

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-63/80 (1963)

F. Amman, R. Andreani, M. Bassetti, M. Bernardini, A. Cattoni,
G. C. Corazza, E. Ferlenghi, L. Mango, A. Massarotti, C. Pellegrini,
M. Placidi, M. Puglisi, G. Renzler, F. Tazzioli: STATO DI AVANZAMENTO
DEI PROGETTI DI ANELLI DI ACCUMULAZIONE PER
ELETTRONI E POSITRONI DI ALTA ENERGIA (Programma Adone).

Estratto da: Suppl. Nuovo Cimento, 1, 179 (1963).

Stato di avanzamento dei progetti di anelli di accumulazione per elettroni e positroni di alta energia (programma Adone).

F. AMMAN, R. ANDREANI, M. BASSETTI, M. BERNARDINI, A. CATTONI, G. C. CORAZZA, E. FERLENGHI, L. MANGO, A. MASSAROTTI, C. PELLEGRINI, M. PLACIDI, M. PUGLISI, G. RENZLER e F. TAZZIOLI

Laboratori Nazionali di Frascati - Roma

1. - Introduzione.

Sono ben noti i motivi di carattere cinematico che suggeriscono l'uso di fasci incrociati. Per una reazione fra due particelle di egual massa m e a parità di energia totale nel baricentro, la relazione fra l'energia cinetica T_1 , nel laboratorio, della particella che ne urta una ferma e l'energia cinetica T_2 , di quella che ne urta una del suo stesso momento, è

$$T_1 = 2T_2 \left(\frac{T_2}{m} + 2 \right).$$

Una macchina a fasci incrociati permette quindi di ottenere una elevata energia nel baricentro, e, cosa importante, con una buona risoluzione.

Le prime proposte di macchine a fasci incrociati, per lo studio dell'urto elettrone-elettrone e protone-protone risalgono al 1956; quattro gruppi (MURA, con FFAG a due vie, CERN, Princeton e Lebedev Institute, Mosca) vi contribuirono essenzialmente. Nel '57 un gruppo congiunto Princeton-Stanford iniziò la costruzione di un anello per e⁻e⁻ da 500 MeV: contemporaneamente al MURA venne costruito un modello da 40 MeV di FFAG a 2 vie; agli inizi del 1960 due fasci di elettroni, con verso di rotazione opposto, vennero acce-

lerati sino a 27 MeV con basse intensità; la criticità del funzionamento di tale macchina rese necessario un completo rifacimento e conveniente lo studio dell'accelerazione di un solo fascio.

Al CERN furono esaminate sia le possibilità di FFAG a due vie che di anelli di accumulazione. Attualmente è in fase di avanzata costruzione un modello di anello di accumulazione per elettroni da 2 MeV che permetterà di studiare i problemi dell'accumulazione di protoni.

Nel 1960 TOUSCHEK propose di studiare l'urto e^+e^- con macchine a fasci incrociati; in seguito a tale proposta nei Laboratori di Frascati si iniziò la costruzione di un anello da 250 MeV, AdA, nel quale i primi elettroni vennero accumulati nel Maggio dell'anno successivo.

Nella primavera dello stesso anno 1961, sempre nei Laboratori di Frascati, si iniziarono a considerare le possibilità di realizzare anelli per e^+e^- ad energia intorno al GeV ed in seguito venne elaborato un progetto di massima ⁽¹⁾.

Volendo riassumere la situazione attuale nel campo delle macchine a fasci incrociati, premesso che per varie ragioni sono stati, almeno temporaneamente, abbandonati gli FFAG a 2 vie, le varie attività possono essere così elencate:

- Frascati: AdA 250 MeV e^+e^- ; lo stato attuale è stato presentato in altra comunicazione; Adone (750 ÷ 1500) MeV; in progetto.
- Stanford-Princeton: 500 MeV e^-e^- ; terminato; prime prove di accumulazione a vita media breve alla fine del 1961; inizio esperienze previsto per la fine del corrente anno.
- CERN: modello per elettroni da 2 MeV; in avanzata costruzione. Per ora è previsto il funzionamento con un solo fascio per lo studio del processo di accumulazione. Procede contemporaneamente il progetto di anelli di accumulazione per protoni da 25 GeV.
- Orsay: (450 ÷ 1300(?)) MeV e^+e^- . Inizio dello studio preliminare nella primavera del 1962.
- Stanford: 3 000 MeV(?) e^+e^- . Inizio dello studio nell'estate 1962; si servirà, come iniettore, di un tratto dell'acceleratore lineare da (20 ÷ 40) GeV, il cui funzionamento è previsto all'incirca nel 1969.

⁽¹⁾ F. AMMAN, M. BASSETTI, M. BERNARDINI, F. CATONI, G. CORAZZA, R. EVANGELISTI, G. GAROLLA, C. PELLEGRINI and D. RITSON: *Proposta per la realizzazione di un anello di accumulazione per elettroni e positroni da 1.5 GeV*, Rapporto LNF-61/65 (7 Dicembre 1961).

