

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 54/7
24. 2. 1954.

G. Salvini: SULLA CONVENIENZA DI IMPIEGARE IN UN SINCROTRONE
DUE CAMERE D'ACCELERAZIONE DISTINTE.

SULLA CONVENIENZA DI IMPIEGARE IN UN SINCROTRONE DUE CAMERE
DI ACCELERAZIONE DISTINTE.-

G. Salvini

§ 1.- Il fascio di particelle che si accelera in un sincrotrone ha un diametro che è funzione dell'energia delle particelle accelerate. Infatti la teoria del sincrotrone indica che:

- Le ampiezze delle oscillazioni di betatrone si smorzano secondo una legge di inversa proporzionalità alla radice quadrata del modulo del campo guida \vec{B} (quindi in un elettrosincrotrone con iniezione veloce, alla radice quadrata dell'energia degli elettroni).
- Le ampiezze delle oscillazioni di sincrotrone si smorzano in modo inversamente proporzionale alla radice quadrata di B.
- Le massime oscillazioni sono indotte dagli urti delle particelle accelerate nel gas residuo, e le ampiezze di betatrone indotte da essi sono apprezzabili solo a bassa energia.

D'altra parte ci risulta anche sperimentalmente, in base alle osservazioni raccolte presso numerosi laboratori, che il fascio effettivamente si restringe sul suo asse con l'aumentare dell'energia. Ad esempio nel protosincrotrone di Brookhaven il fascio raggiunge a sufficiente energia un diametro di circa 2.5 cm, e questo diametro non varia sensibilmente anche mentre il fascio si sposta dal centro della camera alla parete interna, verso la targhetta⁽¹⁾, compiendo in tale spostamento circa quattromila giri.

§ 2.- In considerazione di questi argomenti si è iniziato un primo studio di un tipo di sincrotrone a due camere (fig.1), nel quale le particelle, dopo aver raggiunto una

(1) Rev. Sci. Instr.

sufficiente energia in una prima camera A e di elevate dimensioni ma con basso valore del campo B, passano ad una successiva camera B di dimensioni ridotte ma con campo elevato.

- La camera A riceve le particelle (per es. elettroni) dal deflettore, e le accelera sino ad una modesta energia (per es. particelle elettroni, iniettati a 2-3 MeV, vengono accelerati sino a 60 MeV; se il raggio del sincrotrone è per esempio di 3.30 metri, il campo nella camera A varia nel tempo da circa 20 gauss a circa 600 gauss. In figura sono date le dimensioni di questo esempio.

- Allorchè le particelle hanno raggiunto tale energia (per es. appunto 60 MeV, elettroni), esse debbono "scivolare" dalla camera A alla camera B. Questo scivolamento sarà possibile se il campo magnetico nel piano mediano seguirà la legge

$$B = B_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^n$$

sia nella camera A che nella camera B indifferentemente e contemporaneamente. Questo scivolamento può prodursi ad esempio interrompendo la R.F. mentre il campo continua ad aumentare. Quando le particelle (per es. elettroni) sono entro la camera B, una nuova cavità acceleratrice di adatta frequenza manterrà gli elettroni in essa accelerandoli sino al valore massimo del campo (seguido l'esempio entro parentesi: 10.000 gauss, energia finale degli elettroni 1000 MeV). Intanto i poli che determinano il campo A potranno saturare, non essendo più il campo A necessario.

Lo schema qui proposto parte dalla considerazione che veramente dispiace spendere per le grandi quantità di energia di eccitazione e le grandi masse di ferro che occorrono per arrivare al campo magnetico massimo in un sincrotrone adeguato alle dimensioni della camera A, mentre queste abbondanti dimensioni solo occorrono per la prima parte della ac-

celerazione, quando il campo non è ancora elevato (per es. sino a 600 gauss o meno, anzichè 10.000).

