

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE  
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-78/7(R)  
27 Gennaio 1978

M. Bassetti, M.E. Biagini, R. Boni, A. Cattoni, V. Chimenti,  
M. Fiorentino, S. Guiducci, G. Martinelli, M.A. Preger,  
C. Sanelli, M. Serio, S. Tazzari e F. Tazzioli:  
ALA. ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E  
POSITRONI AD ALTA LUMINOSITA' ED ENERGIA MASSIMA  
DI 1.2 GeV. ELEMENTI DI PROGETTO.

LNF-78/7(R)  
27 Gennaio 1978

M. Bassetti, M.E. Biagini, R. Boni, A. Cattoni, V. Chimenti, E. Fiorentino, S. Guiducci, G. Martinelli, M.A. Preger, C. Sanelli, M. Serio, S. Tazzari and F. Tazzioli: ALA. ANELLO DI ACCUMULAZIONE PER ELETTRONI E POSITRONI AD ALTA LUMINOSITA' ED ENERGIA MASSIMA DI 1,2 GeV. Elementi di progetto.

## 1. - Introduzione

E' stata recentemente proposta la costruzione di un anello di accumulazione per  $e^+$  e  $e^-$  che coprisse la regione di energia nel centro di massa fra circa 900 e circa 1700 MeV con alta luminosità. Nella proposta preliminare<sup>1)</sup> era spiegato come fosse possibile, nella zona di energie indicata, pensare ad una macchina con luminosità fra uno o due ordini di grandezza maggiori di quelle oggi ottenibili dalle macchine esistenti.

Lo studio di macchina più dettagliato esposto nel presente lavoro conferma le conclusioni preliminari allora<sup>1)</sup> raggiunte, su un intervallo di energie che è stato esteso fino a 2400 MeV. La macchina studiata (ALA) è un anello di accumulazione per  $e^+$  e  $e^-$  con energia massima di 1,2 GeV, due sezioni dritte di incrocio di 3 m, e luminosità attorno a  $10^{31}$   $\text{cm}^{-2}$   $\text{s}^{-1}$  nell'intervallo fra .8 e 1.2 GeV per fascio.

L'alta luminosità si ottiene essenzialmente con due tecniche:

- valori molto bassi della funzione ampiezza di betatrone verticale,  $\beta_z^*$ , nel punto di incrocio;
- utilizzo di una struttura ottica che permetta di ottenere diversi valori dell'invarianza  $M^{*2}$ , a seconda dell'energia di lavoro.

La tecnica del "basso  $\beta$ " è ormai ben sperimentata e compresa.

L'utilizzo di  $M^*$  variabili per coprire una larga zona di energia con luminosità proporzionale all'energia,  $L \propto E$ , benché non sia stato ancora mai sperimentato sistematicamente su macchine esistenti, è però basato su considerazioni molto semplici e

ben comprese e non ci si attende quindi che possa essere un punto di difficoltà. Sotto varie forme questa tecnica è inclusa nei più recenti progetti.<sup>3),4),5)</sup>

Nel progetto di ALA, valori piuttosto elevati di  $M^*$  sono associati a valori del "momentum compaction",  $\alpha_c$ , più grandi di quelli normalmente usati. Il valore massimo assunto,  $\alpha_c = .25$ , non è comunque troppo lontano da quello ( $\alpha_c = .17$ ) di lavoro dell'anello russo VEPP-2M.<sup>6)</sup> La stabilità della struttura nelle tre dimensioni è assicurata dalla scelta di un indice di campo  $n = .5$  nei magneti curvanti.

Vengono anche fatte le ipotesi seguenti:

1. - corrente massima per fascio: 150 mA;
2. - massimo valore del parametro di interazione dei fasci  $\xi$ : .06.

Il limite sulla corrente massima (da cui dipende la massima luminosità) è legato sia alla velocità di iniezione ottenibile che ad una ragionevole stima della massima corrente per bunch accumulabile senza gravi problemi di stabilità longitudinale.

Il funzionamento normale è con un solo bunch per fascio ma la struttura magnetica e la radiofrequenza consentono un eventuale funzionamento con due bunches per fascio.

Il massimo valore del parametro di interazione  $\xi$  è consistente, dato il modo di funzionamento scelto, con i valori ottenuti dagli anelli funzionanti<sup>7),8),9),10)</sup> e con i valori di progetto assunti per gli anelli PEP<sup>4)</sup> e PETRA<sup>3)</sup> attualmente in costruzione.

I valori massimi della corrente di picco, data la massima corrente accumulata in un bunch e la frequenza di RF scelta, sono circa eguali o inferiori a quelli con cui opera SPEAR e non troppo diversi da quelli di ADONE.

L'installazione su ADONE del nuovo sistema RF, identico a quello proposto per ALA, permetterà comunque a breve termine di verificare sperimentalmente le ipotesi fatte sulle massime correnti accumulabili in un bunch.

Un problema specifico di ADONE è la dipendenza molto ripida della luminosità dall'energia ( $L \propto E^7$ ) al di sotto di  $\sim 800$  MeV (ci si attenderebbe un andamento naturale  $L \propto E^4$ ). Nonostante che il fenomeno non sia stato compreso nel dettaglio è ritenuto che si tratti di un processo di diffusione in competizione con il damping di radiazione<sup>5)</sup>. Assumendo per il raggio di curvatura nei magneti il minimo valore compatibile con la massima energia di lavoro ed il massimo campo magnetico realizzabile, si ottiene un tempo di damping notevolmente inferiore a quello di ADONE. Sulla base del valore ottenuto ci si attende che in ALA l'andamento della luminosità sia quello naturale al di sopra di  $\sim 500$  MeV per fascio.

Per quanto riguarda l'iniezione occorre osservare che, allo stadio attuale del lavoro di progetto, resta aperto il problema se sia più conveniente, tenendo conto di costi, prestazioni e interferenze con altre attività, iniettare nella macchina direttamente dall'acceleratore lineare dei L.N.F. o usando ADONE come booster. Anche su questo, ulteriori informazioni risulteranno dall'esperienza con la cavità a RF a 51 MHz da installare su ADONE.

## 2. - Criteri di progetto

2.1. - In una macchina di energia relativamente bassa come ALA, la perdita di energia per irraggiamento degli elettroni accumulati è anch'essa relativamente bassa, co sicché l'ottimizzazione del raggio di curvatura nei magneti, in funzione dell'energia massima e dei costi della RF e di esercizio, è poco critica. D'altronde un basso raggio è vantaggioso perché riduce la lunghezza totale della macchina ed aumenta lo smorzamento delle oscillazioni di sincrotrone e betatrone.

Poiché tutti i fenomeni di instabilità competono con la costante di tempo di smorzamento e ci si attende inoltre che ne dipenda anche (come già accennato nel la introduzione) l'andamento con l'energia della luminosità, si propone per ALA un raggio magnetico di 2.5 m, che è il minimo compatibile con l'energia di lavoro di 1.2 GeV e con un campo magnetico nei magneti curvanti non superiore a 1.6 T.

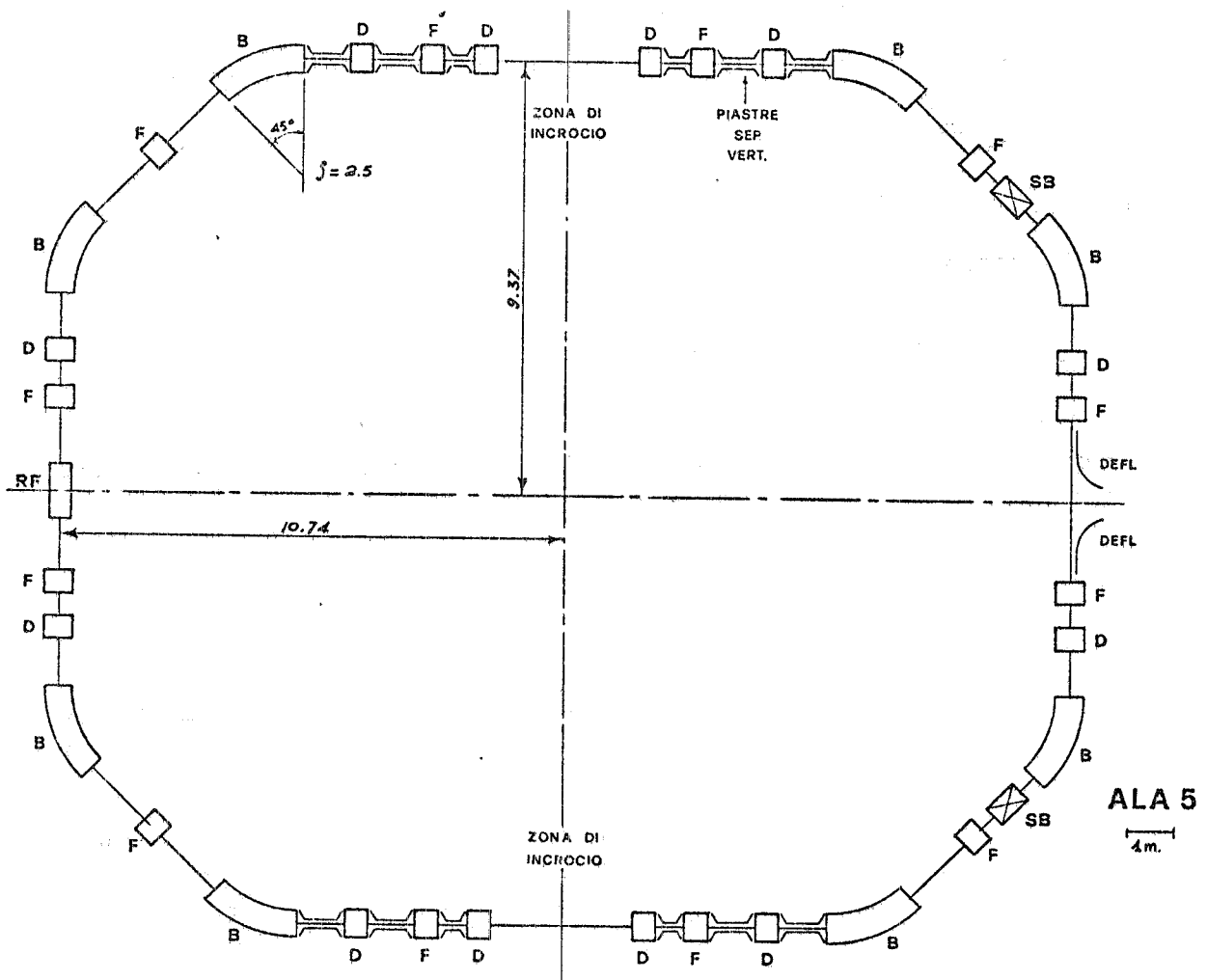


FIG. 1 - Pianta schematica dell'anello.