2. - Frequenza di interazione e sezioni d'urto.

La frequenza di interazione per un evento di sezione d'urto totale σ (in cm^2) in ciascuna zona di incrocio è data da:

$$\dot{n} = \sigma f K \int \rho_+ \rho_- ds \quad \text{eventi/s}$$

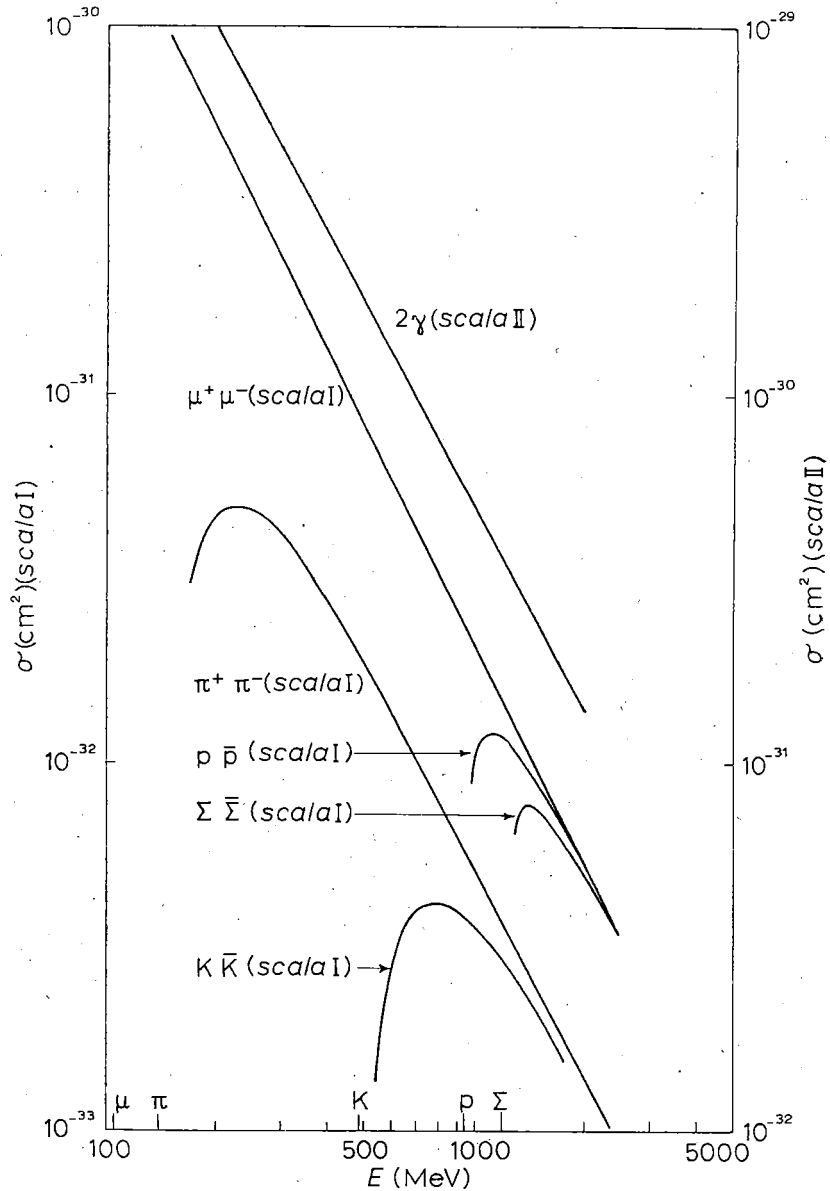


Fig. 1.

essendo f la frequenza di rotazione delle particelle nell'anello, ρ le densità trasverse di carica per pacchetto e K il numero di pacchetti circolanti di elettroni e positroni.

Ponendo la formula precedente nella forma

$$\dot{n} = L\sigma$$

il coefficiente L , che chiamiamo luminosità all'incrocio, dipende solo dalle caratteristiche dell'anello; nel nostro progetto si è assunto come valore di luminosità da ottenersi il seguente

$$L_0 = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}.$$

In Fig. 1 sono rappresentate le sezioni d'urto totali in approssimazione perturbativa di alcuni processi a due corpi; con il valore di luminosità sopra citato e tenendo conto dell'efficienza di rivelazione, si può vedere che le velocità di conteggio a 1 GeV stanno all'incirca tra 10 e 2 eventi all'ora, se si esclude l'annichilamento in 2γ che dà circa 500 eventi all'ora.

La Fig. 2 dà la larghezza quadratica media della distribuzione dell'energia disponibile nell'urto, in funzione dell'energia; questa elevata risoluzione in energia è, come già detto, uno dei vantaggi di questo tipo di macchine.

