

LNF - 63/73  
28. 11. 1963.

U. Bizzarri, M. Conte, R. Habel e A. Vignati:  
ELEMENTI DI PROGETTO E STATO DI AVANZAMENTO DI UN  
MODELLO DI MICROTRONE (2.5 - 5 MeV).

Nota interna: n. 221

Nota interna: n. 221  
28 Novembre 1963.

U. Bizzarri, M. Conte, R. Habel e A. Vignati:  
ELEMENTI DI PROGETTO E STATO DI AVANZAMENTO DI UN MODELLO  
DI MICROTRONE (2.5 - 5 MeV). -

Come annunciato in un seminario tenuto nei Laboratori di Frascati nel giugno 1963, il gruppo macchina e collaboratori ha iniziato il progetto di un modello di microtrone<sup>(1)</sup> da 2.5 - 5 MeV, da costruire completamente all'interno dei Laboratori con la massima utilizzazione di materiale già esistente.

Lo scopo di questo progetto è quello di specializzare il personale sulla conoscenza di questo tipo di acceleratore, in vista di un più vasto programma futuro riguardante:

- a) la realizzazione di microtroni a più elevata energia (10-30 MeV), competitivi<sup>(2)</sup> con i linac quali iniettori di elettrosincrotroni da qualche GeV;
- b) lo studio e la realizzazione eventuale di microtroni capaci di accelerare positroni, in grado quindi di rivalutare l'attuale elettrosincrotrone come positrosincrotrone.

Comunque il modello di microtrone da 2.5-5 MeV in fase di avanzata costruzione, può sempre essere considerato come una possibile riserva dell'attuale Van de Graaff.

Richiamiamo ora, a brevi linee, le principali caratteristiche del microtrone o ciclotrone per elettroni. Questa macchina acceleratrice impiega una cavità risonante a frequenza fissa per accelerare gli elettroni, e un campo magnetico uniforme e costante per consentire alle particelle che escono dalla cavità, di rientrarvi dopo aver compiuto un'orbita circolare, di lunghezza circa multipla intera della lunghezza d'onda della RF.

Le orbite successive sono di lunghezza crescente a causa dell'incremento di energia che subisce l'elettrone ad ogni transito nella gap della cavità.

2.

Le condizioni necessarie per il funzionamento del microtrone sono le seguenti:

- 1) il tempo impiegato a percorrere la prima orbita deve essere un multiplo intero del periodo  $T_{rf}$  della RF;
- 2) la differenza dei tempi impiegati a percorrere due orbite successive deve essere multipla intera del periodo  $T_{rf}$  della RF;

in formule si ha:

$$(1) \quad t_1 = \frac{2\pi}{c^2 e B} (E_0 + \mathcal{E}) = a T_{rf}$$

$$(1') \quad t_n - t_{n-1} = \frac{2\pi}{c^2 e B} \mathcal{E} = b T_{rf}$$

dove:  $B$  = campo magnetico costante del microtrone;  
 $\mathcal{E}$  = guadagno di energia per transito;  
 $E_0$  = massa a riposo dell'elettrone;  
 $e$  = carica dell'elettrone.

Dalle (1) si ricavano le seguenti espressioni:

$$(2) \quad \mathcal{E} = E_0 \frac{b}{a - b}$$

$$(2') \quad B = \frac{2\pi E_0}{c e \lambda} \frac{1}{a - b}$$

dove  $\lambda = c/\nu = c T_{rf}$ .

Le relazioni (2) fissano i vari modi di funzionamento del microtrone a seconda dei diversi valori che assumono i numeri interi  $a$  e  $b$ . Si noti che deve sempre essere  $a > b$ . Ciò significa che il tempo di percorrenza della prima orbita è sempre maggiore della differenza dei tempi impiegati a percorrere due orbite successive.

Poichè il microtrone è una macchina priva di dispositivi di foccheggiamento spaziale, se si eccettua una debole azione foccheggiante della cavità, diventa molto critico il problema dell'uniformità del campo magnetico.

