

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-62/126 (1962)

F. Amman, G. Ghigo, G. Sanna: L'ELETTROSINCROTRONE: GLI
AVVOLGIMENTI DI CORRENZIONE.

Estratto dal: Nuovo Cimento, Suppl. 24, 209 (1962)

CAPITOLO VIII

Gli avvolgimenti di correzione.

F. AMMAN, G. GHIGO e G. SANNA

1. - Criteri generali e disposizione degli avvolgimenti di correzione.

Il campo magnetico nel traferro di un sincrotrone dovrebbe idealmente essere una funzione separabile dello spazio e del tempo; in pratica accade che a bassi campi, a causa del campo magnetico residuo e delle correnti parassite, e ad alti campi, a causa della saturazione del ferro, ciò non si verifica.

Nel caso del nostro elettrosincrotrone (e.s.) si hanno forti distorsioni nella distribuzione spaziale per bassi valori del campo, tali da rendere impossibile, al di sotto di circa 100 G, un funzionamento efficiente, senza apposite correzioni. Ad alti valori del campo la saturazione provoca una contrazione della zona di campo utile, ma non tale da richiedere l'uso di correzioni, almeno sino a campi di (10 000 ÷ 11 000) G, corrispondenti ad un'energia massima degli elettroni di (1.1 ÷ 1.2) GeV. Questo perchè le dimensioni radiali del fascio ad alta energia sono molto piccole, dell'ordine di 1 cm.

Il sistema degli avvolgimenti di correzione per il nostro e.s. venne quindi progettato tenendo presenti, nei loro dettagli, le esigenze di correzione del campo all'iniezione. Occorrendo sarebbe sempre possibile connettere dei circuiti per alterare la distribuzione del campo al termine del ciclo di accelerazione, ma, non essendosi sinora presentata questa necessità, nel seguito tratteremo solo dei circuiti per le correzioni a bassi campi.

Dal punto di vista funzionale, essi possono essere suddivisi nei seguenti gruppi:

- a) correzioni di gradiente: cambiano il valore di n nei singoli quadranti;
- b) correzioni di campo azimutale: introducono dei termini di prima, seconda e terza armonica, con la fase voluta, nella distribuzione azimutale della componente assiale B_z del campo magnetico;
- c) correzioni di B_z alle testate: cambiano il valore di B_z su un tratto di magnete lungo circa 30 cm adiacente ad ogni testata;

d) correzioni di B_r alle testate: aggiungono una componente radiale di campo B_r , su una lunghezza di 18 cm, ad ogni testata;

e) correzioni di piano mediano; aggiungono una componente radiale di campo, uniforme su tutta l'altezza della ciambella, nei singoli quadranti.

Topologicamente gli avvolgimenti di correzione si suddividono in:

a) polari: costituiti da tappetini di 83 fili di rame del $\varnothing 1.5$ mm, isolati in plastica, incollati con araldite su una base di fibra di vetro, e disposti tra le espansioni polari e la ciambella;

b) ritorni: costituiti da un totale di 240 fili, suddivisi in 4 gruppi di 60 fili ciascuno, alloggiati in altrettante cave ricavate nella bachelite frapposta tra la bobina principale e la gamba di ritorno del magnete; di essi 60 sono utilizzati per le correzioni di campo azimutali e di B_z alle testate (queste ultime naturalmente solo sull'ultimo blocco del magnete adiacente alle testate); gli altri 180 servono per il disaccoppiamento dei vari avvolgimenti di correzione dal campo principale;

c) bobine alle testate: servono per le correzioni di B_r alle testate, e sono avvolte sugli schermi magnetici posti sotto i risvolti delle bobine principali (v. Cap. I di questa Parte III).

Gli avvolgimenti di correzione sono stati realizzati a cura del Laboratori Tecnologie; per la descrizione dei metodi di lavorazione e materiali impiegati v. Cap. II di questa Parte III.

In corrispondenza di ogni testata vi è una morsettiera (Fig. III.VIII.1), cui sono connessi tutti i fili relativi alla testata stessa; vi è poi una morsettiera generale, situata nel pozzo, allo stesso livello della sala controllo, composta di 2880 morsetti (Fig. III.VIII.2).