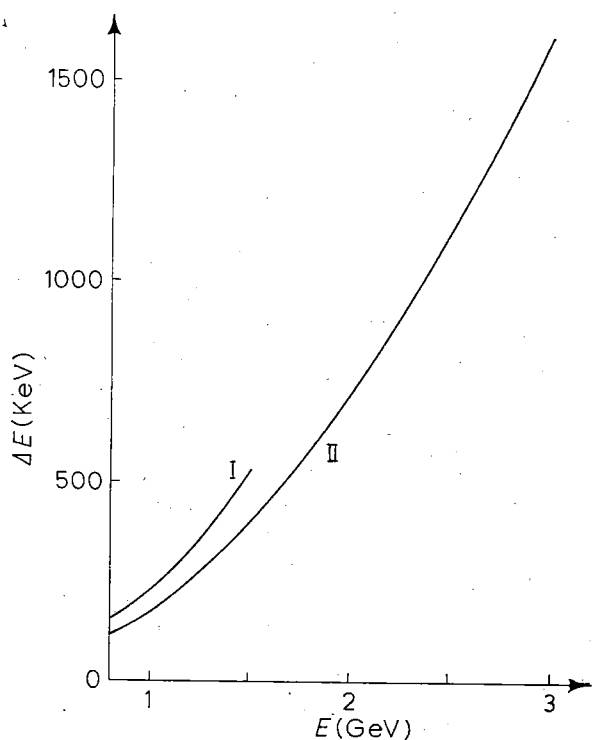


Fig. 2. - $\pm \Delta E$, larghezza quadratica media calcolata della dispersione dell'energia attorno all'energia totale nominale $2E$, dovuta alle fluttuazioni della radiazione, in funzione di E , energia nominale degli e^+ , e^- circolanti. La curva I si riferisce all'anello di $E = 750$ MeV, con raggio di 470 cm; la curva II si riferisce all'anello di $E = 1500$ MeV, con raggio di 920 cm.

3. - Principi di funzionamento di un anello d'accumulazione.

Nelle sue linee generali un anello di accumulazione è simile a un sincrotrone; esso comprende un iniettore, un sistema ottico di iniezione, un magnete che mantiene le particelle su un percorso chiuso, un tubo a vuoto spinto

(ciambella), posto nelle espansioni polari del magnete, un sistema a radio-frequenza il cui compito è di rifornire ai fasci circolanti l'energia persa per irraggiamento.

Gli elettroni e i positroni accelerati nell'iniettore vengono iniettati in molti impulsi successivi nella ciambella sinchè viene raggiunta l'intensità totale voluta; terminato il processo di accumulazione i due fasci che, data la diversità di carica, percorrono la stessa orbita con velocità opposte, vengono lasciati circolare ed inizia l'osservazione degli eventi di annichilamento.

Soddisfatte certe condizioni di tensione di RF e dimensioni della ciambella, la vita media dei fasci è determinata principalmente dalla bremsstrahlung nel gas residuo. In prima approssimazione essa dipende inversamente dalla pressione e da nessun altro parametro della macchina.

La vita media del fascio deve essere tale che si possa disporre di un tempo di sperimentazione sufficiente e che il fondo dovuto agli elettroni e positroni perduti non sia troppo grande.

Assumendo come tempo di accumulazione un'ora si considera necessario ottenere una vita media di 10-20 ore, equivalente ad una pressione del gas residuo minore o uguale a 10^{-9} torr. Con questa vita media e assumendo di avere $2 \cdot 10^{11}$ particelle circolanti si perdono da $3 \cdot 10^6$ a $5 \cdot 10^6$ elettroni al secondo lungo tutta la macchina. Il numero di eventi dovuti a queste particelle perse va confrontato con quello di eventi utili, dell'ordine dell'unità o decina per ora.

Durante l'accumulazione il campo magnetico di guida viene mantenuto ad un valore costante corrispondente all'energia delle particelle in uscita dall'iniettore; deve poi poter essere variato, per portare gli elettroni e i positroni all'energia a cui si vuole compiere l'esperienza; questa variazione può essere compiuta in tempi relativamente lunghi (dell'ordine dei secondi), tali cioè da non provocare apprezzabili distorsioni di campo, dovute a correnti parassite, anche in strutture di ferro non laminato; il magnete può quindi essere realizzato con materiali e tecniche adatti per correnti costanti.

L'iniezione dei positroni e degli elettroni in un anello può essere compiuta in più modi; la scelta del sistema più conveniente dipende dalle intensità e dai tempi di accumulazione che si vogliono ottenere. Data la forte dipendenza dall'energia delle sezioni d'urto, la luminosità necessaria in un anello di energia intorno al GeV è assai più elevata di quella richiesta in un anello, come ad esempio AdA, di energia di (200 ÷ 250) MeV, e più elevate debbono quindi essere le intensità dei fasci.

A differenza quindi di quanto è stato fatto in AdA, in cui l'iniezione avviene convertendo su una targhetta interna un fascio di γ , noi prevediamo l'iniezione diretta di elettroni e positroni.