2.2. - Ricordiamo che la luminosità si può esprimere come segue:

$$L = K_L \frac{E^4}{RQ} M^* h \xi_M^2 \left( \frac{1}{\beta_z^*} + \frac{1}{\beta_x^*} \right) \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (1)$$

dove:

- $K_L = 1.06 \times 10^{38} \text{ s}^{-1} \text{ GeV}^{-4}$  e dipende solo dalle unità di misura scelte;
- $R, Q$  sono rispettivamente il raggio medio ed il raggio magnetico;
- $M^*$  è un parametro ottico che determina le dimensioni dei fasci nel punto di interazione ed ha le dimensioni di una lunghezza;
- $h$  è il numero dei bunches per fascio;
- $\beta_x^*, \beta_z^*$  sono le funzioni ampiezza di betatrone radiale e verticale nel punto di incrocio;
- $\xi_M$  è il massimo valore che può assumere il parametro di interazione fascio-fascio  $\xi$  (tune shift lineare).

Se si assume che  $\xi_M$  sia indipendente da  $E$ , ne segue, per una data struttura ottica e per un dato numero di bunches, l'andamento naturale  $L \propto E^4$ .

Il numero di particelle da accumulare per ottenere la luminosità data dalla (1) è:

$$N = K_N \frac{E^3}{Q} M^* h \xi_M \quad (2)$$

dove  $K_N = 6.41 \times 10^{12} \text{ GeV}^{-3}$  e dipende solo dalle unità di misura.

Dal rapporto della (1) alla (2) si ottiene la luminosità specifica

$$\frac{L}{N} = \frac{K_L}{K_N} \frac{\xi_M}{R} E \left( \frac{1}{\beta_z^*} + \frac{1}{\beta_x^*} \right) \quad (3)$$

Il numero di particelle (ovvero la corrente accumulata) deve anche essere inferiore al cosiddetto limite longitudinale<sup>11)</sup> che però, nel caso di ALA, è sempre superiore a quello trasverso dato dalla (2).

2.3 - Gli obiettivi di progetto sono:

a) Alta luminosità alla massima energia.

L'iniezione e le instabilità longitudinali pongono un limite al numero di particelle accumulabili; la luminosità massima ottenibile è quindi tanto più alta, quanto più elevata è la luminosità specifica.

Dalla (3) si vede che ciò si ottiene rendendo minimi  $R$  e  $\beta_{x,z}^*$  ("basso  $\beta$ "). Rendere minimo  $R$  è senz'altro conveniente. Il limite inferiore è determinato dalla lunghezza dei magneti curvanti, dagli spazi necessari per gli esperimenti, l'iniezione, la cavità RF e la strumentazione di controllo, e da quelli indispensabili alla realizzazione dell'ottica desiderata. Ciò conduce per ALA ad  $R = 11.14 \text{ m}$ .

Per ragioni di struttura ottica conviene abbassare molto  $\beta_z^*$  e tenere  $\beta_x^*$  su di un valore più basso di quello medio della struttura, ma più alto di  $\beta_z^*$ . Inoltre non

serve abbassare  $\beta_z^*$  al di sotto di un valore circa uguale alla lunghezza del bunch. Nel progetto di ALA tutto ciò conduce a scegliere  $\beta_z^* = .2$  m,  $\beta_x^* = 1$  m.

Il valore della grandezza  $\xi_M$  che compare nella (3) si deduce dai risultati sperimentali degli anelli funzionanti ed è un limite naturale. Assumiamo  $\xi_M = .06$  in accordo con i dati sperimentali esistenti.<sup>7),8),9),10)</sup>

Fissata la luminosità specifica ed il numero di particelle accumulabili, la (1) determina il valore di  $(M^* h/\rho)$  alla massima energia. La scelta del valore di  $\rho$  (2.5m) è stata già discussa. Il considerare il numero di bunches al di sopra di  $h=1$  comporta notevoli complicazioni sia per la stabilità longitudinale, che per la necessità, se vi sono solo due punti di basso  $\beta$  lungo la macchina, di tenere separati i fasci negli altri punti di incrocio; nel progetto di ALA si assume perciò  $h = 1$ , lasciando la possibilità di passare ad  $h = 2$  nel caso ciò si dimostrasse fattibile e conveniente.

Fissati  $\rho$  ed  $h$ , risulta determinato il valore di  $M^*$  alla massima energia. Assumendo per il massimo numero di particelle accumulabili il valore  $N_{max} = 2.2 \times 10^{11}$  (corrispondenti a 150 mA per fascio) si ottiene, con i valori indicati  $L(E_{max}) = 1.4 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , e dalla (1)  $M^*(E_{max}) = .82$  m.

b) Minima diminuzione della luminosità al decrescere dell'energia.

Al decrescere dell'energia occorre aumentare il valore di  $M^*$  rispetto a quello calcolato per la massima energia, per attenuare l'andamento naturale della luminosità con  $E^4$  evidenziato dalla (1). Ammesso che sia possibile realizzare una struttura ottica che dia un qualunque valore di  $M^*$ , si potrà fissare, al decrescere dell'energia, una legge del tipo:

$$M^* = M_{E_{max}}^* (E/E_{max})^{-n} \quad (4)$$

Dalle (1) e (2) risultano per la luminosità ed il numero di particelle le leggi:

$$\begin{aligned} L &= L_{E_{max}} (E/E_{max})^{4-n} \\ N &= N_{E_{max}} (E/E_{max})^{3-n} \end{aligned} \quad (5)$$

Risulta anche di conseguenza, per le dimensioni trasverse dei fasci:

$$\sigma = \sigma_{E_{max}} (E/E_{max})^{\frac{2-n}{2}} \quad (6)$$

Poiché il numero di particelle è fissato, il miglior valore di  $n$  per l'andamento della luminosità con l'energia è  $n = 3$ . Con questa scelta si ottiene:

$$\left\{ \begin{aligned} N &= \text{cost} = N_{max} & L &= L_{E_{max}} (E/E_{max}) \\ M^* &= M_{E_{max}}^* (E_{max}/E)^3 & \sigma &= \sigma_{E_{max}} (E_{max}/E)^{1/2} \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Le (7) valgono finché l'ottica e le aperture disponibili consentono di aumentare  $M^*$ . La struttura di ALA è progettata in modo da poter variare  $M^*$  con continui-

tà nell'intervallo  $\sim .3 \div 4$  m lasciando immutati  $\beta_x^*, \beta_z^*, Q_x, Q_z$ . Inoltre ogni tipo di struttura è raggiungibile con continuità a partire da quella di iniezione.<sup>30)</sup>

Altre considerazioni (v. paragrafo sull'ottica) spingono a limitare il massimo valore di  $M^*$  a  $\sim 3$  m. Si ottiene così una luminosità che varia linearmente con l'energia fra  $\sim 800$  e  $1200$  MeV per fascio. Al di sotto di  $800$  MeV per fascio l'andamento  $L(E)$  è quello naturale  $L \propto E^4$  (v. Fig. 2).

2.4. - Un parametro importante per gli esperimenti è la lunghezza di sorgente. Con i parametri di ALA la lunghezza naturale (r.m.s.) di sorgente in funzione della energia è quella mostrata in Fig. 3).

L'allungamento anomalo è difficile da valutare esattamente poiché manca una teoria adeguata. Con particolari accorgimenti nella costruzione della ciambella ci si attende di poter contenere la lunghezza effettiva di sorgente entro i  $20$  cm r.m.s. a tutte le energie.<sup>28)</sup> L'ottenimento di valori più bassi implica la scelta di un sistema RF a frequenza molto più alta e quindi, oltre ad un incremento di spesa, un notevole lavoro di sviluppo.

Un altro importante parametro è la risoluzione energetica della macchina. Con il valore scelto per il raggio di curvatura la larghezza a metà altezza della distribuzione in energia del centro di massa della sorgente è data dalla:

$$\Gamma_E^{(cm)} = .45 \left[ E_{GeV}^{(cm)} \right]^2 \text{ MeV} \quad (8)$$

### 3. - Struttura ottica

3.1. - Riassumendo la conclusione del paragrafo precedente, la struttura ottica deve:

- a) Realizzare dei bassi valori di  $\beta_x, \beta_z$  in due punti di incrocio ( $\beta_x^* = 1$  m,  $\beta_z^* = .2$  m).
- b) Dare la possibilità di variare con continuità il parametro  $M^*$  di un fattore dell'ordine di almeno 4.
- c) Avere  $q = 2.5$  m.
- d) mantenere  $R$  il più basso possibile.

E' anche necessario realizzare dei valori dei numeri d'onda di betatrone,  $Q_x$  e  $Q_z$ , non troppo bassi e possibilmente dispari. I valori scelti sono  $Q_x = Q_z = 3.2$  e sono in pratica i più alti ottenibili con la struttura proposta.

Poiché infine per l'iniezione è necessario che  $\beta_z^*$  sia più alto del valore di lavoro, e cioè dell'ordine di  $1$  m, è anche necessario che le strutture di lavoro siano raggiungibili con continuità a partire da una struttura di iniezione.

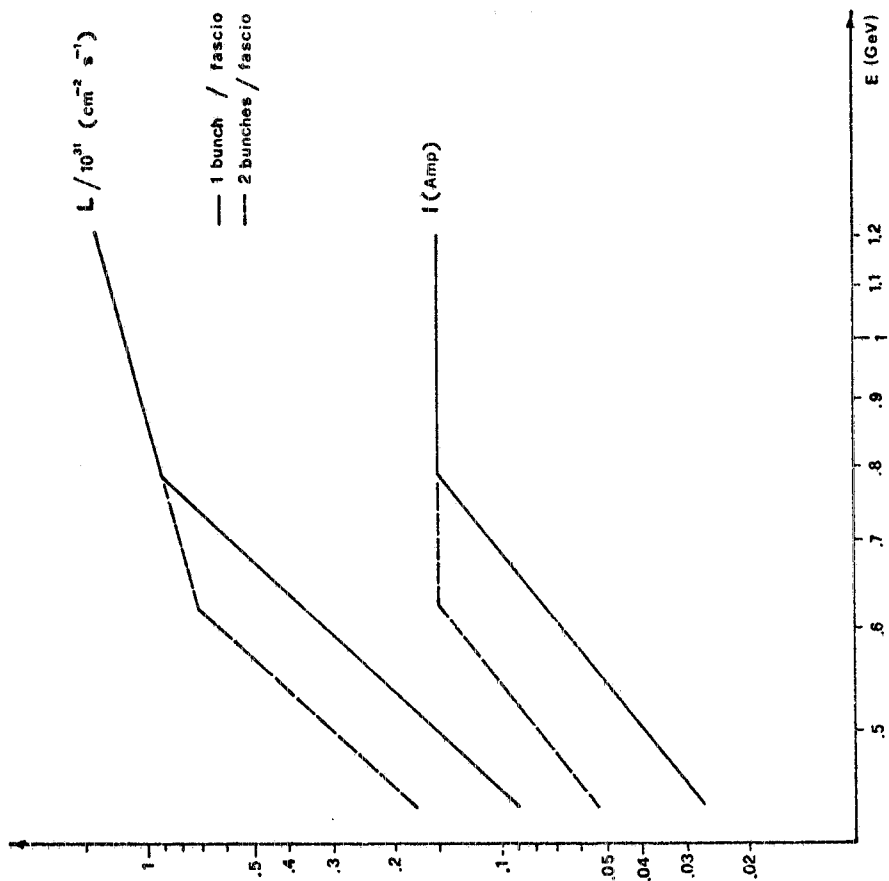


FIG. 2 - Luminosità e corrente totale in funzione dell'energia.