§ 3.- Nella disposizione da noi qui proposta la quantità di ferro è molto minore, e la energia di eccitazione (tenendo conto che essa va col quadrato del campo) è, sommando le Camere A e B, ancora molto minore che nel caso di un sincrotrone standard a foccheggiamento debole. Nella tabella I sono date queste grandezze nel nostro caso, in confronto con un sincrotrone che volesse raggiungere il campo massimo (per esempio 10.000 gauss) nella sola camera A, cioè nel caso di un sincrotrone normale. Nella fig.2 le sezioni nei due casi (a parità di raggio) sono messe a confronto. Il caso a due camere è stato schizzato con due possibili soluzioni. E' evidente il vantaggio che potrebbe derivare da questa ancora ipotetica macchina.

§ 4.- Tra le questioni fondamentali che sino da ora si prevedono, elenchiamo le seguenti:

a) La forma del campo magnetico: il campo magnetico deve essere notevolmente verticale e quasi uniforme ($0 < n < 1$) nella camera A e B, almeno durante lo scivolamento dalla camera A alla B.

In teoria questo problema è risolvibile, poichè, se vogliamo che l'induzione sia uguale nella camera A e nella camera B, basterà porre una opportuna "caduta" di amperspire tra le due camere.

Diamo nel seguito uno dei possibili schemi di eccitazione del magnete: le bobine di eccitazione sono indicate nella fig. 1.-

Durante la permanenza nella camera A e lo "scivolamento":

$$\begin{aligned} \text{Corrente-spire in } R &= 9 f(t) && (\text{in unit\`a arbitrarie}) \\ \text{Corrente-spire in } S &= -6 f(t) \\ \text{Corrente-spire in } T &= -3 f(t) \end{aligned}$$

Allorchè il fascio è entrato nella camera B, le correnti spire nelle bobine L ed M portano l'interferro B al valore massimo dell'induzione (per es. 10.000 gauss). La saldatura tra le correnti nelle varie bobine può farsi in diversi tempi; non è detto che le bobine L, M ed R, S, T debbano essere effettivamente diverse ed indipendenti.

Per una prima assicurazione sulla effettiva possibilità di ottenere il campo da noi voluto, sono state fatte alcune misure utilizzando un modello in analogia coniugata che verrà descritto a parte. Sostanzialmente si tratta di un procedimento analogo a quelli che si seguono con la vasca elettrolitica, procedimento realizzato dall'ing. Amman, e che impiega come campo delle correnti un sottile foglio di alluminio. I risultati sono stati migliori di quanto non si prevedesse, in quanto che nelle prove effettuate con poli paralleli ($n = 0$) il campo B è risultato uniforme sia nella camera A e B che nella regione di transizione tra le due camere, entro il 3%.

- b) Accelerazione a Radio Frequenza: pensando a due cavità risonanti del tipo klystron, da piazzare nelle sezioni diritte, non è impossibile aprire in esse un taglio tale che vi possa passare una ciambella della forma non usuale che si deve intendere nel disegno di fig.
- c) Camera per il vuoto (ciambella): questa camera risulta certo di una forma inusitata; essa è stata indicata tratteg-

giata nel disegno di fig.1. I punti P, P', potrebbero servire per sostenere la spinta della pressione atmosferica. Una camera come questa risulta certo molto difficile in ceramica o in vetro, più semplice in metallo, per e sempio in acciaio inossidabile. A questo proposito è da no tare che l'impiego dell'acciaio inossidabile non è affatto escluso.

Infatti gli sfasamenti S dovuti alle correnti parassite sono all'incirca proporzionali alla derivata $d\phi/dt$ del flusso ϕ che attraversa la ciambella, ma il loro effetto perturbativo è invece inversamente proporzionale al valore assoluto di tale flusso:

$$S \doteq 1/\phi \cdot d\phi/dt$$

Poichè nella camera B si entra con un valore di ϕ elevato, l'effetto degli sfasamenti S è probabilmente minore, e quindi l'impiego di acciaio inossidabile diventa possibile almeno nel la camera B.