Le particelle provenienti dall'iniettore vengono deviate da un magnete pulsato in modo da entrare nell'anello tangenzialmente all'orbita principale di equilibrio OP e ad una certa distanza da essa; esse iniziano quindi ad

oscillare intorno ad OP e, dopo un certo numero di giri (che dipende dal rapporto tra la frequenza di oscillazione e quella di rotazione, e che è dell'ordine di 3÷4) ritornano nel punto in cui sono state iniettate.

Il deflettore quindi deve avere una struttura aperta verso il centro della macchina; inoltre, al secondo passaggio delle particelle, il campo elettromagnetico che ha provocato la prima deflessione deve essere ridotto a zero, perchè altrimenti le particelle vengono ulteriormente deflesse e perdute contro le pareti della ciambella.

Le perdite per irraggiamento provocano poi lo smorzamento delle oscillazioni intorno all'orbita di equilibrio con una costante di tempo funzione dell'energia e del campo magnetico nei tratti curvanti.

Dopo una o due costanti di tempo l'ampiezza delle oscillazioni sarà abbastanza ridotta da permettere un nuovo impulso di iniezione senza che il campo disperso del deflettore perturbi eccessivamente il fascio accumulato.

Assumendo un tempo utile di iniezione corrispondente a 3 giri di macchina e un rendimento medio di cattura del 35% per le particelle contenute entro una banda di energia pari all'1% dell'energia media, ad ogni impulso di iniezione la corrente media circolante viene accresciuta di una quantità pari al valore di picco della corrente in uscita dall'iniettore contenuta entro una banda d'energia dell'1%.

Fissati allora come dati di progetto, il tempo totale di accumulazione e il valore di corrente da accumulare, e supponendo di poter iniettare un impulso ad ogni costante di tempo di smorzamento, si ottiene una relazione che lega l'energia di iniezione E_{in} con la corrente di picco i accelerata dall'iniettore (entro l'1% di energia) e le caratteristiche dell'anello, le quali, in prima approssimazione, possono essere conglobate nel valore dell'energia massima.

In particolare, per il tipo di macchina da noi considerato, per un tempo di accumulazione di 30 min e per una corrente circolante di 100 mA, si ottiene (1):

$$E_{in} \approx E_{max}^2 i^{-1} \quad (E \text{ in GeV, } i \text{ in } \mu A).$$

Questa relazione ci dice che quanto più è elevata la corrente accelerata dall'iniettore, tanto minore può essere l'energia dell'iniettore stesso. Essa vale sia per gli elettroni che per i positroni: poichè un iniettore a pari energia è in grado di fornire correnti di elettroni maggiori di circa due ordini di grandezza di quelle di positroni, per determinare l'energia di iniezione si terrà conto della corrente di positroni.

Nel funzionamento di un anello di accumulazione con due fasci circolanti con velocità opposta, un elemento nuovo rispetto alle macchine acceleratrici convenzionali è dato dall'interazione elettromagnetica tra i due fasci.

Lo studio analitico degli effetti dell'interazione elettromagnetica, che chia-

meremo semplicemente di carica spaziale, è praticamente impossibile; lo studio di modelli approssimati del fenomeno e calcoli numerici ci hanno mostrato che gli effetti di carica spaziale provocano la differenziazione delle orbite dei due fasci nelle zone di incrocio quando la densità di carica trasversa è maggiore di un certo valore limite.

Tornando all'espressione della luminosità

$$L = fK \int \rho_+ \rho_- ds,$$

si vede quindi che, raggiunto il valore limite per le densità trasverse ρ_+ e ρ_- , per aumentare la luminosità occorre aumentare la sezione dei fasci e le loro intensità, mantenendo costanti le densità. In tal modo la luminosità aumenta, ma solo linearmente, all'aumentare delle intensità di ambedue i fasci, mentre aumenterebbe col prodotto delle densità trasverse, e quindi col prodotto delle correnti, se non vi fossero effetti di carica spaziale.

A conclusione di questo esame dei principi di funzionamento di un anello di accumulazione, vorremmo parlare brevemente del programma Adone prima di passare ad un breve consuntivo del lavoro fatto sinora.

Al termine dello scorso anno presentammo una proposta di massima che prevedeva la realizzazione, in tempi successivi, di due anelli, il primo da 750 MeV e il secondo da 1500 MeV. Le ragioni dello sdoppiamento del programma, che inizialmente prevedeva un solo anello, derivavano dalla mancanza di dati sperimentali relativi ad alcuni elementi essenziali del progetto, e, principalmente, relativi alla corrente di positroni che può essere ottenuta da un acceleratore lineare e agli effetti di carica spaziale.