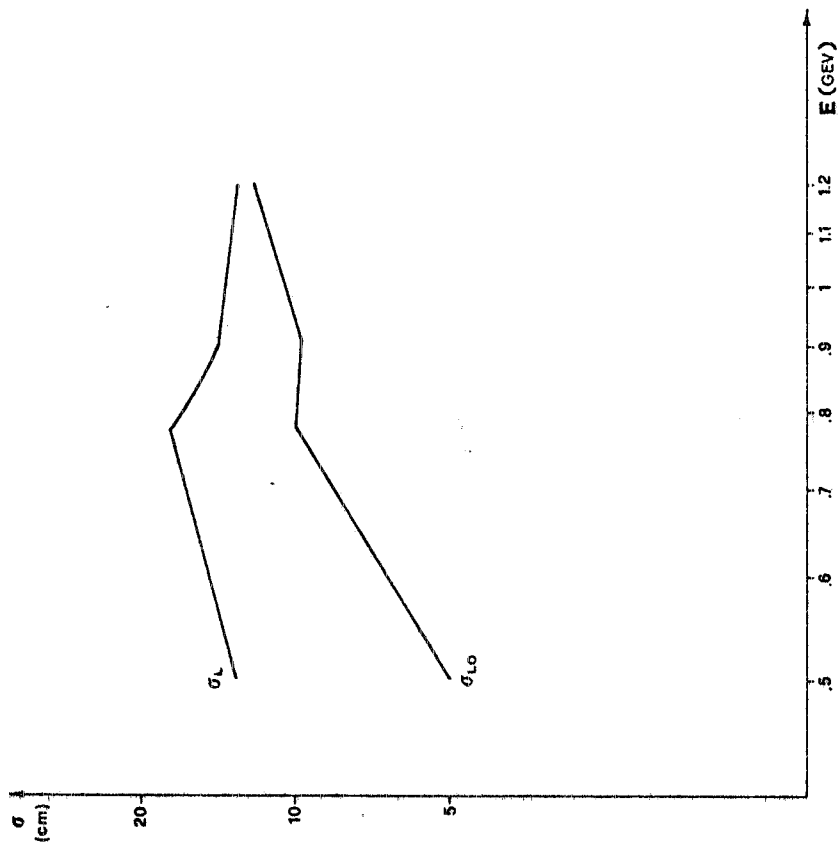


FIG. 3 - Lunghezza di sorgente naturale:  $\sigma_{L,O}$   
Stima dell'allungamento anomalo:  $\sigma_L$ .



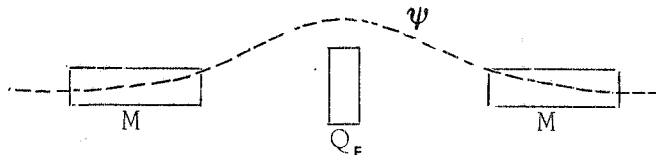
Gli obiettivi di progetto elencati vanno ottenuti rispettando alcuni vincoli, quali:

- e) lunghezza libera delle sezioni dritte di incrocio di circa 3 m.;
- f) tratti dritti opportunamente dislocati lungo l'anello e necessari per l'iniezione, la RF, la separazione dei fasci nelle zone di interazione all'iniezione, la strumentazione di controllo;
- g) contenimento dei costi e non criticità, e cioè valori delle funzioni  $\beta_x, \beta_z, \psi$  lungo la macchina non troppo elevati e con i massimi dislocati opportunamente.

3.2. - Normalmente nelle macchine con inserzione low-beta il periodo è costituito dalla unione di due tratti di macchina: inserzione low-beta più parte periodica. Affinché l'andamento delle funzioni ottiche nella parte periodica non sia perturbato dalle inserzioni è necessario operare il matching di tali funzioni nel punto di unione. Tale esigenza comporta che il tratto di inserzione deve avere tanti parametri di libertà (normalmente numero di quadrupoli) quante le condizione da imporre. Bisogna però tener conto del fatto che introdurre gradi di libertà, cioè quadrupoli, vuol dire allungare la macchina.

Per macchine lunghe come PEP o PETRA la lunghezza delle inserzioni non pesa molto, contrariamente a quanto avviene per una macchina corta come ALA. Per ALA non è quindi conveniente operare il matching, ma è opportuno considerare ogni quarto di macchina come un'inserzione comprendente i magneti curvanti che si raccorda automaticamente col quarto successivo per simmetria. In questo modo le condizioni da imporre su un quarto di macchina sono soltanto 4, cioè i 2  $\beta$  all'incrocio,  $Q_x$  e  $Q_z$  e non ci sono vincoli per i  $\beta$  nel punto di simmetria. Tuttavia, se introduciamo soltanto 4 quadrupoli per quarto di macchina, non abbiamo la possibilità di variare  $M^*$ .

Per ottenere la condizione b) viene allora aggiunto un quadrupolo inserito simmetricamente tra i due magneti del quarto di macchina la cui intensità controlla la  $\psi$  (v. figura)



Per un certo valore dell'intensità del quadrupolo la  $\psi$  è identicamente nulla all'esterno dei magneti. In queste condizioni  $M^*$  è vicino ai valori minimi. Diminuendo l'intensità della corrente del quadrupolo il valore di  $M^*$  aumenta.

In questo modo un quarto di macchina avrebbe 5 quadrupoli. E' risultato però conveniente aggiungere un sesto quadrupolo, soprattutto per soddisfare il punto g), a parità di  $\beta_x^*, \beta_z^*, Q_x, Q_z, M^*$ .

3.3. - La struttura di macchina che ne risulta è mostrata in Fig. 1. I valori dell'invariante  $M^*$  sono dati in funzione dell'energia di lavoro in Fig. 4a. In Fig. 5 sono mostrati gli andamenti delle funzioni ottiche  $\beta_x, \beta_z, \psi$  per i due casi estremi  $M^* = 3 \text{ m}, M^* = .8 \text{ m}$ .

In Fig. 4b è mostrato l'andamento del "momentum compaction",  $\alpha_c$ , in funzione dell'energia (cioè per le varie strutture corrispondenti alle varie energie di lavoro). Da  $\alpha_c$  dipende la lunghezza del bunch e quindi quella della sorgente. Ne dipendono anche i coefficienti di partizione del damping, a meno che i magneti curvanti non abbiano, come nel caso di ADONE e ALA, un indice di campo  $n = .5$ .

Poiché la lunghezza di sorgente è un parametro importante, non conviene far crescere troppo  $\alpha_c$  (e quindi  $M^*$ ). Si è scelto  $\alpha_{c\text{max}} = .25$ .

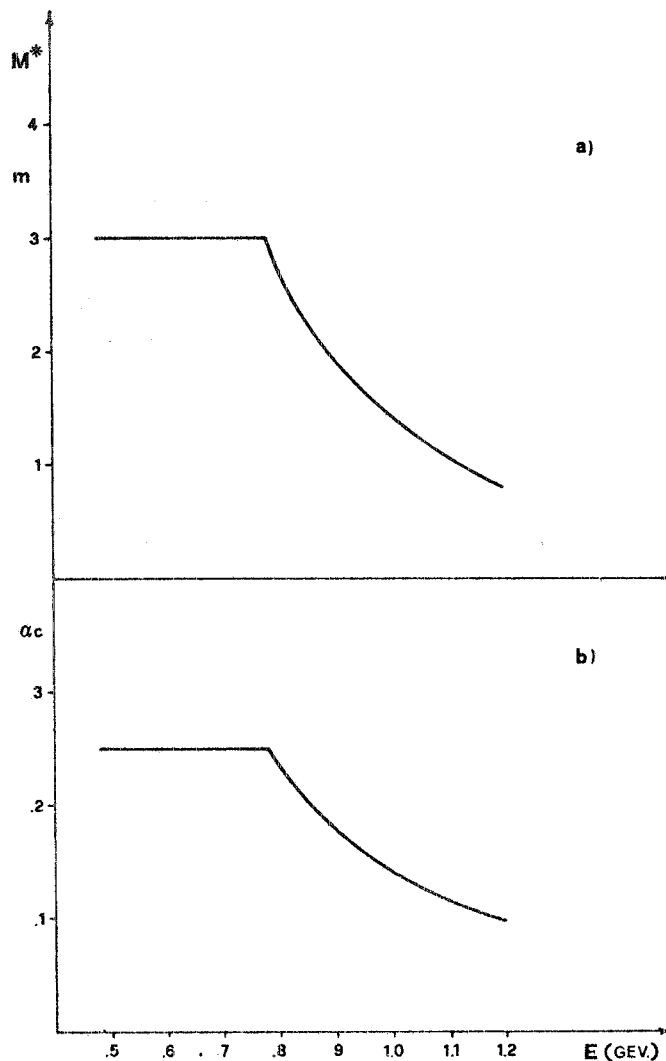


FIG. 4 -  $M^*$ ,  $\alpha_c$  in funzione dell'energia.