Un calcolo<sup>(3)</sup> di prima approssimazione può essere fatto relativamente all'elettrone che percorre l'ultima orbita, che essendo la più lunga è anche la più sensibile alle irregolarità del campo; supponiamo che il campo incontrato sia, in prima approssimazione, del tipo:

$$(3) \quad B(\theta) = B_0 + B_1 \sin \theta + B_2 \cos \theta$$

dove  $B_0$  è il valor medio di  $B(\theta)$  lungo l'ultima orbita,  $\theta$  è l'azimut di questa orbita contato a partire dalla cavità (v. fig. 1),  $B_1$  e  $B_2$  sono i coefficienti di prima armonica.

L'armonica in seno corrisponde ad una inclinazione di un polo rispetto all'altro attorno all'asse AB. L'armonica in coseno corrisponde ad un'inclinazione rispetto all'asse A'B'.

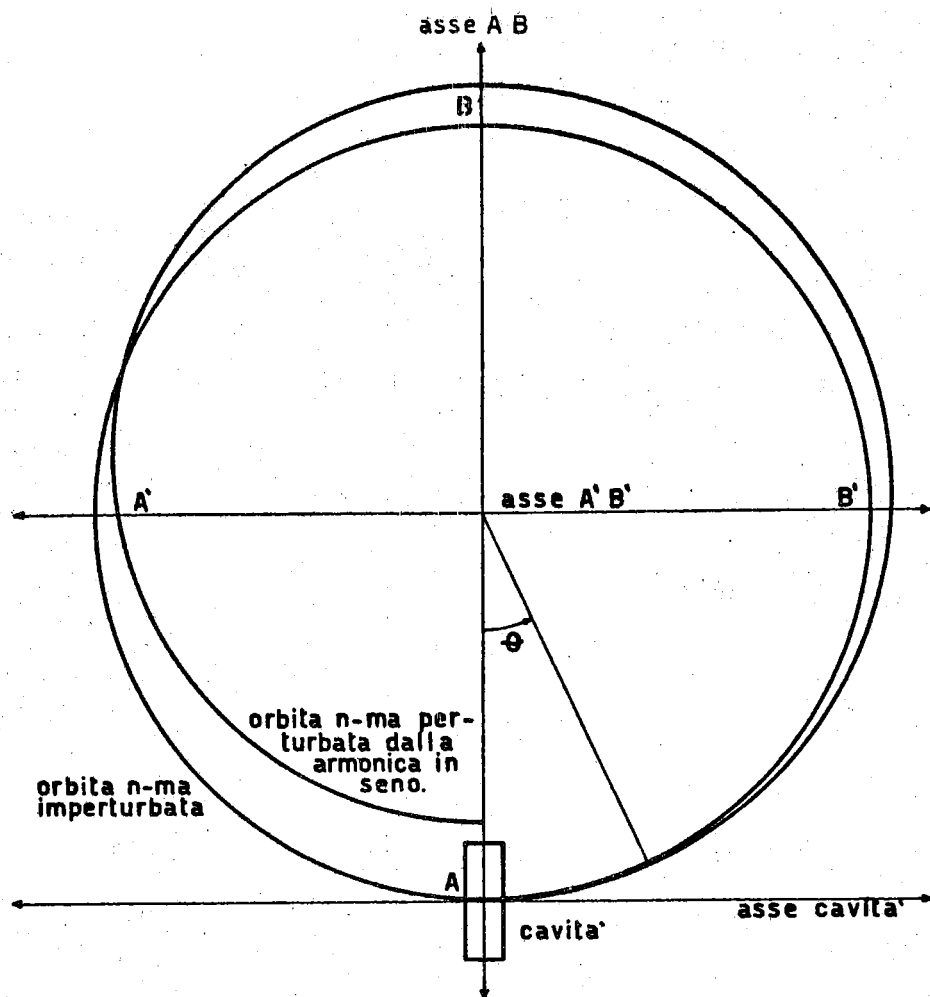


FIG. 1

Vediamo subito a quali condizioni devono soddisfare  $B_0$ ,  $B_1$  e  $B_2$ .