Un errore di valutazione in difetto di questi elementi, porta a dover aumentare il numero degli impulsi di iniezione per ottenere le prestazioni volute; si potrebbe quindi, per sicurezza, aumentare l'energia di iniezione di un certo fattore per tener conto di queste incertezze. Questa soluzione porta a notevoli aumenti nel costo dell'acceleratore lineare, che già di per sé è una grossa percentuale del costo totale, e inoltre ad assai maggiori difficoltà nel sistema di iniezione. L'energia di iniezione per l'anello da 750 MeV è stata fissata tenendo conto delle esigenze di quello da 1500 MeV, quali risultano dai nostri calcoli, e quindi dovrebbe essere largamente sovrabbondante per il primo anello. Se, d'altro canto, i risultati sperimentali dimostrassero che essa è insufficiente per il secondo anello, si potrà provvedere all'aumento dell'energia dell'iniettore, cosa non difficile per un acceleratore lineare.

Il tempo previsto per la realizzazione del primo anello è di circa tre anni; riteniamo che la sperimentazione con esso potrà avere inizio verso la fine del 1965.

4. - Carica spaziale.

Sulla carica spaziale il lavoro più interessante compiuto dal nostro gruppo è stato un calcolo numerico, eseguito sulla 7090 di Ispra (2).

Poichè le dimensioni radiali del fascio sono molto maggiori di quelle verticali, si studia solamente l'effetto dell'interazione fra i fasci nel piano verticale, assumendo che essi siano infinitamente estesi nella direzione radiale.

Ciascuno dei due fasci è quindi scomposto in 1000 parti, ciascuna delle quali ha una carica e una massa fittizie e tali da rappresentare, nell'insieme, la massa e la carica totale di un pacchetto. Di ciascuna di queste macro-

particelle viene seguita l'evoluzione tenendo conto delle equazioni del moto nei tratti di magneti e dell'interazione con l'altro fascio nelle zone di incrocio. La presenza di un termine di smorzamento, dovuto alle perdite per irraggiamento, fa sì che la distribuzione raggiunga un regime di equilibrio in un tempo pari a qualche costante di tempo di smorzamento.

La calcolatrice calcola direttamente la luminosità e dà pure le distribuzioni.

La Fig. 3 rappresenta i risultati del calcolo applicati alla macchina da 750 MeV per una sezione naturale del fascio di circa $0.5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$, in funzione di un parametro caratteristico del foccheggiamento, l'angolo μ di betatrone tra due incroci successivi, a meno di

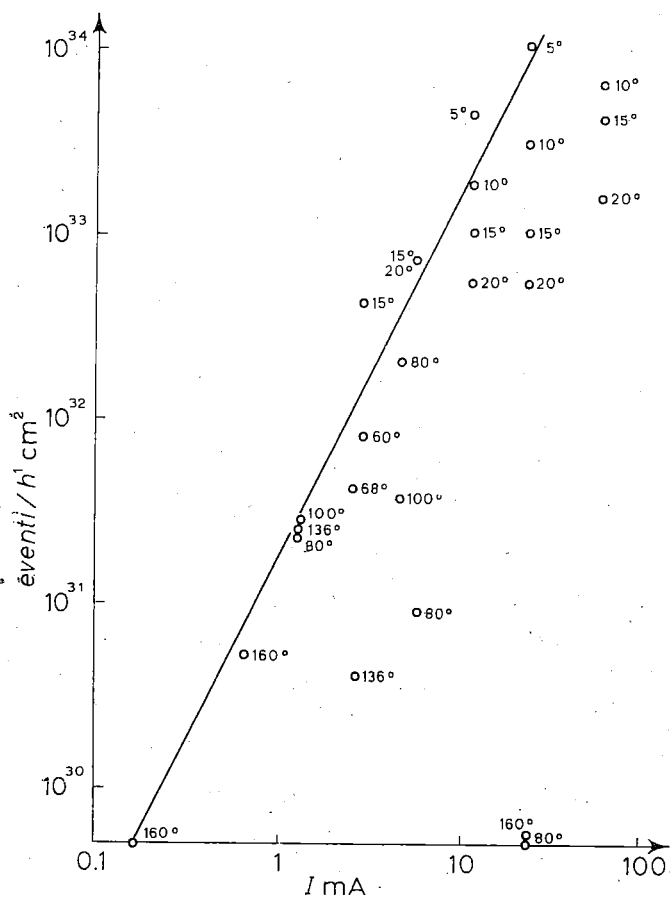


Fig. 3.

una costante additiva 4π ; la linea continua rappresenta la luminosità che si avrebbe se la sezione di incrocio rimanesse inalterata e pari alla sezione naturale del fascio.

(2) M. BASSETTI: *Calcoli numerici sugli effetti di carica spaziale in un anello di accumulazione per elettroni e positroni*, Rapporto LNF-62/35 (5 Maggio 1962).

Si può notare una forte dipendenza della luminosità dal valore di μ : i valori ottimi (5°) corrispondono però ad una zona di instabilità qualora nella macchina si abbia un solo fascio; risulta quindi conveniente disporre della possibilità di variare il valore di μ durante il funzionamento e su questo ritorneremo parlando della struttura magnetica.

5. - Iniettore.

La macchina acceleratrice più conveniente come iniettore sia di elettroni che di positroni risulta essere un acceleratore lineare.