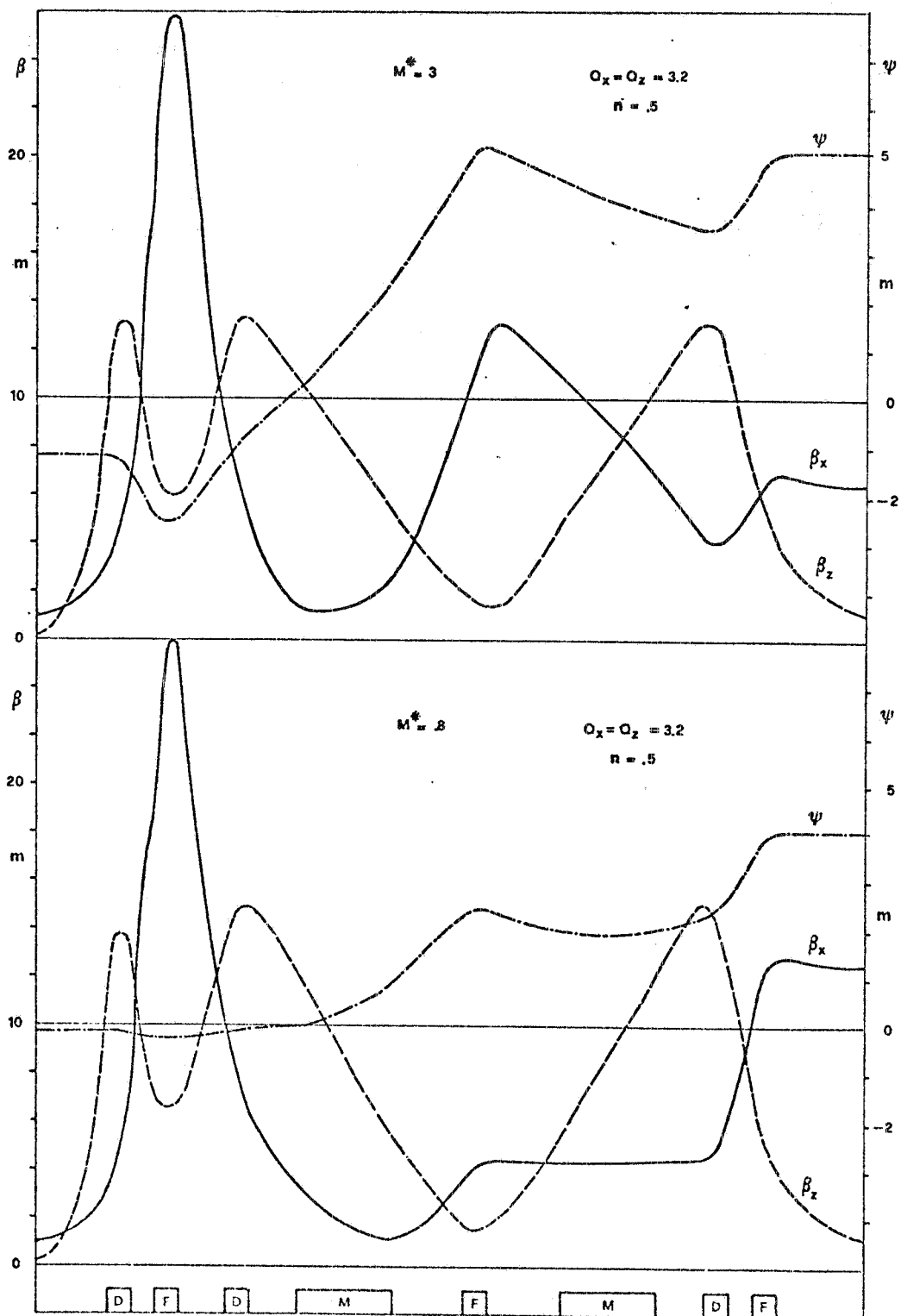


FIG. 5 - Funzioni ottiche (1/4 di macchina).

### 3.4. - Apertura.

3.4.1. - L'apertura necessaria dipende dalle dimensioni dei fasci nelle configurazioni di lavoro e dalle necessità per l'iniezione.

L'apertura richiesta nella configurazione di lavoro è massima intorno a 800 MeV, dove le dimensioni dei fasci sono massime<sup>13)</sup>. Per calcolarla si assume di lasciare al fascio (in interazione) una apertura libera di almeno  $\pm 8\sigma$ ,  $\sigma$  essendo la dimensione trasversa naturale r.m.s. del fascio stesso. A questa vanno aggiunti  $\pm 5$  mm per tener conto dell'orbita chiusa residua e  $\pm 15$  mm per tener conto dell'ingombro della ciambella (con riscaldamento) e delle tolleranze di montaggio. Nel piano verticale occorre anche tener conto della separazione dei fasci all'incrocio che deve essere ovviamente mantenuta fino al raggiungimento dell'energia di lavoro.

Si assume anche, in base alle conoscenze attuali,<sup>12)</sup> che eventuali fenomeni di allungamento anomalo non abbiano influenza apprezzabile sulle aperture richieste.

Dalle considerazioni sopra esposte si traggono i seguenti valori indicativi delle aperture<sup>13)</sup>

	<u>Radiale</u>	<u>Verticale</u>
Quadrupoli .....	150 mm	80 mm
Magneti .....	150 mm	70 mm

Particolarmente importante, dal punto di vista dei costi, è il mantenere al valore più basso possibile il gap del magnete.

3.4.2. - Le aperture richieste per l'iniezione sono molto minori di quelle indicate in 3.4.1, se si pensa di usare ADCNE come booster per l'iniezione di positroni.

Nel caso invece che i positroni dovessero essere iniettati direttamente dal Linac le aperture indicate sono estremamente al limite in tutta la macchina<sup>29)</sup> e, comunque, almeno gli 8 quadrupoli interessati al "bump d'iniezione" dovrebbero essere portati ad un diametro di gola di  $\sim 200$  mm.

Come sarà meglio chiarito nel paragrafo dedicato all'iniezione, sarà necessario, in sede di progetto costruttivo, esaminare il problema in maggior dettaglio prima di poter decidere se sia più conveniente passare per Adone o modificare le aperture di cui in 3.4.1.

3.5. - Sulla struttura ottica proposta si può ancora osservare che essa è poco critica e molto flessibile. In particolare è possibile coprire con i valori di  $Q_x$  e  $Q_z$  tutto l'intervallo fra 2 e 3.3.

Le caratteristiche principali della struttura stessa sono riassunte nella tabella 1.

- Tabella 1 -

Caratteristiche ottiche della struttura di ALA		
N° di periodi .....	2	
N° di sezioni di incrocio .....	2 x 3 m	
N° di magneti .....	8	
N° di quadrupoli .....	24	
Lunghezza totale ( $2\pi R$ ) .....	70 m	
Raggio di curvatura dei magneti ( $\rho$ ) .....	2.5 m	
Frequenza di betatrone radiale ( $Q_x$ ) .....	3.2	
Frequenza di betatrone verticale ( $Q_z$ ) .....	3.2	
	punto di lavoro	punto di iniezione
Invariante (M) .....	.80-2.28 m	.55 m
Invariante all'incrocio ( $M^*$ ) .....	.81-3.00 m	.80 m
Momentum compaction ( $\alpha_c$ ) .....	.10 $\div$ .25	.036
Lungh. d'onda di betatrone rad. all'incr. ( $\beta_x^*$ )	1 m	3 m
" " " " verticale " ( $\beta_z^*$ )	.2 m	1 m
Dispersione all'incrocio ( $\psi^*$ ) .....	-.16 $\div$ -1.21 m	1.2 m
$\beta_x^{\max}$ nella macchina .....	26.9 $\div$ 27.4 m	17.9 m
$\beta_z^{\max}$ nella macchina .....	13.3 $\div$ 15.3 m	24.5 m
$\psi^{\max}$ nella macchina .....	4.0 $\div$ 5.1 m	4.3 m
Cromatismo radiale ( $p\Delta v_x / (v_x \Delta p)$ ) .....	-2.30 $\div$ -2.67	-1.38
Cromatismo verticale ( $p\Delta v_z / (v_z \Delta p)$ ) .....	-1.53 $\div$ -1.91	-1.77

### 3.6. - Sestupoli.

L'introduzione di correzioni sestupolari è necessaria per curare l'instabilità di testa-coda.<sup>18)</sup> E' sufficiente introdurre due famiglie di sestupoli che invertano la cromaticità naturale dell'anello portandola a piccoli valori positivi.

Le cromaticità di ALA, riportate in Tabella 1), rientrano nei valori normali e la loro correzione con due famiglie, ciascuna di 4 sestupoli, non presenta particolari difficoltà.<sup>19)</sup>

Poiché tuttavia i sestupoli, per la loro natura, introducono non linearità che possono ridurre le aperture effettive è opportuno, prima di stabilire definitivamente la loro posizione sulla macchina, ricostruire in dettaglio le orbite delle particelle (con programmi di tracking).<sup>20),21)</sup>

Si rimanda quindi, per la definizione precisa del numero e della posizione dei sestupoli, al progetto costruttivo.

#### 4. - Il magnete

##### 4.1. - Descrizione generale.

I magneti curvanti e i quadrupoli saranno realizzati in lamierini incollati. La scelta di una soluzione a lamierini per la realizzazione della struttura magnetica di una macchina acceleratrice è giustificata dalle argomentazioni addotte in 3.4.1 di Super Adone design study - March, 1974 cui si rimanda.

Per quanto riguarda la forma del nucleo magnetico rimane valida la scelta di un nucleo a C per il magnete curvante in quanto consente numerosi vantaggi sia per le misure magnetiche sia per il montaggio e gli interventi sulla camera da vuoto.

Per i quadrupoli evidenti ragioni di simmetria e di riduzione dei costi della attrezzatura consiglierebbero di realizzare il nucleo magnetico in 4 parti (tranciato tipo comprendente un polo e 1/4 di giogo). La tecnica moderna ha ormai sperimentato un modo molto economico di assemblare le 4 parti di cui sopra con semplici piastre di collegamento saldate. Tuttavia la necessità di intervenire sulla camera da vuoto durante l'esercizio della macchina fa preferire la realizzazione del nucleo magnetico dei quadrupoli in 2 parti che possano essere separate sul piano di simmetria orizzontale. In quest'ultimo caso la precisione di montaggio e la ripetibilità delle quote al gap saranno assicurate da opportune spinature di riferimento sulle piastre di accoppiamento delle due metà.

##### 4.2. - Alimentazione.

La densità di corrente ottimizzata risulta dalla minimizzazione di vari costi quali:

- consumo di potenza per ottenere il campo magnetico e per il raffreddamento del sistema;
- dimensione e costruzione delle bobine;
- dimensione e costruzione della struttura magnetica.

L'ottimizzazione è stata fatta sulla base di 50.000 ore di funzionamento e ai costi attuali si ottengono indicazioni sulla densità di corrente intorno a  $4 - 6 \text{ A/mm}^2$ . Con questo tipo di dimensionamento si ottengono le seguenti potenze:

- per i magneti curvanti  $P = 500 \text{ KW}$ ;  $I = 1600 \text{ A}$ ;
- per i quadrupoli  $P_{\text{tot}} = 230 \text{ KW}$  da frazionarsi in alcuni alimentatori per esigenze di macchina e con correnti massime inferiori a 600 A.

Come soluzione tecnica per gli alimentatori si pensa a raddrizzatori dodecafasa realizzati con SCR per mantenere il ripple di corrente sotto i limiti richiesti (inferiore a 1/10.000). La regolazione sarà fatta per mezzo di circuiti feed-back ad alto guadagno che agiscono sul tempo di conduzione degli SCR. Questo assicurerà una regolazione di corrente a meglio dello 0,1%.<sup>22)</sup>

4.3. - Allineamento.

Trattandosi di una macchina molto simile ad ADONE con un centro macchina accessibile sembra ragionevole non scostarsi molto dai metodi allora usati impiegando teodolite di precisione, autolivello di precisione e fili di invar per le misure dirette delle distanze. Ovviamente il problema può essere risolto anche senza ricorrere ad un centro macchina accessibile costruendo e ripetendo lungo l'anello una figura di riferimento fatta con dei poligoni opportunamente connessi fra loro.

Non essendo stato ancora scelto, in questa fase del progetto, un piano di allineamento si rimanda, per quanto riguarda i possibili criteri, alla bibliografia<sup>14),15)</sup>.