Sia  $\bar{B}$  il campo richiesto per un corretto funzionamento; alla disuniformità  $\bar{B} - B_0$  corrisponde una variazione di fase  $\Delta\psi$  della particella considerata rispetto alla particella sincrona. Assumiamo  $\Delta\psi = \psi_0 =$  angolo di fase stabile. Inoltre, poichè la lunghezza dell' $n$ -ma orbita è  $l_n = (n+1)\lambda$ , con l'approssimazione  $v_n \approx c$  e nel caso  $a = 2$ ,  $b = 1$ ; la RF compie  $(n+1)$  oscillazioni complete, ossia varia di un angolo  $\psi = (n+1)2\pi$ .

Pertanto la massima variazione tollerata per  $B_0$  è la seguente:

$$(4) \quad \frac{\bar{B} - B_0}{B_0} = \frac{\Delta\psi}{\psi} = \frac{\psi_0}{(n+1)2\pi}$$

L'effetto dell'armonica in seno viene studiato sostituendo alla funzione seno una funzione "a greca" di uguale periodo e ampiezza. Con questa semplificazione la traiettoria dell'elettrone viene scomposta in due semicerchi, raccordati nel punto B, di raggi  $R_1 = p/e(B_0 - B_1)$  ed  $R_2 = p/e(B_0 + B_1)$ . Ricordando che deve essere  $2(R_1 - R_2) \leq r$ , dove  $r$  è il raggio del foro della cavità, si ha, dopo facili passaggi e trascurando  $B_1^2$  rispetto a  $B_0^2$ ,

4.

la seguente limitazione per  $B_1$ :

$$(5) \quad B_1 \leq \frac{e r B_0^2}{4 p}$$

affinchè gli elettroni entrino nella cavità.

L'armonica in coseno comporta una deformazione dell'orbita nella direzione dell'asse AB, ma non è molto critica per l'ingresso degli elettroni nella cavità.

Nei primi microtroni<sup>(4)</sup> gli elettroni accelerati erano quelli emessi per effetto di campo dalle pareti della cavità. Il numero di elettroni emessi può essere calcolato<sup>(5)</sup> dalla teoria dell'emissione a freddo, in fig. 2 compare l'andamento di  $I$  in funzione di  $\omega_{rf}$ . La regione tratteggiata indica quel-

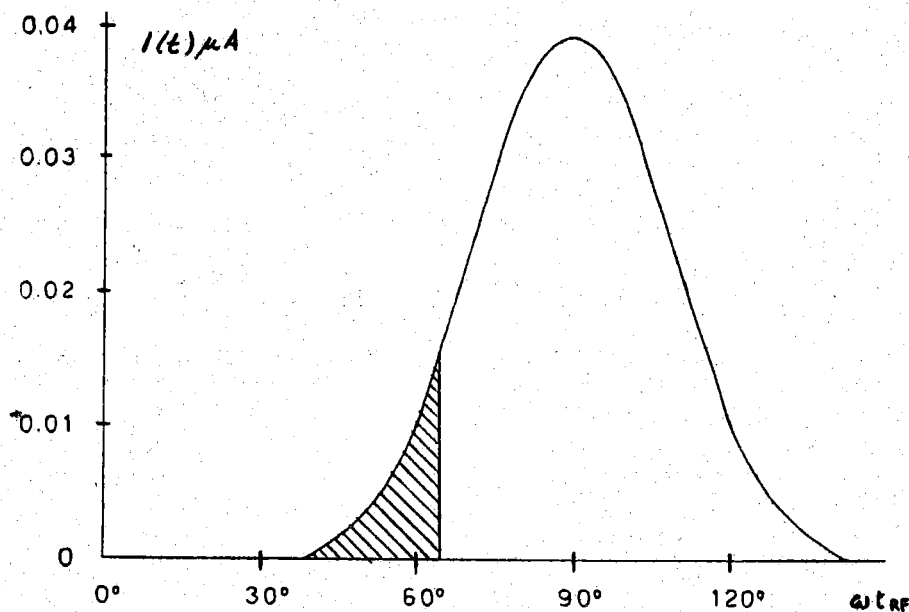


FIG. 2

la parte di elettroni che esce dalla cavità in fase stabile e che quindi viene accelerata.