Attualmente non esistono acceleratori lineari per positroni, ma ve ne sono alcuni in costruzione. Il modo più conveniente di ottenere intensi fasci di positroni è di convertire un fascio di elettroni di energia relativamente bassa ($(30 \div 40)$ MeV) ed alta corrente ($(0.5 \div 1)$ A) indi raccogliere, con opportune lenti magnetiche, una certa frazione dei positroni prodotti e accelerarli sino all'energia voluta.

Misure di efficienza di conversione in funzione dello spessore del convertitore per energie del fascio primario tra 10 e 30 MeV sono state da noi compiute in collaborazione con un gruppo di Saclay (C. TZARA, SCHÜHL ed altri ⁽³⁾).

Questi risultati e i calcoli sulle efficienze di raccolta ci fanno ritenere probabile una corrente di picco di positroni di $(20 \div 30)$ μ A per un fascio incidente di 30 MW (1 A-30 MeV); l'energia di iniezione richiesta per tale valore di corrente risulta essere intorno ai 400 MeV.

Da più di un anno siamo in contatto con ditte specializzate nella costruzione di acceleratori lineari. Il 26 Agosto scorso esse hanno presentato le offerte

| | Energia (MeV) | Picco | Media |
|---|----------------|----------------------------|--------------------------|
| Sezione ad alta corrente - elettroni | 30 \div 60 | Corrente (1 \div 0.5) A | (500 \div 250) μ A |
| Sezione ad alta energia - elettroni | 350 \div 400 | Corrente totale 50 mA | 25 μ A |
| Sezione ad alta energia - positroni | 350 \div 400 | Corrente totale 50 μ A | 25 nA |

Circa $\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}$ della corrente totale contenuta nell'1% in energia.

⁽³⁾ M. BERNARDINI, J. MILLER, C. SCHUHL, G. TAMAS e C. TZARA: *Mesure du rendement de conversion negaton-positon*, Rapporto LNF-62/66 (2 Agosto 1962).

formali, in base alle quali una Commissione a questo scopo nominata sceglierà la ditta cui affidare l'incarico della costruzione.

Il tempo necessario per l'installazione dell'acceleratore lineare è di (24 ÷ 30) mesi dalla data dell'ordine.

Un cenno meritano le prestazioni di questo acceleratore lineare che, di per sè, risulta essere uno strumento di notevole interesse.

6. - Struttura magnetica e magneti.

La struttura magnetica scelta è a foccheggio forte e funzioni separate; essa è composta di magneti curvanti con indice di campo $n = 0.5$ e quadrupoli (4).

È così possibile cambiare le condizioni di foccheggio variando le correnti nei quadrupoli e cercare la situazione che a pari intensità dia il valore massimo per la luminosità.

Il problema dello smorzamento delle oscillazioni di betatrone e di sincrotrone in una macchina circolare è stato da noi studiato in dettaglio (5). I risultati ottenuti ci hanno guidato nella scelta della struttura citata, che ha la

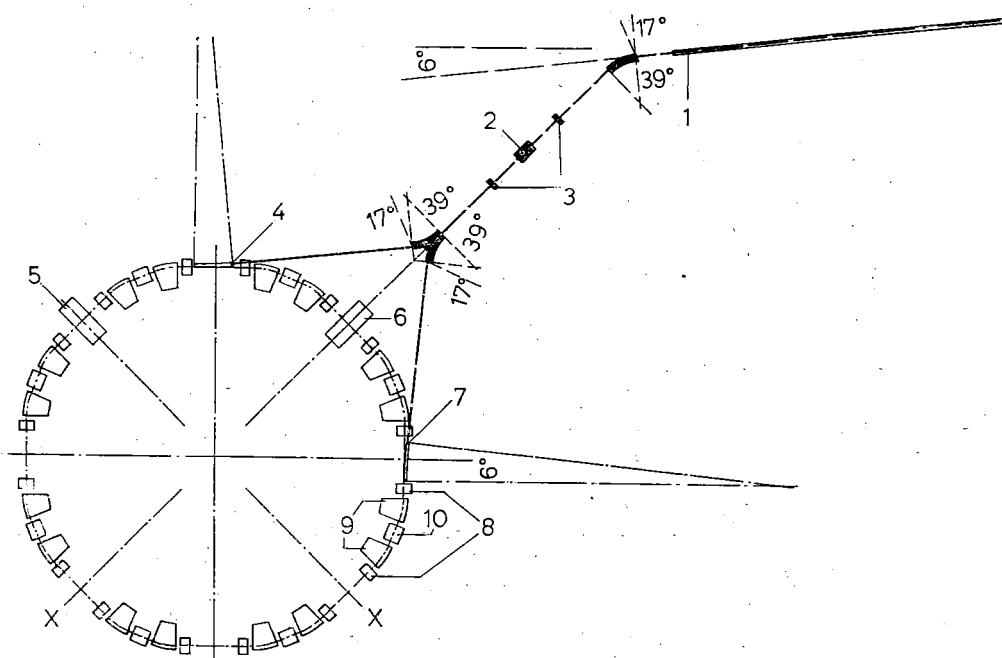


Fig. 4.