Nella seguente tabella sono indicati i principali dati di dimensionamento della struttura magnetica:

- Tabella 2 -

Caratteristiche principali	Magnete curvante <sup>16)</sup>	Lenti quadrupolari <sup>17)</sup>
Altezza gap .....	70 mm	-
Larghezza gap .....	300 mm	-
Raggio di gola .....	-	75 mm
Lunghezza magnetica del core .....	1963 mm	500 mm
Raggio magnetico .....	2500 mm	-
Campo magnetico o gradiente max ..	16 KGauss	800 Gauss/cm
Corrente nominale .....	1562 A	412 A
Resistenza (60°C) .....	0,0246 $\Omega$	0,0552 $\Omega$
Potenza unitaria .....	60 KW	9,5 KW
Spire per polo .....	32	50
Sezione del conduttore .....	18x18 mm <sup>2</sup>	12x12 mm <sup>2</sup>
Foro per il raffreddamento $\emptyset$ .....	9 mm	7 mm
N° dei circuiti d'acqua .....	4	4
$\Delta t$ acqua raffreddamento .....	20°C	20°C
Caduta di pressione .....	11 Ate	<11 Ate
Portata .....	45 l/1'	7 l/1'
Peso del nucleo magnetico .....	12 ton.	0,63 ton.
Peso del rame .....	0,75 ton.	0,28 ton.

Le sezioni del magnete e del quadrupolo sono mostrate rispettivamente in Fig. 6) e Fig. 7).

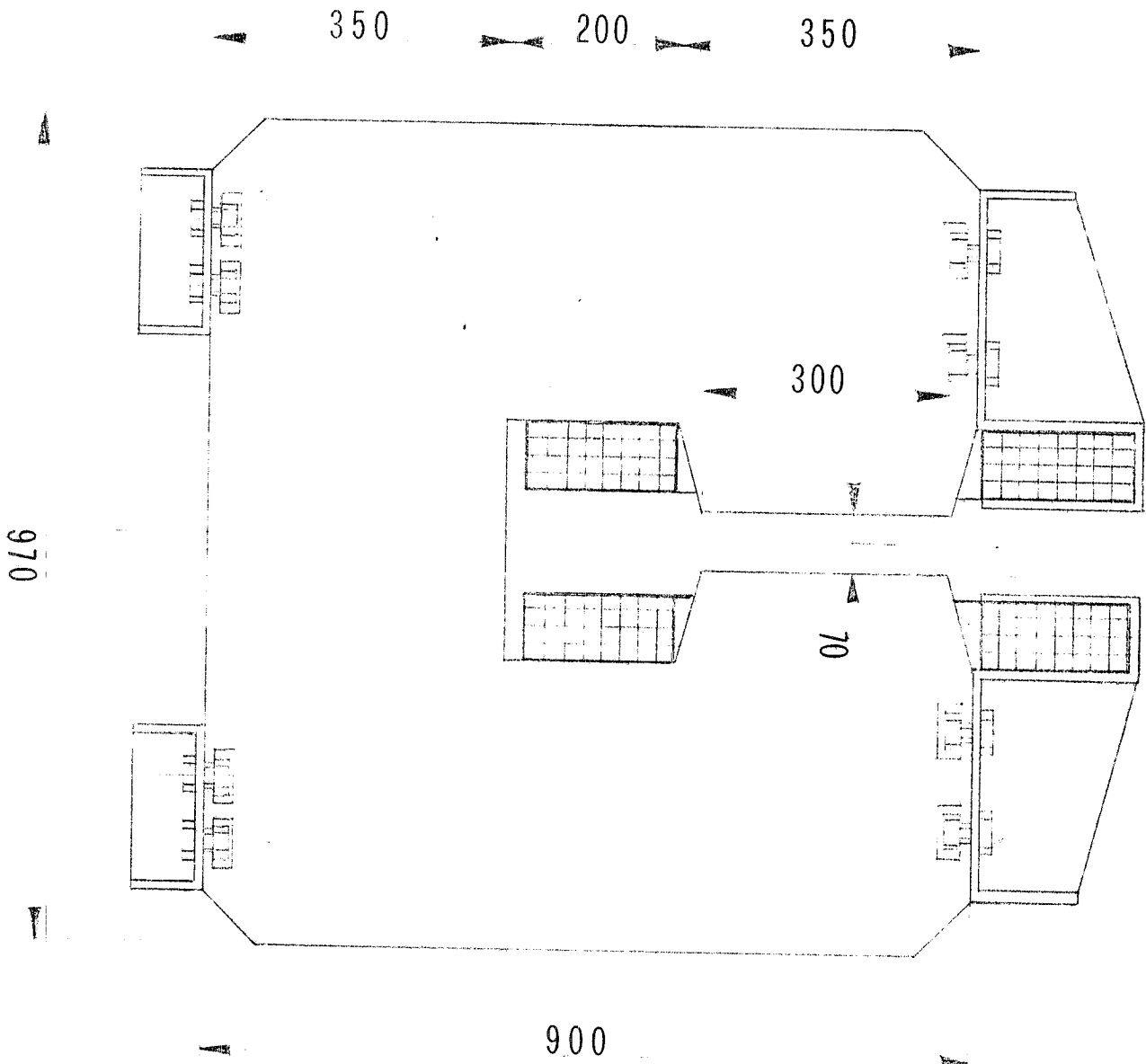


FIG. 6 - Magnete curvante.



742,455

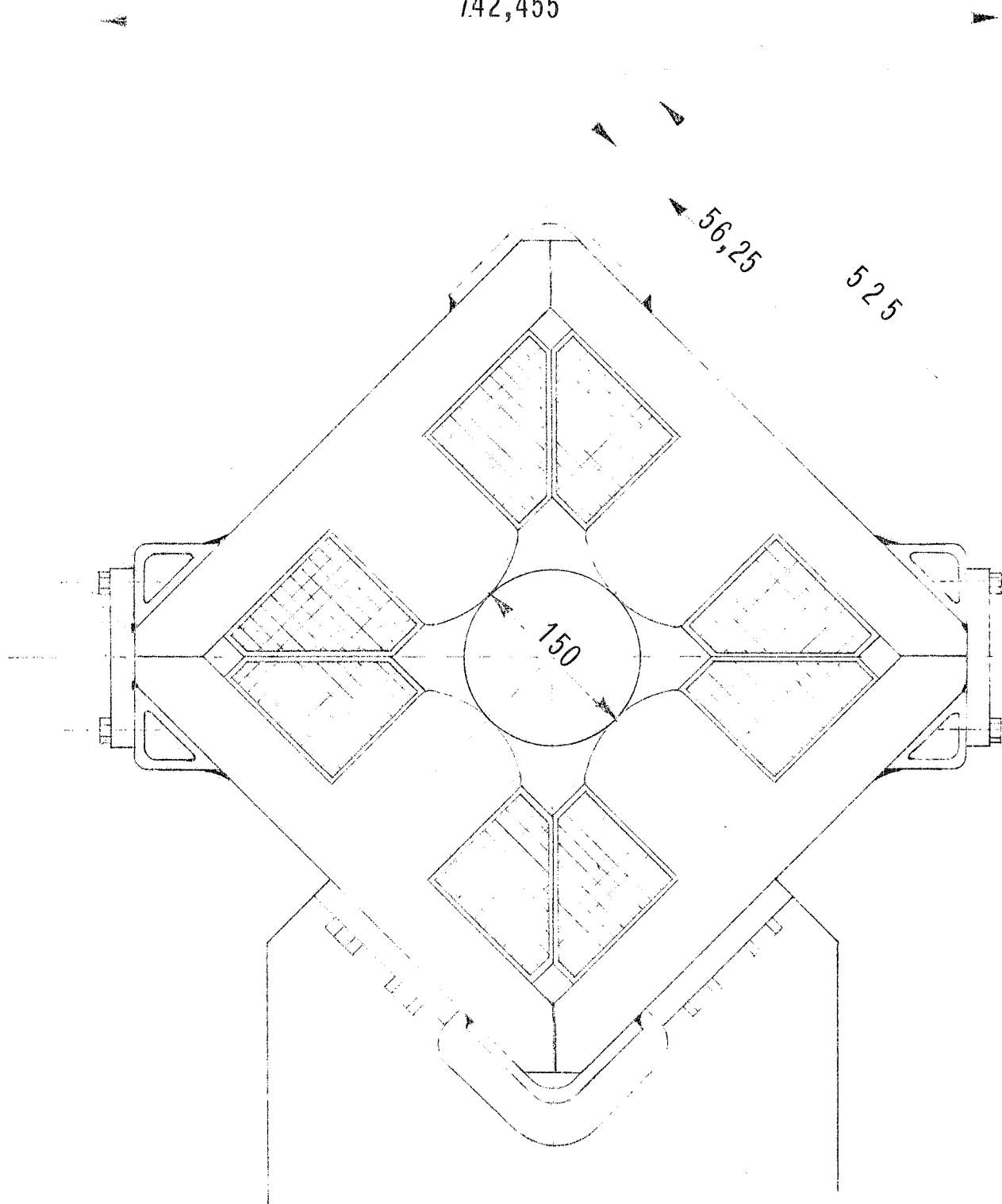


FIG. 7 - Sezione di un quadrupolo.

## 5. - Impianto da vuoto

### 5.1. - Descrizione generale.

Il degassamento totale dovuto alla luce di sincrotrone è dato dalla formula:

$$Q = 1.93 \times 10^{-3} i D \gamma \left[ 1 - \left( \frac{\epsilon_0}{\epsilon_c} \right)^{1/3} \right]$$

Q = degassamento totale in Pa.l/sec. (1 Pa =  $7.5 \times 10^{-3}$  torr.);

i = corrente totale accumulata in mA;

D = desorption efficiency in molecole/fotone;

$\gamma = E/E_0$  ;

$\epsilon_0$  = energia del fotone per cui non si ha più desorbimento ( $\sim 10$  eV);

$\epsilon_c$  = energia di taglio dello spettro di radiazione di sincrotrone:  $\epsilon_c = \frac{3}{2} \frac{\hbar c \gamma^3}{\rho}$   
citando  $\epsilon_c$  si può scrivere:

$$Q = 1.93 \times 10^{-3} i D \left( \gamma - 316 \sqrt[3]{\rho} \right) \quad (\rho \text{ in metri}).$$

Prendiamo per D il valore che abbiamo in Adone:  $D = 3 \times 10^{-6}$  mol/fotone (questo valore potrà essere migliorato con trattamenti particolari come la glow-discharge in Argon). Con gli altri dati di progetto si ha:

$$Q = 3.33 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{l/sec.}$$

Per quanto riguarda la camera da vuoto, considerate le aperture specificate per gli elementi magnetici in Tab. 2, e tenendo conto degli altri elementi di macchina (bump, deflettore, cavità RF, strumentazione, raccordi, pompe, ecc.), la sua superficie interna,  $A_t$ , risulta essere:

$$A_t \simeq 10^6 \text{ cm}^2$$

Assumiamo un degassamento specifico dopo riscaldamento di  $q = 10^{-10}$  Pa . l/s.cm<sup>2</sup>; si ha un degassamento totale  $Q = q A_t = 10^{-10} \cdot 10^6 = 10^{-4}$  Pa . l/sec.

Per una pressione finale limite di  $2 \cdot 10^{-8}$  Pa senza fascio si ottiene una velocità di aspirazione totale delle pompe al titanio:

$$S = Q/p = 5 \cdot 10^3 \text{ l/s.}$$

Come si vede il degassamento dovuto alla luce di sincrotrone, cioè ai fasci, è circa 30 volte maggiore di quello naturale della camera.