APPLICAZIONE DEI SUDDETTI CONCETTI AD UN SINCROTRONE A
FOCHEGGIAMENTO FORTE.-

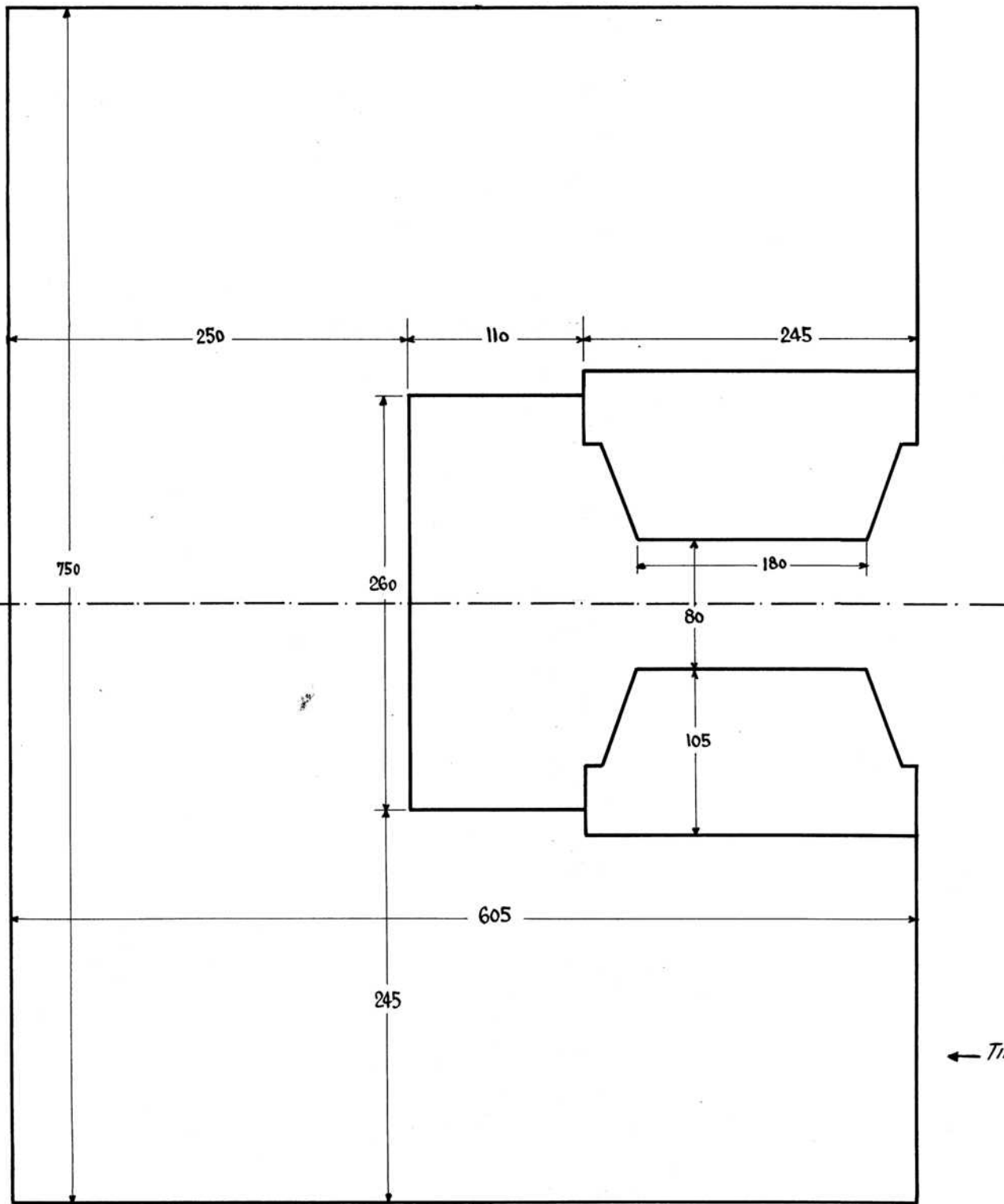
G. Salvini

§ 1.- Le oscillazioni di betatrone sono smorzate secondo $B^{-\frac{1}{2}}$
(B induzione magnetica) anche con il focheggiamento forte (M.S. Livingston, Technical Rep. 60, Laboratory for nuclear science, M.I.T. Cambridge - A.S. Bell; A.E.E.R. Report, Harwell England Jan. 1953), e questo ancora suggerisce l'impiego di un sincrotrone a due camere. E' da notare però che la proposta che segue è da rigettare quando si consideri l'effetto delle inomogeneità presenti nel campo.