L'impianto è stato previsto in modo da poter compiere tutti i collegamenti possibili tra i vari fili delle correzioni polari sulla morsettiera centrale: da ciascuna morsettiera di testata questi fili sono riportati direttamente sulla morsettiera centrale.

Per le correzioni di campo azimutali, di B_z e di B_r alle testate vengono riportati alla morsettiera centrale solo i due capi terminali di ciascuna di esse.

Ogni ritorno è composto della serie dei quattro quadranti, eccettuato un piccolo numero (15) dei quali sono disponibili sulla morsettiera centrale i capi relativi a ciascuno dei quattro quadranti.

Il criterio di massima flessibilità e sicurezza seguito in questo impianto ha naturalmente i suoi svantaggi, principale dei quali è senza dubbio il grande numero di interconnessioni tra le morsettiere di testata e quella centrale. In sede di esercizio questo criterio si è dimostrato molto conveniente perchè tutti i collegamenti tra i vari fili e tra i singoli circuiti e gli alimentatori vengono fatti in un unico luogo; la probabilità di un errore di connessione di un nuovo circuito è così estremamente ridotta.

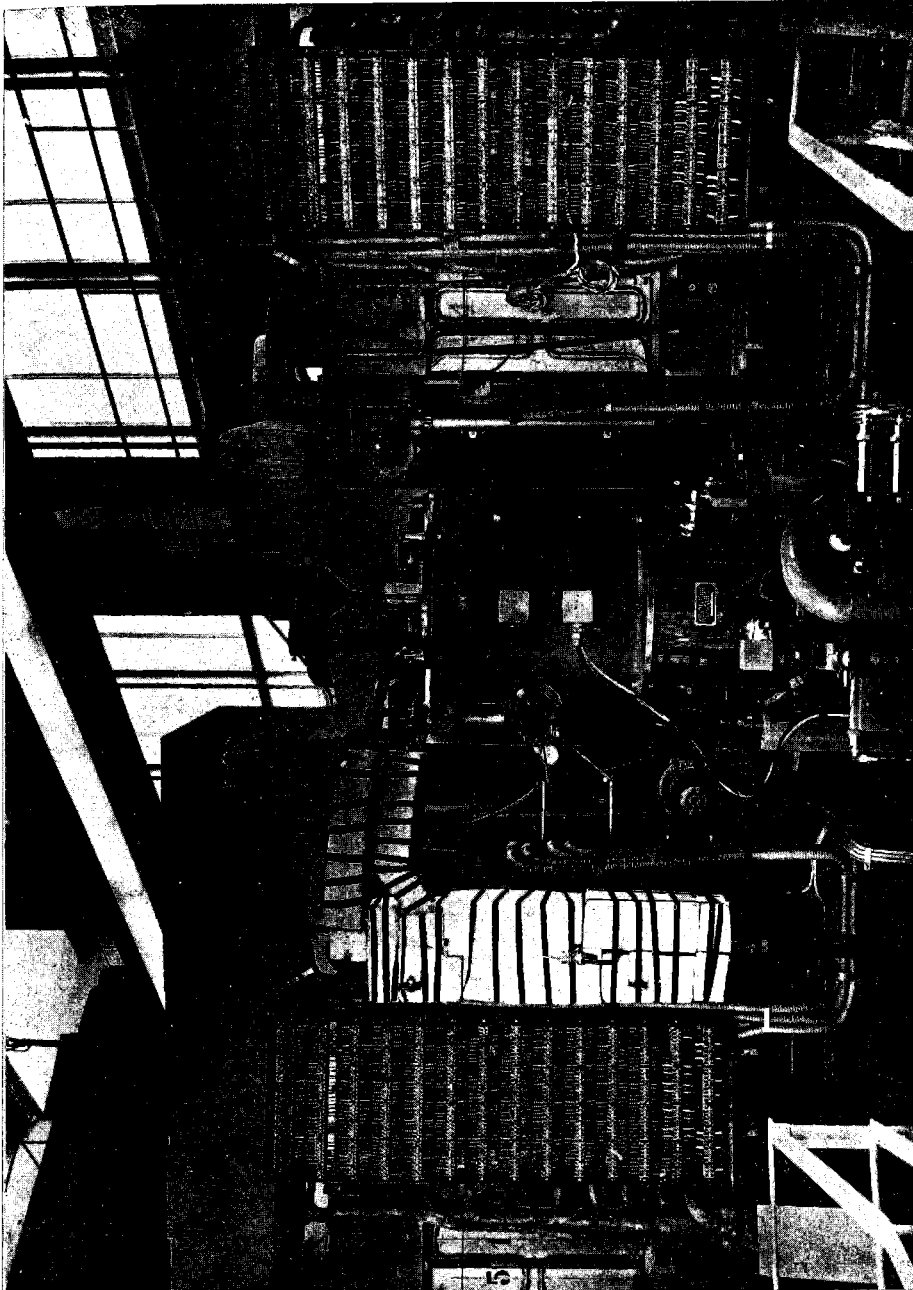


Fig. III.viii.1. - Morsettiere alle testate.

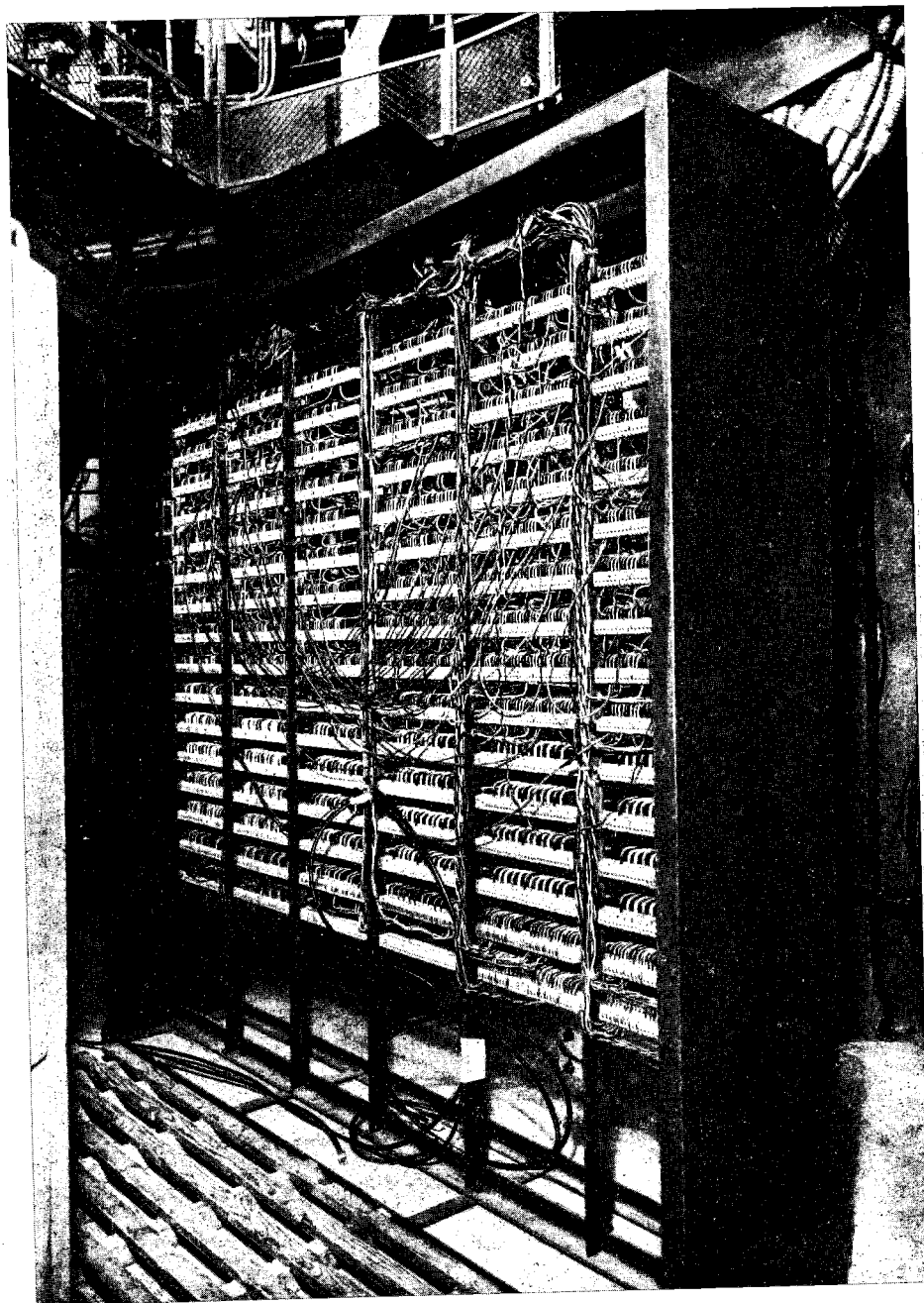


Fig. III.viii.2. - Morsettiera generale.

