... P _i	1,85	kW
" " " " " " : est.	..... P _e	2,95	kW
Resistenza apparente	..... $\frac{P_{app}}{I_T^2} = R_{app}$	13,5	mOhm
Fattore di merito	.....	71	-
Costante di tempo	.....	1,36	sec

PROMEMORIA SULL'ECCITAZIONE CON BANCO DI CONDENSATORI
DEL MAGNETE DEL SINCROTRONE DA 1000 MeV

Presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare è in progetto un sincrotrone da 1000 MeV. Agli effetti elettrici questo sincrotrone si comporta come una induttanza in cui bisogna provocare periodicamente una certa corrente I_{\max} .

Per alimentare questo apparecchio abbiamo in considerazione due alternative, avendone scartate definitivamente altre: la prima è una eccitazione oscillante polarizzata (cfr. dis. MA64-E) il cui schema si ritrova in MA63-E; la seconda è l'alimentazione con un sistema di raddrizzatori (ignitrons) ed un motore polifase e volano.

I componenti essenziali del circuito riportato nel disegno MAE4 sono:

- 1) Induttanza di protezione del generatore a c.c.
- 2) Generatore a c.a.
- 3) Generatore di c.c.
- 4) Motore a corrente continua e gruppo convertitore
- 5) Condensatori.

Noi ci rivolgiamo a Voi per chiedere i preventivi sui componenti necessari al primo tipo di eccitazione, esclusi i condensatori:

1.- Induttanza di protezione.-

Le caratteristiche elettriche di questa induttanza sono:

componente continua della corrente	2700 Ampere
corrente massima magnetizzante	3000 Ampere
valore dell'induttanza	19×10^{-2} Henry
tensione massima ai capi	5000 Volt

A titolo indicativo possiamo fornire i dati ricavati da un calcolo approssimato di minimo costo, dai quali risulta conveniente assumere:

N = numero di spire	circa 400
= densita' di corrente	" 1,5 Amp/mm ²
Af= sezione ferro	" 1,17 m ²
Ac= sezione rame	" 2050 mm ²
h ≠ altezza intraferro	" 1,180 m

Alleghiamo uno schizzo dell'induttanza cosi' dimensionata (cfr. dis.MA41T1). In questo disegno si suppone di avvolgere il rame su due colonne, dividendo il traferro in quattro intraferri (riempiti di legno), e si ottiene una massa di ferro di 65 tonn. ed una massa di rame di circa 40 tonn.

Vi chiediamo di questa induttanza di protezione del generatore a c.c. un preventivo il piu' possibile dettagliato. (Forse questa induttanza potrebbe farsi addirittura in aria, ma cio' non è prudente per via del flusso magnetico che potrebbe perturbare il campo del sincrotrone).

2.- Generatore a c.a.-

Le caratteristiche che presenta questo generatore sono:

$$f = 25 \text{ p/sec}$$

$$V = 5500 \div 6000$$

$$W (\text{potenza}) = 350 \text{ KW}$$

3.- Generatore a c.c.-

Le caratteristiche che presenta questo generatore sono:

$$I = 2700 \text{ Ampere}$$

$$W = 100 \div 200 \text{ KW}$$

4.- Gruppo convertitore (motore asincrono, dinamo e motore a c.c. che muove il generatore di cui in 2 e 3)

La velocita' di rotazione del motore a c.c. deve essere stabilita all'1/1000. Questo gruppo deve fornire la potenza di 500÷600 KW. Nei Vi chiediamo i preventivi anche per i componenti indicati in 2) 3) e 4).