(4) L. MANGO: *Studio dei parametri di una struttura a funzioni separate con foccheggio forte*, Rapporto LNF-62/34 (3 Maggio 1962).

(5) C. PELLEGRINI: *Suppl. Nuovo Cimento*, **22**, 603 (1961).

particolarità di mantenere invariato il coefficiente di smorzamento di ciascuno dei tre modi di oscillazione al variare delle condizioni di focheggiamento.

La Fig. 4 mostra uno schema di insieme della macchina; le sezioni diritte sono lunghe due metri, e la lunghezza utile per gli apparati sperimentali è di $(1.50 \div 1.60)$ m.

Il peso totale è di circa 150 t; il raggio medio è di 8 m; l'errore quadratico medio ammesso nell'allineamento dei vari elementi è di 0.1 mm, cui corrisponde, con una probabilità del 98 %, uno scostamento massimo dell'orbita chiusa rispetto all'orbita di riferimento di 2.5 mm.

Si stanno ora costruendo dei modelli dei magneti e dei quadrupoli sui quali prossimamente inizieremo le misure magnetiche, particolarmente importanti per il quadrupolo la cui struttura differisce notevolmente da quella dei quadrupoli convenzionali.

7. - Ottica di iniezione e deflettore pulsato.

Il fascio in uscita dall'iniettore deve essere trasportato all'anello con un sistema acromatico e afocale, comprendente magneti curvanti e lenti quadrupolari. La necessità di mantenere quanto più elevato possibile il rendimento di iniezione, dati i limitati valori di corrente di positroni disponibili, rende assai critica la progettazione di questo sistema.

I due canali di iniezione avranno in comune i due magneti curvanti, ma le lenti quadrupolari dovranno essere diverse.

L'ultimo componente il sistema ottico di iniezione, il deflettore pulsato, deve deflettere le particelle di un angolo di 0.085 rad; nella zona occupata dal fascio, del diametro di 1 cm, bisogna generare un campo magnetico di 960 G (per un'energia di iniezione di 400 MeV) sulla lunghezza di 1.20 m, uniforme entro l'1 %, e con un andamento temporale a rettangolo; la durata dell'impulso deve essere di $(0.6 \div 0.8)$ μ s (pari a $(4 \div 5)$ giri) e i tempi di salita e di discesa debbono essere inferiori a 0.1 μ s (comprendendo nel tempo di salita e di discesa anche il tempo di riempimento del deflettore stesso, definendo cioè i tempi di salita e di discesa della grandezza $\int B dl$).

La necessità di porre sotto vuoto il deflettore rende assai difficile l'uso delle ferriti; attualmente siamo orientati verso una struttura a linea quadrifilare in aria, caricata con capacità per abbassarne l'impedenza caratteristica; essa richiede una tensione di 60 kV e una corrente di 6 000 A (la sua impedenza caratteristica è di 10 Ω). La tensione sulla linea formatrice di impulso è quindi di 120 kV.

È già stato realizzato un modello a bassa potenza (provato sino a 15 kV) ed è attualmente in costruzione un altro modello che permetterà di lavorare a tensioni più elevate e di studiare i problemi tecnologici connessi.