A questo proposito bisogna ricordare che un errore di connessione potrebbe provocare dei danni assai gravi: un corto circuito sui ritorni ci obbligherebbe a smontare completamente un quadrante. Per questa ragione l'impianto degli avvolgimenti di correzione è stato realizzato con criteri di sicurezza, anche nella scelta dei componenti, commisurati al valore del magnete più che al valore intrinseco dell'impianto stesso.

D'altra parte l'esperienza di altre macchine per elettroni con basso campo di iniezione ci ha consigliato di curare al massimo, come fattore determinante il buon funzionamento dell'e.s., l'andamento del campo magnetico nel traferro. Come, in base a ciò, si sono fatte misure magnetiche molto accurate, così gli avvolgimenti di correzione sono stati progettati e realizzati non considerandoli semplice accessorio, ma piuttosto elemento essenziale del magnete stesso.

Abbiamo più sopra elencato gli avvolgimenti di correzione attualmente montati; in sede di progetto e di prova si era considerato anche un circuito di « correzioni forti » [1] il cui scopo doveva essere quello di allargare la zona utile di campo all'iniezione.

Come riportato altrove (Cap. V, Sez. 4 di questa Parte III), i risultati ottenuti in sede di misura di campo magnetico furono soddisfacenti. Essi non vennero però montati perchè, ad e.s. ultimato, la zona utile di campo all'iniezione si dimostrò essere sufficientemente ampia, e quindi un ulteriore incremento di essa non sarebbe stato probabilmente proporzionato alle difficoltà connesse con l'uso di questo tipo di correzioni.

Riteniamo s.a. utile in questa sede elencare i circuiti di correzione in uso normalmente; accanto a ciascuno di essi è segnato il valor massimo della corrente erogabile dall'alimentatore cui sono connessi, ed il numero di fili e di ritorni di cui ciascuno di essi è composto.

RES 1; 0.45 A; 1 filo + 1 rit.	provvedono a correggere le distorsioni di campo
RES 2; 0.45 A; 1 filo + 1 rit.	dovute al campo residuo.
RES 3; 0.9 A; 1 filo + 1 rit.	
RES 3; 0.15 A; 1 filo + 1 rit.	
P1; 0.15; 8 fili + 8 rit.	dà una variazione di n costante lungo il raggio, pari a ~ 0.2 per una corrente di 0.15 A, ad un campo di 27 G.
PM int; 0.15 A; 4 fili	cambia il piano mediano nella zona interna della ciambella, indipendentemente sui quattro quadranti.
PM; 0.15 A; 6 fili	cambia il piano mediano su tutta la larghezza della ciambella, indipendentemente sui quattro quadranti.
A1; 0.15 A	correzioni di campo azimutali, rispettivamente
A2; 0.45 A	di prima e seconda armonica.

RTV; 0.9 A	correzioni di B_z alle testate; otto circuiti indipendenti.
RTR; 0.1 A	correzioni di B_r alle testate; otto circuiti indipendenti.

A proposito delle correzioni azimutali, vi è da notare che l'andamento del campo in funzione dell'azimut all'iniezione presenta una componente di prima armonica pari a 0.7‰, ed una di seconda armonica pari a 0.2‰, cui corrispondono rispettivamente degli scostamenti massimi dell'orbita chiusa dall'orbita principale di 4 mm e 0.2 mm. Tali scostamenti possono essere praticamente annullati con l'uso delle correzioni azimutali di prima e seconda armonica. In pratica si è constatato che essi sono sufficientemente ridotti servendosi semplicemente delle correzioni di B_z alle testate, per cui le correzioni azimutali potrebbero essere eliminate senza pregiudizio al funzionamento efficiente dell'es.