Viene quindi prevista, per far fronte al carico dovuto al fascio, l'installazione di pompe distribuite nei magneti curvanti. Al pompaggio distribuito potranno anche essere aggiunti sublimatori al titanio in opportuni punti della macchina.

Il problema di avere il miglior vuoto possibile nella sezione di incrocio con i fasci circolanti è relativamente semplice per la geometria della macchina, dato che le sorgenti di gas sono nelle zone dei magneti e quindi abbastanza lontane dalla sezione e collegate ad essa con un'impedenza elevata. Una opportuna disposizione di pompe tra magneti e sezione permette di realizzare la caduta desiderata.

Tutti i calcoli sono fatti pensando di realizzare la camera da vuoto in acciaio inossidabile. In sede di progetto costruttivo andrà però attentamente valutata l'al-

ternativa di una camera da vuoto in alluminio.

### 5.2. - Impianto di prevuoto.

Per l'innesco delle pompe al titanio prevediamo l'uso di pompe turbomolecolari. Come degassamento specifico medio iniziale assumiamo il valore  $q = 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{l/s} \cdot \text{cm}^2$ .  
Da cui:

$$Q = q A_t = 10^{-6} \cdot 10^6 = 1 \text{ Pa} \cdot \text{l/sec}.$$

Per una pressione alla bocca delle pompe  $p = 10^{-3} \text{ Pa}$  si ha  $S = Q/p = 10^3 \text{ l/s}$  che è la velocità di aspirazione totale delle pompe turbomolecolari. Si prevedono 8 pompe da 200 l/sec. opportunamente distribuite lungo la linea e complete di rotativa.

### 5.3. - Riassunto caratteristiche.

- Camera da vuoto:

materiale: S.S. AISI 304L  
dimensioni: nei magneti curvanti, rettangolare 190 x 60 mm;  
nei quadrupoli, circolare  $\varnothing$  150  
superficie totale  $\sim 10^6 \text{ cm}^2$   
lunghezza totale = 70 m.

- Impianto da vuoto:

8 pompe distribuite nei magneti da 2000 l/sec,  
22 pompe al titanio da 400 l/s,  
8 pompe turbomolecolari da 200 l/s,  
8 pompe rotative con trappola da 15 m<sup>3</sup>/h,  
22 vacuometri a ionizzazione tipo B.A. ( $10^{-1} - 10^{-9} \text{ Pa}$ ),  
8 vacuometri tipo Pirani ( $1000 \div 10^{-1} \text{ Pa}$ ),  
4 spettrometri di massa (con possibilità di essere usati come cercafughe),  
8 gate valves.

- Prestazioni:

pressione con le pompe a turbina	$p = 10^{-3} \text{ Pa}$ ,
pressione con le pompe al titanio	$p = 10^{-5} \text{ Pa}$ ,
pressione con le pompe al titanio	$p = 2 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ dopo degassamento,
pressione media con fasci circolanti	$p = 6 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ senza pompaggio distribuito
pressione media con fasci circolanti	$p = 1 \div 2 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ con " "
pressione nella sezione sperimentale	$p = 1 \div 2 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ con fascio.

### 5.4. - Particolare cura andrà posta nella realizzazione di una camera da vuoto il più possibile priva di brusche discontinuità per minimizzare il fenomeno dell'allungamento anomalo.

6. - Radiofrequenza

Per un'energia  $E = 1.2 \text{ GeV}$  ed un raggio magnetico  $\rho = 2.5 \text{ m}$  l'energia perduta per giro da una particella è:

$$V = 88.5 \frac{E^4}{\rho} \text{ KeV} = 73.4 \text{ KeV}$$

e per una corrente dei fasci  $I_f = 0,3 \text{ A}$  la potenza da rifornire al fascio è:

$$W_f = VI_f = 22 \text{ KW.}$$

Assumendo una tensione massima nella cavità  $V_M = 250 \text{ KV}$  e un'impedenza shunt  $R_s = 1 \text{ M}\Omega$ , la potenza dissipata in cavità è:

$$W_c = \frac{V_M^2}{2R_s} = 31.25 \text{ KW.}$$

Le caratteristiche dell'impianto sono riassunte nella seguente tabella:

- Tabella 3 -

Frequenza .....	50.5 ÷ 52.5 MHz
N° di armonica .....	12
N° di cavità .....	1
Impedenza $R_s$ .....	1 $\text{M}\Omega$
Tensione massima $V_M$ .....	250 KV
Potenza al fascio $W_f$ .....	22 KW
Potenza in cavità $W_c$ .....	31.25 KW
Corrente dei fasci .....	0.3 A

E' stato indicato un campo di frequenze possibili perché si intende usare l'amplificatore di potenza di riserva dell'impianto a 51.4 MHz di Adone, per il quale si presume di poter variare la frequenza di accordo nei limiti suddetti. Uno schema a blocchi dell'impianto è indicato nella figura 8). In esso è previsto un anello di stabilizzazione dell'ampiezza della tensione in cavità e un anello di controreazione sulle oscillazioni di baricentro. Nella figura 9) è riportata schematicamente una sezione della cavità, identica a quella che si intende installare su Adone. E' una cavità in alluminio, interamente sotto vuoto.

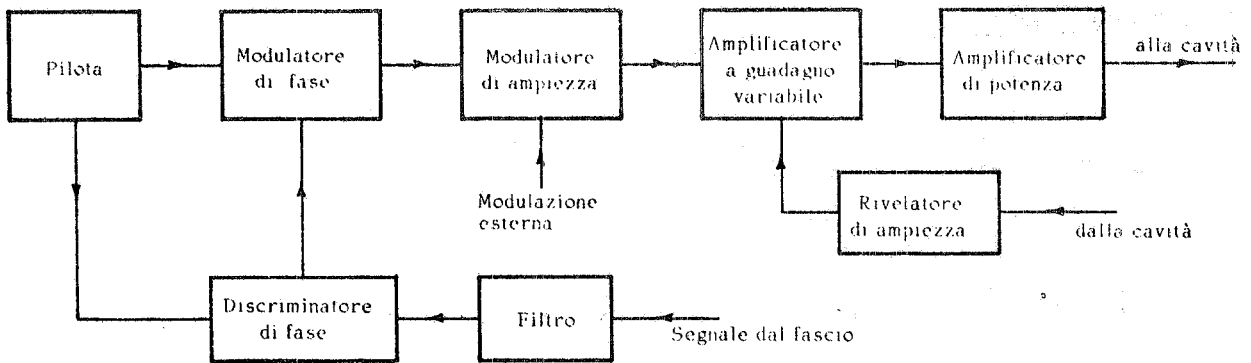


FIG. 8 - Impianto RF. Schema a blocchi.

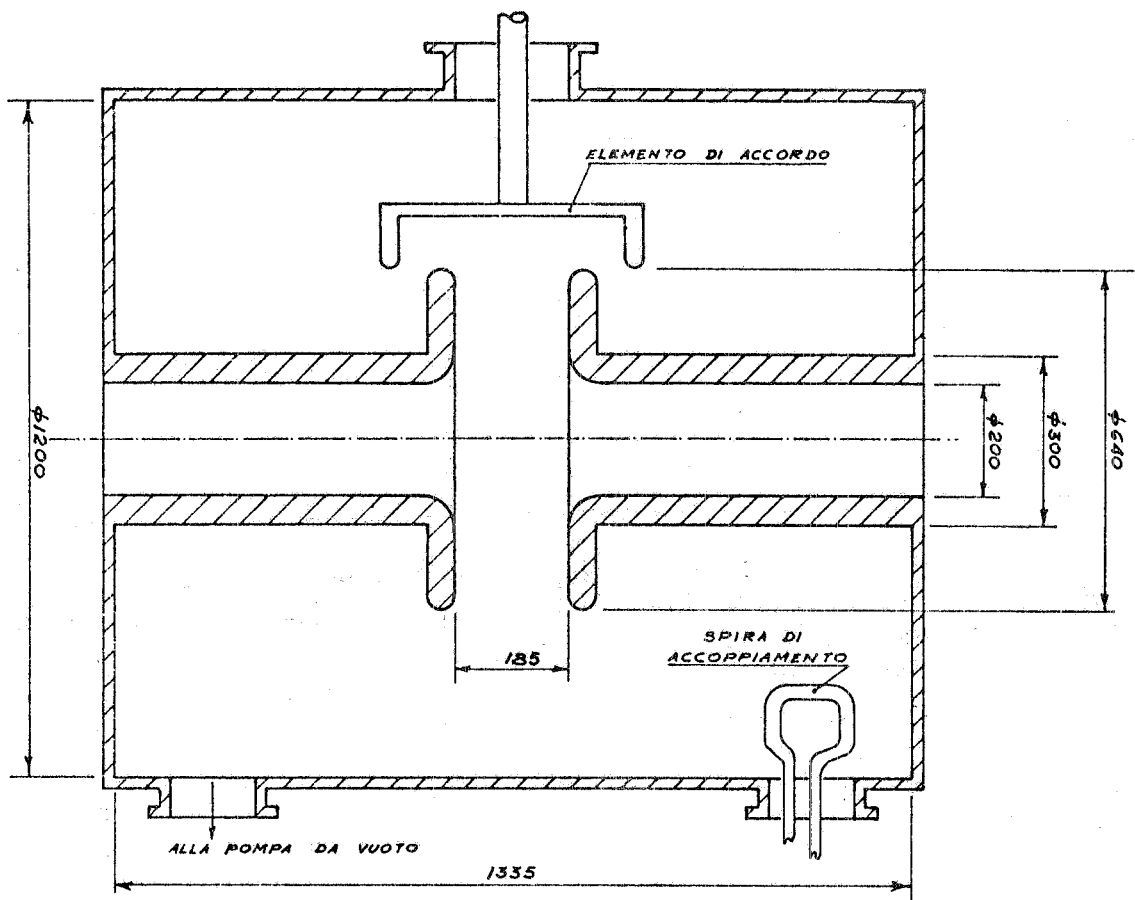


FIG. 9 - Sezione Cavità RF.

## 7. - Iniezione

7.1. - Lo schema di iniezione in ALA comprende:

- 2 perturbatori magnetici rapidi<sup>23)</sup> che creano una distorsione di orbita localizzata in una delle sezioni dritte lunghe non di incrocio. In questo modo l'orbita chiusa nel resto della macchina rimane imperturbata (a meno degli errori).
- 2 deflettori magnetici a setto<sup>23)</sup> (uno per ciascun fascio) che immettono i fasci provenienti dall'iniettore sull'orbita perturbata.

Durante l'iniezione e fino al raggiungimento della configurazione di lavoro i fasci debbono essere mantenuti separati nei punti di incrocio. La separazione si realizza mediante campi elettrici localizzati in prossimità delle sezioni di incrocio stesse.