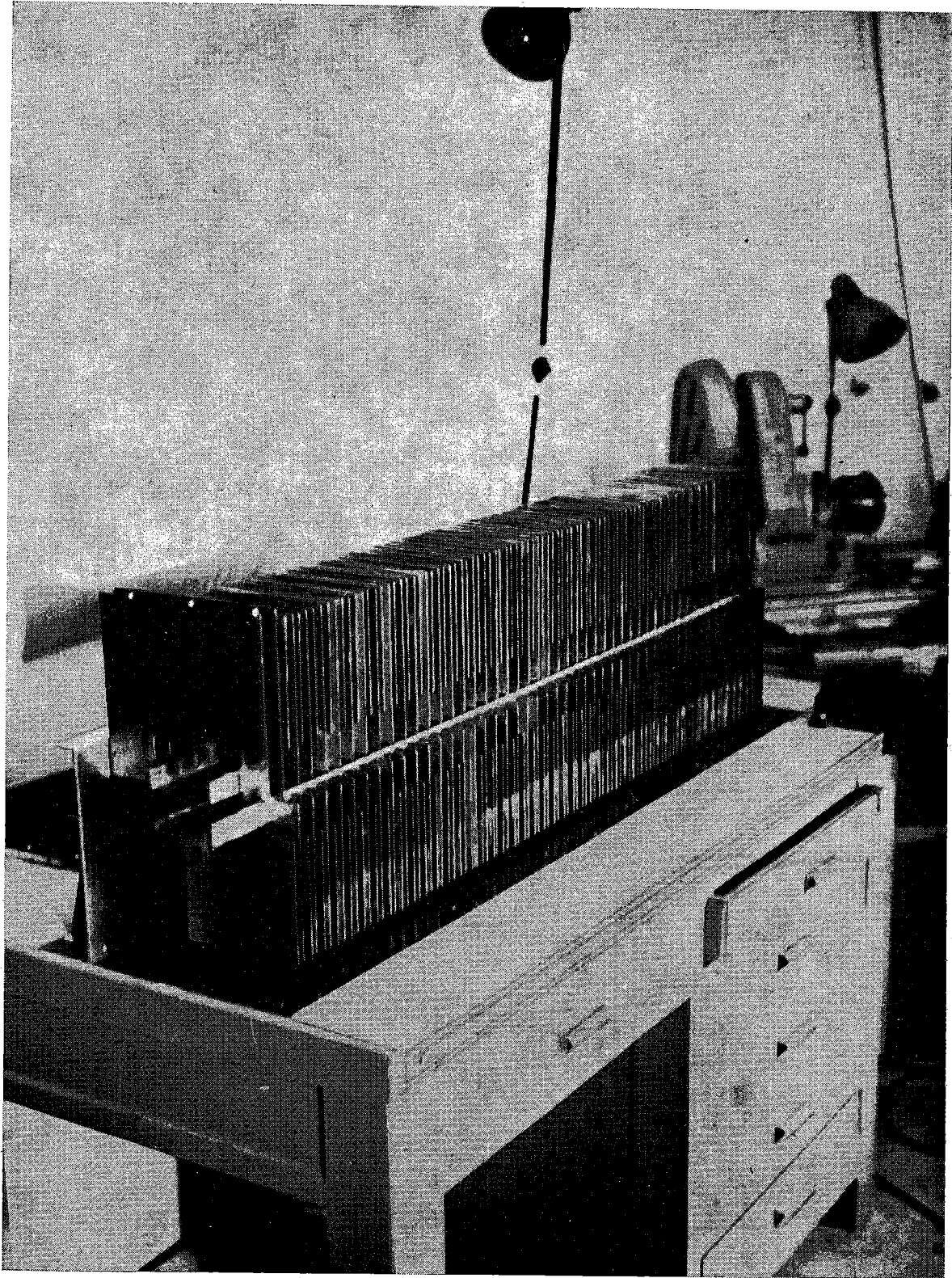


Fig. 5.

La Fig. 5 mostra quest'ultimo in fase di montaggio.

Il deflettore pulsato è, di tutta la macchina, la parte che presenta maggiori difficoltà tecnologiche; per questa ragione pensiamo sia conveniente iniziare le prove su una struttura definitiva e a piena potenza al più presto. Prevediamo che ciò possa avvenire verso il Giugno del prossimo anno.

8. - Impianto di vuoto e ciambella.

Nella ciambella si deve ottenere una pressione residua minore od uguale a 10^{-9} mm di Hg. Assumendo una velocità di degassamento per la parete della ciambella di $5 \cdot 10^{-12}$ l torr/s cm^2 , si richiede l'uso di 16 pompe da 400 l/s ciascuna.

Le pompe saranno del tipo a getter: esse hanno il grosso vantaggio di costituire un sistema chiuso, e quindi non vi è pericolo di rientro d'aria in caso di mancanza di energia elettrica.

Assai importante è la scelta dei materiali da usarsi per la ciambella. Nostro scopo è di ottenere dei bassi valori di velocità di degassamento senza dover ricorrere a riscaldamento a temperatura superiore a 150°C . A questi requisiti pare che rispondano degli speciali tipi di acciaio inossidabile (fusi sotto vuoto), sottoposti a trattamenti elettrochimici di pulitura superficiale.

È già stato realizzato un sistema con pompaggio differenziale che permette di passare dal sistema di vuoto del linac (a 10^{-6} torr) a quello dell'anello (10^{-9} torr): esso è costituito da un tubo lungo 1.30 m, di diametro interno di 2 cm, per permettere il passaggio dei fasci, lungo il quale sono distribuite tre pompe getter da 75 l/s.

9. - Impianto a radio-frequenza.

Si prevede l'uso di due cavità acceleratrici, in 2^a armonica (12 MHz), con una tensione di picco al gap di 20 kV ciascuna.

Le cavità saranno in aria con passanti isolanti in ceramica al gap, in modo da ridurre il volume sotto vuoto.

Il problema del carico elettronico è stato studiato in dettaglio⁽⁶⁾; l'impianto è progettato in modo che se la tensione in una delle cavità va a zero (per una scarica, ad esempio), l'altra dovrebbe essere in grado di mantenere i fasci circolanti per qualche minuto. Il sistema che dovrebbe permettere ciò, sarà prossimamente provato sul modello di cavità attualmente in funzione.

⁽⁶⁾ M. PUGLISI: *Effetto del carico elettronico sulle cavità risonanti delle macchine acceleratrici orbitali*, Rapporto LNF-62/23 (9 Aprile 1962).