Questo risultato, imprevedibile a priori, va ascritto alla notevole uniformità delle caratteristiche magnetiche dei blocchi, e al criterio seguito nell'ordinamento di essi in fase di montaggio, quest'ultimo tale da rendere minimi i contributi delle armoniche basse del campo.

2. - Sistema di alimentazione.

Nei circuiti di correzione viene indotta una tensione a 20 Hz proporzionale al flusso concatenato; per alcuni di essi tale flusso è nullo, ad esempio per le correzioni di piano mediano, che debbono provocare una componente radiale di campo. Per gli altri circuiti si provvede a rendere minima la tensione indotta, connettendo in opposizione uno o più ritorni; poichè la tensione indotta in un ritorno, per il normale ciclo di eccitazione del magnete, corrispondente ad un'energia massima di 1000 MeV, è di 500 V massimi, la tensione massima indotta in un circuito qualsivoglia può essere resa minore o uguale a 250 V; dato poi che all'iniezione la derivata del campo magnetico rispetto al tempo è circa un quarto del valore massimo, la tensione indotta in un circuito all'istante di iniezione potrà variare, da circuito a circuito, tra +80 V e -80 V.

Sarebbe naturalmente stato possibile realizzare una compensazione completa della tensione indotta, ma per far ciò si sarebbe notevolmente complicato l'impianto, soprattutto volendo, per quanto possibile, ricorrere a telecomandi.

Si è preferito quindi ricorrere ad alimentatori di corrente realizzati con « cathode followers ». Per quanto detto all'inizio, le correzioni occorrono sino ad un valore del campo di circa (100 ÷ 150) G, che viene raggiunto dopo (600 ÷ 850) μ s.

Si deve inoltre aggiungere che in sede di progetto abbiamo previsto di poter usare in linea di massima correzioni costanti nel tempo: ciò è lecito con

sufficiente approssimazione per le correzioni relative al campo magnetico residuo e per quelle relative agli effetti di campi parassiti in fase con il campo principale (correnti parassite nei risvolti delle bobine alle testate).

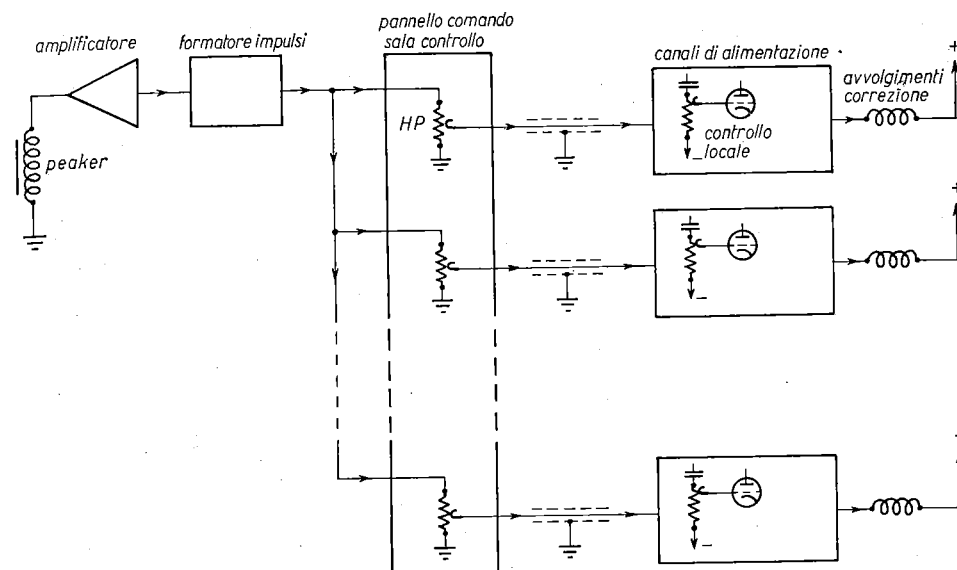


Fig. III.VIII.3. - Schema a blocchi del sistema di alimentazione.