La disposizione lungo la macchina di perturbatori (SB), deflettori (D), e piastre per la creazione dei campi elettrici (PS) è mostrata in Fig. 1). Le caratteristiche principali dei perturbatori e dei deflettori sono riportate in tabella 4). Il campo massimo richiesto alle piastre separatrici è 10 KV/cm (per una  $\xi$  di  $\pm .002$ ).<sup>24)</sup>

- Tabella 4 -

Elemento	$E_{IN}$ (MeV)	B1 (G.m)	l m	B G	I (KA)	T/2 ( $\mu$ s)	L ( $\mu$ H)	C ( $\mu$ F)	V (KV)
SB	450	220	1.4	150	5	$\sim 10$	6	1.6	18
D	450	1800	1.45	1240	16	$\sim 80$	.45	1000	.5

7.2. - L'iniezione può essere effettuata o direttamente dal LINAC, o usando Adone come booster.

7.2.1. - Iniezione dal LINAC.

L'iniezione di elettroni, data la corrente, l'emittanza e lo spread di energia del fascio fornito dall'acceleratore lineare, non presenta problemi. Le correnti desiderate possono essere accumulate in tempi dell'ordine di una frazione di minuto.

Il fascio di positroni ha un'emittanza a  $\sim 320$  MeV di  $10^{-5}$  m.rad e uno spread di energia di  $\pm .5\%$ .<sup>25)</sup>

Calcolando le aperture necessarie con questi parametri si trova che nella regione non interessata dal "bump" esse sono compatibili con quelle indicate in 3.4.1, ma specialmente in radiale non resta alcun margine di sicurezza. Inoltre l'apertura dei 4 quadrupoli interessati dal "bump" (e quindi anche quella dei loro 4 simme-

trici) dovrebbe essere portata a 200 mm.

Usando per la massima velocità di iniezione i dati di Adone con cavità a 8.57 MHz, opportunamente scalati, si ottiene una velocità di iniezione dell'ordine di 15 mA/m, avendo supposto di avere sulla macchina, nella regione di iniezione libera, una cavità a 8.57 MHz ausiliaria. Poiché con le aperture indicate ci si attende una efficienza di iniezione minore di quella di Adone di un fattore fra 2 e 3, l'iniezione di positroni risulta molto al limite.

#### 7.2.2. - Iniezione da ADONE.

La sequenza delle operazioni è la seguente:

- a) iniezione di tre bunches in ADONE;
- b) estrazione di un bunch alla volta da ADONE;
- c) trasferimento ad ALA ed iniezione in un singolo bunch di ALA.

L'estrazione da ADONE è stata già ampiamente discussa<sup>5)</sup> e comporta l'installazione di un kicker rapido e di un magnete a setto in due sezioni dritte consecutive, ad esempio la 10 e la 11 (l'iniezione di elettroni essendo fatta direttamente dal LINAC).

Le caratteristiche del fascio di ADONE (emittanza  $\sim 2 \times 10^8$  m.rad, spread di energia  $\sim \pm 2 \times 10^{-4}$ ) e la sequenza di iniezione portano ad aperture molto minori di quelle indicate in 3.4.1 (necessarie per i punti di lavoro) che sono quindi largamente sufficienti.

Con la velocità di iniezione in ADONE (con 8.57 MHz) e assumendo di effettuare il trasferimento in ALA all'energia di iniezione di ADONE (cioè senza accelerare) le velocità di iniezione ottenibili sono dell'ordine di 30 mA/m avendo assunto un rendimento di iniezione in ALA eguale a 1.

L'ultima ipotesi è assai ragionevole trattandosi di iniettare su un giro un bunch già compresso.

#### 7.2.4. - E' chiaro che dal punto di vista della sola macchina l'iniezione da ADONE è senz'altro da preferire. Per una scelta definitiva fra i due metodi di iniezione occorrerà però tener conto anche di altri fattori.

In sede di progetto costruttivo sarà necessario procedere ad una comparazione dettagliata delle due soluzioni sotto il profilo dei costi e delle interferenze con le attività di ADONE. In particolare per l'iniezione dal LINAC si richiederà uno studio assai più dettagliato del rendimento di iniezione in relazione alle aperture proposte, considerando anche la possibilità che il LINAC stesso venga dotato di un "compressore" per portare lo spread di energia all'ordine di  $\pm .1\%$ , e/o che ne venga innalzata l'energia massima.

## 8. - Controlli

8.1. - I controlli comprendono i sistemi per:

- a) supervisione delle varie apparecchiature (alimentazioni, vuoto, RF ecc.);
- b) diagnostica e controllo dei fasci;
- c) servizi generali (allarmi, protezioni, comunicazioni ecc.).

L'architettura generale dei sistemi di controllo con l'ausilio di calcolatori è ormai relativamente standard<sup>5),26)</sup> e non è necessaria una discussione dettagliata a questo livello di progetto.

Le caratteristiche dei fasci di ALA sono inoltre estremamente simili a quelle dei fasci di ADONE così che non sarà necessario lo sviluppo di tecniche del tutto nuove.

8.2. - Date le dimensioni dell'anello, il sistema di controllo potrà essere costruito attorno ad un solo calcolatore.<sup>27)</sup>

Le caratteristiche essenziali del sistema dovranno essere:

- a) massima flessibilità dello "hardware", e cioè uso di un sistema di interconnessione standard modulare (IEEE 488-1975 o CAMAC);
- b) massima flessibilità del "software" e quindi uso di una o più unità di memoria di massa accoppiato con l'uso di un linguaggio interpretativo;
- c) facilità di comunicazione con gli operatori.

In Fig.10) è mostrata una configurazione che realizza le funzioni di cui sopra e che riassume le caratteristiche specificate.

Il costo relativamente basso delle memorie read-write e di massa giustifica il loro sovradimensionamento, che d'altra parte garantisce una maggiore flessibilità ed espandibilità del software di controllo e una maggiore velocità di esecuzione dei programmi.

Il sistema operativo dovrà consentire la multiprogrammazione in tempo reale, con evidente accorciamento dei tempi morti di programmazione e debugging.

8.3. - Un buon sistema di diagnostica e controllo dei fasci è essenziale per ottenere le massime prestazioni dalla macchina.

Il sistema dovrà certamente comprendere:

- misura e correzione on-line delle orbite chiuse (24 stazioni di misura - precisione  $\lesssim 1$  mm,  $\geq 12$  avvolgimenti di correzione);
- misura dimensioni fasci con luce di sincrotrone;
- feedback trasversi;
- feedback longitudinali sul modo "di baricentro";
- misura di luminosità via scattering "Bhabha";
- misura accurata di posizione ed intensità lungo i canali di trasporto (20 stazioni).



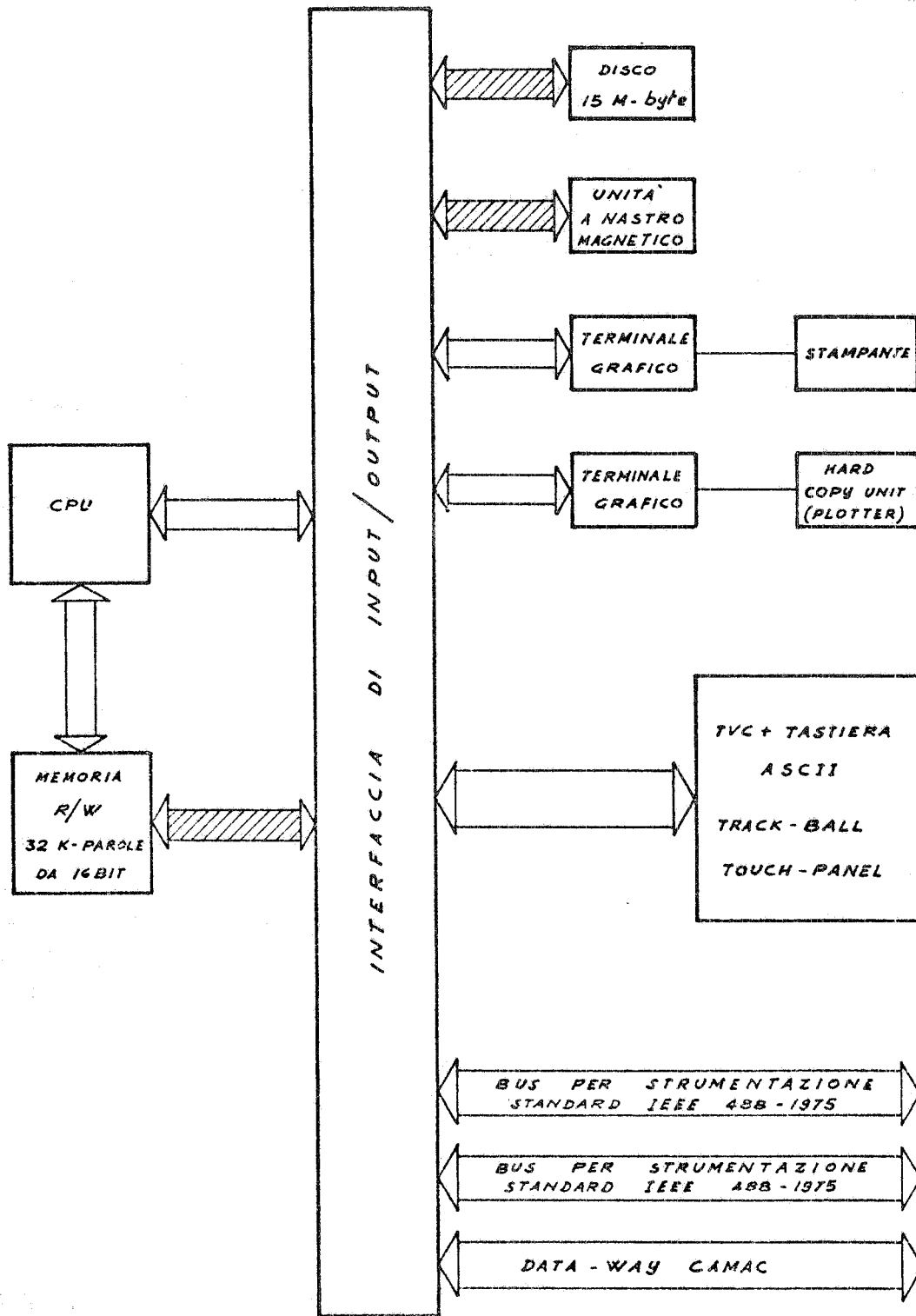


FIG. 10 - Schema a blocchi. Unità centrale di controllo.

9. - Edifici e impianti

Date le dimensioni dell'anello esso può essere facilmente contenuto nella zona di proprietà dei L.N.F. e destinata a futuri sviluppi.

Anche le necessità idriche e di potenza elettrica non rappresentano un serio problema.