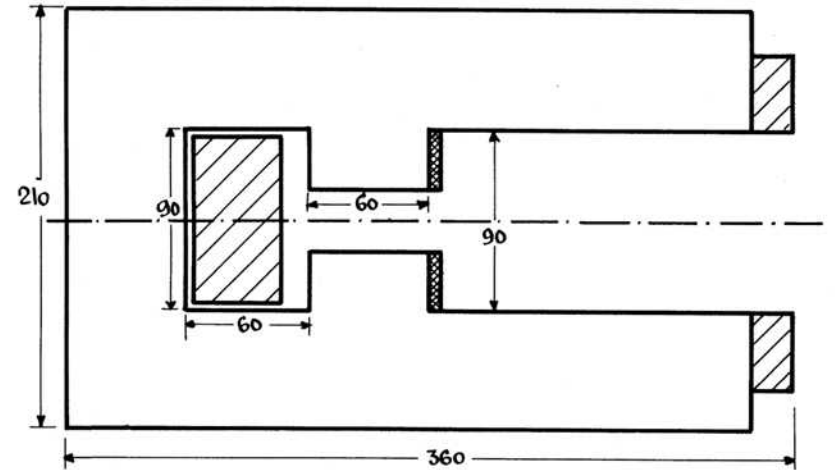
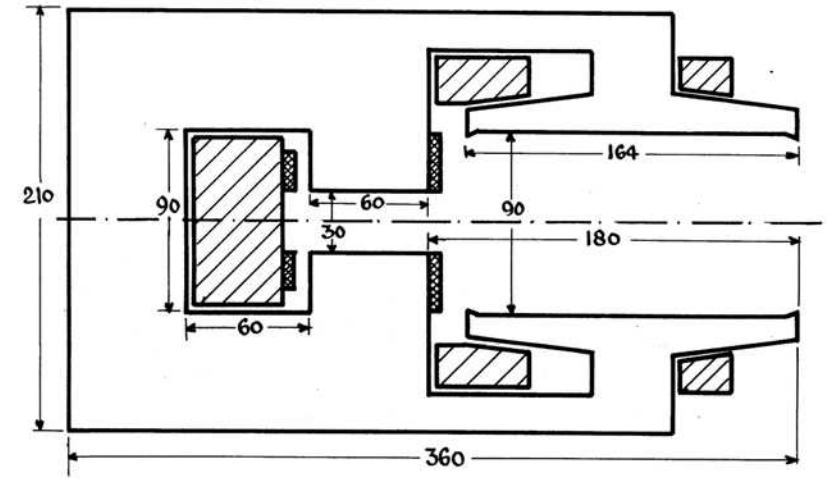
In fig. 3 sono schizzate le possibili forme (in sezione) di due sezioni di un magnete a focalizzazione forte, una focheggiante nel piano verticale (fig.3A), l'altra focheggiante nel piano orizzontale (fig.3B). Mentre la sezione di fig.3A non differisce dalle normali sezioni di una macchina a focheggiamento forte, la sezione 3B presenta una caduta di potenziale magnetico in C (cioè una opportuna distribuzione di correnti spire). In questo modo si vuole ottenere che i campi di induzione nella camera A e nella camera B soddisfino ad ogni istante, e sino a quando il fascio sarà scivolato dalla camera A alla camera B, alla legge preordinata di B per avere il valore voluto dell'indice del campo n (come è noto, $n = -(r/B)(dB/dr)$). Come si vede il criterio è ancora sostanzialmente lo stesso che nel caso del disegno di fig.2 a focheggiamento debole. Le linee H, H' sono prossime a iperboli equilateri, e quindi H' è una "equipotenziale" del campo determinato da H. La linea di correnti C può essere teoricamente qualunque, sinchè sia rispettata l'opportuna relazione tra la distribuzione delle correnti e la forma del contorno C.