Il sistema di alimentazione (Fig. III.VIII.3) comprende un generatore di impulsi quadri, della durata di circa 2ms, che viene fatto partire da un segnale di una « peaking-strip » circa $500 \mu\text{s}$ prima dell'iniezione; questi impulsi vanno su tanti partitori, quanti sono i circuiti di correzione, posti sulle griglie dei « cathode followers ». In Fig. III.VIII.4 vi è lo schema di un canale da 6 valvole in parallelo. I canali disponibili sono da 1, 2, 3, 6 valvole in parallelo e possono fornire correnti massime di picco rispettivamente di 0.15, 0.30, 0.45, 0.90 A ciascuno.

Il tutto è stato realizzato con elementi modulari di facile ricambio, montati su un rack standard adattato all'uso.

Il telecomando è ottenuto semplicemente portando a distanza i partitori sulle griglie, il cui ingombro è minimo.

Con un voltmetro di picco ed un metodo di zero con una tensione campione, si possono leggere con sufficiente precisione (determinata essenzialmente dalla precisione delle resistenze di catodo) le correnti nelle singole valvole. In esercizio si usa più semplicemente come riferimento la posizione dei partitori; questo metodo è sufficientemente accurato dato che essi sono realizzati con Helipot a 10 giri.

Il voltmetro di picco è connesso con ciascuna delle valvole tramite un

sistema di selettori telefonici a 100 posizioni, comandati da un normale disco combinatore. Qualora se ne fosse presentata la necessità, sarebbe stato semplice ottenere, almeno per alcuni canali, un impulso di corrente variabile nel tempo con una legge determinata. Si è constatato, in base alle misure magnetiche ed anche in base a prove dirette sul fascio, che le correzioni costanti nel tempo sono sufficienti.

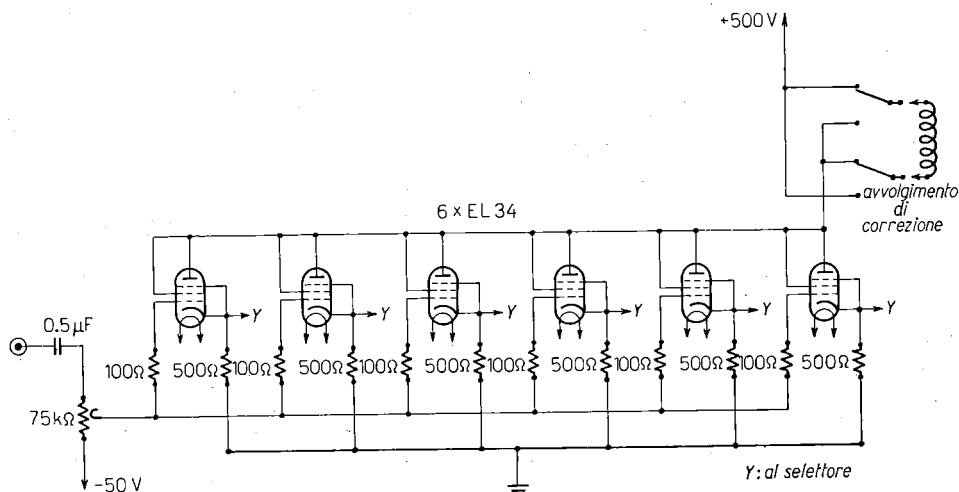


Fig. III.VIII.4. - Alimentazione dei circuiti di correzione: canale da 6 valvole.

Per le correzioni di B_z alle testate, data la bassa frequenza propria delle bobine, si è preferito ricorrere ad otto alimentatori in corrente continua, da 100 mA massimi ciascuno.

Tutto l'impianto è alimentato dal generatore a 60Hz sincrono con l'alimentazione del magnete; ciò ha permesso di ottenere una buona stabilità negli impulsi di corrente anche senza ricorrere ad un filtraggio eccessivo sugli alimentatori in continua.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. SALVINI e G. SANNA: *Proc. CERN Symposium on High Energy Accelerators and Pion Physics*, vol. 1 (1956) p. 458.

Altra bibliografia riguardante gli argomenti trattati nel presente Capitolo:

E. MALAMUD e A. SILVERMAN: *Nucl. Instr.*, 4, 67 (1958).

E. EMERY e R. L. WALKER: *The magnetic field of the Caltech synchrotron*. Phase II, Caltech Internal Report (1955).