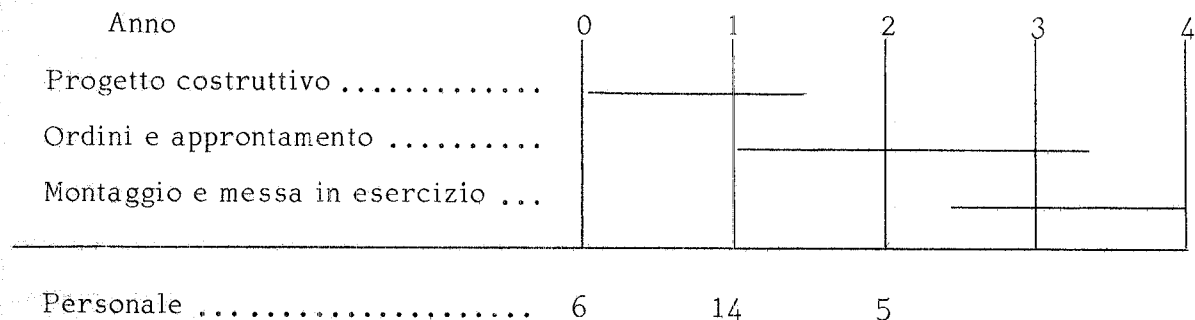
Allo stadio attuale del progetto la disposizione esatta dell'anello e degli edifici necessari non è stata definita. Per una valutazione dei costi ci si è comunque attenuti a criteri di massimo risparmio pensando di utilizzare per tutti gli edifici prefabbricati di tipo industriale.

E' stata in particolare prevista una sala sperimentale di 12x8x11 m con carro ponte da 25 ton. Per l'anello si prevede tentativamente un prefabbricato anulare, con accesso laterale, senza carro ponte e con schermature esterne.

10. - Stima dei costi (in ML - 1977)

- Magnete .....	1.200
- Alimentazioni .....	300
- R.F. ....	200
- Vuoto .....	400
- Iniezione .....	300
- Trasporto .....	400
- Controlli .....	700
- Edifici .....	700
- Impianti.....	400
	<hr/>
	4.600
	<hr/> <hr/>

11. - Tempi e personale



- Tabella riassuntiva dei parametri di ALA -

Caratteristiche del fascio					
Energia (GeV) .....	.5	.62	.78	1	1.2
Luminosità $\times 10^{31}$ (cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	.15	.36	.90	1.17	1.4
{ 1 bunch/fascio .....	.30	.72	.90	-	-
{ 2 bunches/fascio .....	40	75	150	150	150
Corrente totale (mA)	80	150	150	-	-
Perdita di energia di radiazione per giro (KeV) .....	2.2	5.2	13.1	35.4	173.4
Dimensioni r.m.s. al punto di incrocio (mm)	.67	.83	1.04	.92	.84
{ radiale fuori accoppiamento (1 b/fascio) .....	.18	.23	.29	.27	.26
{ verticale in pieno accoppiamento (1 b/fascio) .....	49	67	95	103	117
longitudinale (sola radiazione, V <sub>RF</sub> = 250 kV) (1 b/l)	16	14	12	11	110
Vita media (bremsstrahlung fascio/fascio + bremsstrahlung sul gas) (ore) ....					
Struttura magnetica					
Lunghezza dell'orbita centrale (m) .....				70	
Raggio medio (m) .....				11.14	
Lunghezza della sezione dritta sperimentale (m) .....				3	
Periodicità .....				2	
Raggio di curvatura dei magneti (m) .....				2.5	
Campo magnetico massimo (Tesla) .....				1.6	
Lunghezza quadrupoli (m) .....				.5	
Gradiente massimo (T/m) .....				8	
Peso (Tonn.)					
{ magneti .....				Fe 96	Cu 6.0
{ quadrupoli .....				Fe 15.1	Cu 6.7
Apertura magneti (cm <sup>2</sup> ) .....				7x15	
Raggio di gola dei quadrupoli (cm) .....				7.5	
Caratteristiche del foccheggiamento					
	punto di lavoro		punto di iniezione		
Frequenza di betatrone radiale (Q <sub>r</sub> ) .....	3.2		3.2		
Frequenza di betatrone verticale (Q <sub>z</sub> ) .....	3.2		3.2		
Invariante (M) m .....	.80 ± 2.28		.55		
Invariante all'incrocio (M*) m .....	.81 ± 3.00		.80		
Momentum compaction (α <sub>c</sub> ) .....	.10 ± .25		.036		
Lunghezza d'onda di betatrone radiale all'incrocio (β <sub>r</sub> <sup>*</sup> ) m .....	1		3		
Lunghezza d'onda di betatrone verticale all'incrocio (β <sub>z</sub> <sup>*</sup> ) m .....	.2		1		
Dispersione all'incrocio (ψ <sup>*</sup> ) m .....	-.16 ± -1.21		1.2		
β <sub>r</sub> <sup>max</sup> nella macchina .....	26.9 ± 27.4		17.9		
β <sub>z</sub> <sup>max</sup> nella macchina .....	13.3 ± 15.3		24.5		
ψ <sup>max</sup> nella macchina .....	4.0 ± 5.1		4.3		
Cromatismo radiale (pΔv <sub>r</sub> / (v <sub>r</sub> Δp)) .....	-2.30 ± -2.67		-1.38		
Cromatismo verticale (pΔv <sub>z</sub> / (v <sub>z</sub> Δp)) .....	-1.53 ± -1.91		-1.77		
Sistema di radiofrequenza					
Frequenza MHz .....			51.4		
Numero armonico (h) .....			12		
Numero di cavità .....			1		
Potenza massima al fascio KW .....			22		
Tensione massima in cavità KVolt .....			250		
Impedenza shunt MΩ .....			1		
Sistema di vuoto					
Numero di pompe al titanio da 400 l/sec .....			22		
Numero di pompe turbomolecolari da 200 l/sec .....			8		
Numero di pompe distribuite nei magneti (lunghezza totale 15 m) .....			8		
Pressione media con fasci circolanti (Torr) .....			.75x10 <sup>-9</sup> + 1.5x10 <sup>-9</sup>		
Pressione media con fasci circolanti nella sezione sperimentale (Torr) .....			.75x10 <sup>-10</sup> + 1.5x10 <sup>-10</sup>		
Iniezione					
	dal LINAC		dal booster ADONIS		
Energia di iniezione (MeV) .....	300 + 450		300 + 450		
Emittanza radiale in ingresso (mm x mrad) .....	10		1.5x10 <sup>-2</sup> + 3.5x10 <sup>-2</sup>		
Emittanza verticale in ingresso (mm x mrad) .....	10		3.5x10 <sup>-4</sup> + 8.2x10 <sup>-4</sup>		
Rate di iniezione positroni (mA/minuto) .....	~5		~30		
Rate di iniezione elettroni (mA/minuto) .....	150		-		

Bibliografia

- 1) - Proposta per un anello di accumulazione per elettroni e positroni a luminosità alta (ALA) e per la misura accurata delle proprietà delle risonanze di massa  $1100 \lesssim M_{e^+e^-} \lesssim 2200$  MeV prodotte nella annichilazione elettrone-positrone - LNF 77/3 (Int.).
- 2) - M. Bassetti "Un modo di cambiare l'invariante M" Memorandum Interno Adone T-56 del 13/2/1973.  
M. Bassetti "Variable  $1/\rho$  curvature function storage rings. Dimensions and damping control" Memo Int. Adone T-66 29.4.74.
- 3) - Petra - Updated version of the Petra proposal - DESY - Feb '76.
- 4) - "A proposal for a positron-electron colliding-beam storage ring project (PEP)" SLAC 171, LBL 2688 - Apr '74.
- 5) - "Super Adone design study" Mar '74 - INFN-LNF.
- 6) - A.N. Skrinsky "Electron-positron storage rings at the Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk" Invited talk (review) given at the USSR accelerator conference, Dubna Oct 5-7, '76.
- 7) - F. Amman "Electron-positron storage rings: present situation and future prospects" Proceedings of the 8th International Conference on High energy Accelerators - CERN '71 pag. 63.
- 8) - Spear Storage Ring Group "Spear: status and improvement program" IX International Conference on High energy Accelerators - May 2-7, '74 - Stanford pag. 37.
- 9) - DESY Storage ring group "DORIS: present status and future plans" IX International Conference on High-energy Accelerators - May 2-7, '74 - Stanford pag. 43.
- 10) - The Orsay Storage Ring Group "Status Report on D.C.I." RT - 2/77 - X International Conference on High Energy Accelerators - Serpukhov 11-17 July, 1977.
- 11) - F. Amman "Longitudinal instability due to beam-beam interaction in electron storage rings" LNF 71/82 - 30/11/71.
- 12) - W. Hardt, R.D. Kohaupt "On bunch lengthening and the Particle Distribution in Electron Storage Rings" DESY Internal Report PET - 77/03 - February 1977.
- 13) - M. Preger, S. Tazzari "ALA-5 - Struttura ad M Variabile - Calcolo delle aperture necessarie" - Memo Int. Adone SM-18 (10.1.1978).
- 14) - A. Cattoni, G. Corazza, A. Marra "Risultati delle misure effettuate per l'allineamento del magnete" LNF 67/47 (Int.)
- 15) - A. Cattoni "Considerazioni preliminari sull'allineamento del Super Adone" Memo Int. Adone MM-7 (26.9.73).
- 16) - A. Cattoni "ALA - Struttura magnetica: magnete curvante" Memo Int. Adone MA-35 (12.1.1978).
- 17) - A. Cattoni "ALA - Struttura magnetica: lenti quadrupolari" Memo Int. Adone MA-34 (10.1.1978).

- 18) - C. Pellegrini "On a new instability in electron-positron Storage Rings (the head-tail effect)" Il Nuovo Cimento 64 A pag. 447 (1969).
  - 19) -M. Preger "Campi sestupolari necessari per la correzione del cromatismo in ALA" Memo Int. Adone SM-19 (27.1.1978).
  - 20) -M.H.R. Donald, P.L.Morton, H.Wiedemann "Chromaticity correction in large storage rings" .
  - 21) -M. Bassetti "Perturbative method for chromatic and sextupolar effects. 2nd order solution" - Technische Notiz PET-77/35, DESY Hamburg.
  - 22) -C. Sanelli "ALA: Alimentazioni" Memo Int. Adone MA-36 (27.1.78).
  - 23) -R. Boni, F. Tazzioli "Sistema di iniezione per ALA" Memo Int. Adone D-8 (23.1.78).
  - 24) -M. Preger "Campi elettrici necessari per la separazione dei fasci in ALA" Memo Int. Adone SM-20 (27.1.1978).
  - 25) -F. Amman, R. Andreani "L'acceleratore lineare per elettroni e positroni" LNF 63/46.
  - 26) -M.C. Crowley-Milling "The control system for SPS" CERN Lab. II - CO/74-1.
  - 27) -E. Fiorentino, M. Serio, F. Tazzioli "ALA: Sistema di controllo - discussione preliminare" Memo Int. Adone SC-90 (20.1.1978).
  - 28) -S. Guiducci, G. Martinelli "Lunghezza dei bunches e allungamento anomalo per ALA" Memo Int. Adone T-89 (27.1.1978).
  - 29) -S. Tazzari "Apertura per l'iniezione - ALA" Memo Int. Adone EI-4 (18/1/78).
  - 30) -M.E. Biagini "Cammino dal punto di iniezione al punto di lavoro per ALA" Memo Int. Adone T-90 (27.1.78).
-