- § 2.- La successione schematica delle operazioni per l'utilizzazione del sincrotrone a due camere è la seguente:
- a) Le particelle sono immesse dall'iniettore nella camera A, e raggiungono una certa energia (per es. corrispondente ad una induzione di 400 gauss) restando al centro della camera A.
 - b) A questo punto il valore dell'induzione nelle sezioni indicate in fig. 3A si ferma nel tempo, mentre il campo delle sezioni di fig. 3B continua ad aumentare. Questo produce lo scivolamento del fascio (assecondato dalla opportuna modulazione della R.F.) dalla camera A alla camera B).
 - c) Allorchè il fascio è entrato nella camera B il campo riprende a salire con eguale legge temporale in entrambi gli interferri che ~~determinano~~ ^{delimitano} la camera B nelle sezioni disegnate in fig. 3A ed in fig. 3B, ed il fascio viene accelerato sino alle energie massime. Quella parte del magnete che ~~determina~~ la camera A può nel frattempo saturare senza influenzare sensibilmente il fascio.

I risparmi in materiale ed in energia di eccitazione che si possono realizzare con questo procedimento ~~potrebbero~~ essere, a nostro parere, dello stesso ordine di quelli già notati prima, a proposito del foccheggiamento debole.

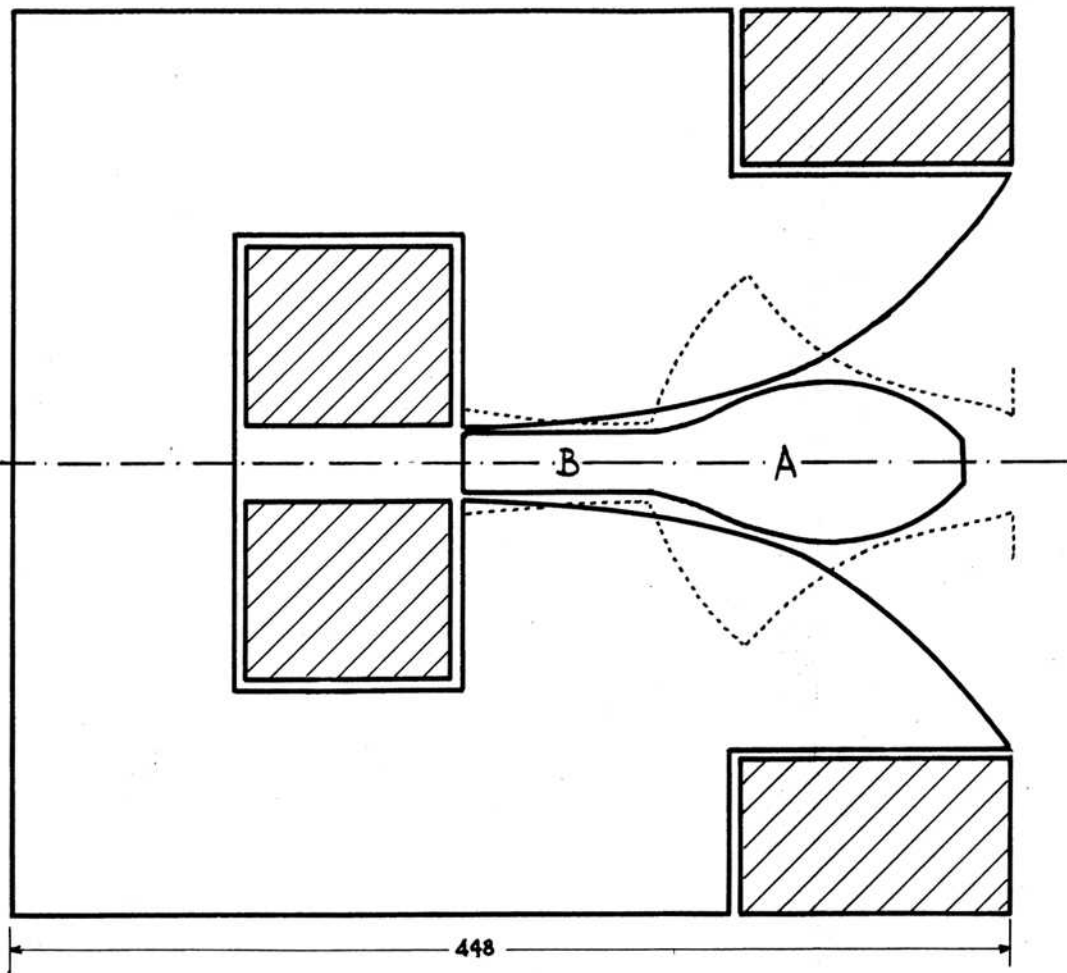


← *TIBURTINO 2*

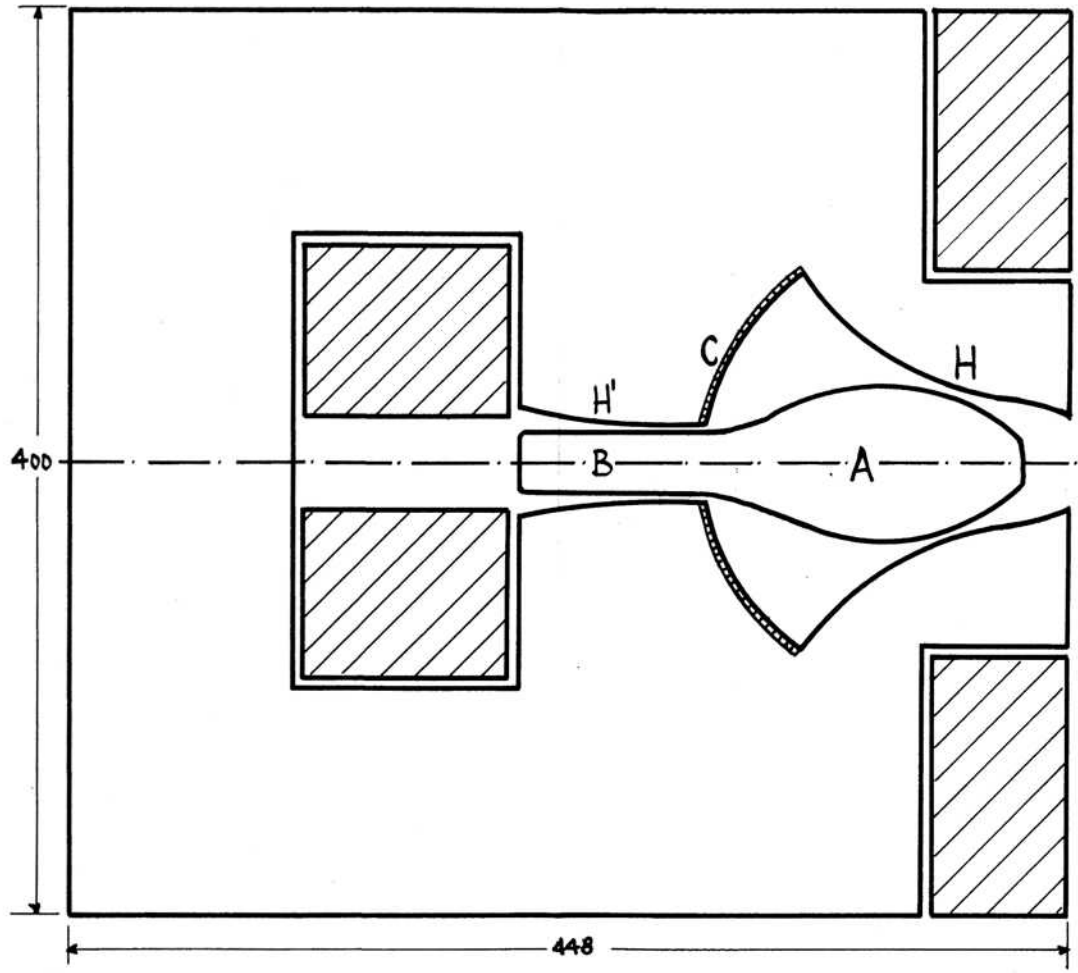


SCHIZZO PER UN SINCROTRONE
A DUE CAMERE -
FOCHEGGIAMENTO DEBOLE

FIG. 2	1.3.1954.	scALA 1:2
--------	-----------	-----------



a)



b)

SCHIZZO PER UN SINCROTRONE
 A DUE CAMERE -
 FOCHEGGIAMENTO FORTE

FIG. 3	1.3.1954.	SCALA 1:2
--------	-----------	-----------