Si può facilmente verificare che solo il 5-10% degli elettroni si trova in fase stabile. Non solo, ma tutti gli elettroni emessi non sono ovviamente allineati sull'asse della cavità, e pertanto ci sarà pure un rendimento di cattura inferiore ad uno dovuto a questa causa.

Tali circostanze hanno reso impossibile, fino a qualche tempo fa, la realizzazione di microtroni ad intensità media superiore a pochi  $\mu A$ .

E' nostra intenzione, orientandoci sui lavori degli svedesi e dei russi, di iniettare con una sorgente termoionica opportunamente disposta all'interno del microtrone.

Infatti questo sistema ha permesso di realizzare a Lund<sup>(6)</sup> un microtrone da 6 MeV 15 mA pulsati e a Mosca<sup>(7)</sup> un microtrone da 6-13 MeV 20-5 mA.

## STATO DI AVANZAMENTO

Prima di entrare nei dettagli delle parti del modello di microtrone già pronte, precisiamo quali saranno le sue presumibili caratteristiche di funzionamento.

Per ragioni prudenziali abbiamo preferito orientarci, per quel che riguarda l'alimentazione della cavità, su magnetron di bassa potenza e basso costo. Pertanto, fino al momento delle prove preliminari, non siamo in grado di stabilire quali dei due modi di funzionamento saranno scelti:

$$(6) \quad a = 3 \quad b = 1; \quad \mathcal{E} = 255 \text{ MeV}; \quad E_{\max} = 2.5 \text{ MeV}$$

$$(6') \quad a = 2 \quad b = 1; \quad \mathcal{E} = 510 \text{ MeV}; \quad E_{\max} = 5 \text{ MeV}$$

Poichè il magnetron (vedere più avanti) ha una frequenza di funzionamento pari a 2860 MHz, i due valori del campo magnetico corrispondenti alle (6) saranno:

$$(7) \quad B = 1020 \text{ gs}$$

$$(7') \quad B = 510 \text{ gs}$$

## Magnete.

Il magnete è stato ottenuto adattando ad un C del sincrotrone due espansioni polari piane (v. fig. 3).

L'andamento del campo in funzione del raggio del magnete è riportato in fig. 4. Le misure sono state eseguite con un flussometro Dicke, per

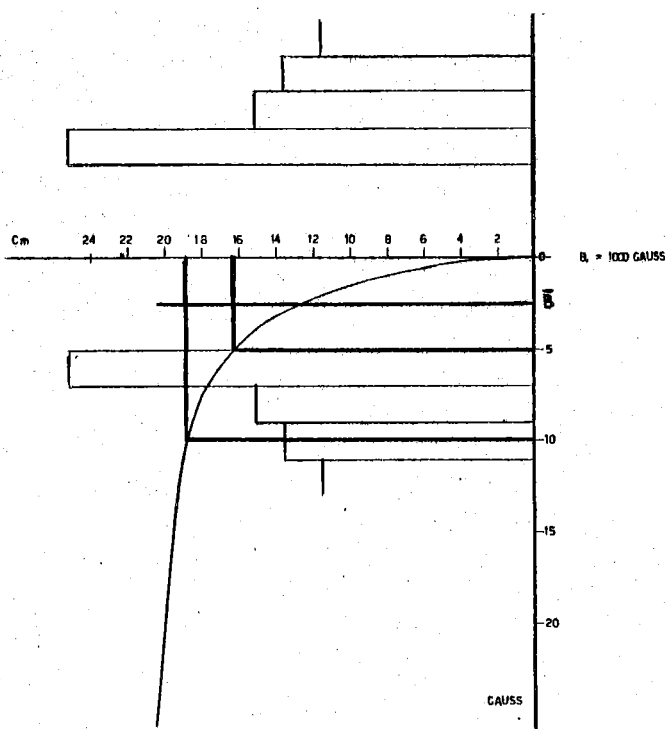


FIG. 4



un valore del campo al centro del magnete pari a 1000 gs.

Per questo valore si ha dalle (4) e (5), e tenuto conto che (per  $a=2$ ,  $b=1$ ) la fase stabile<sup>(8)</sup> è dell'ordine di  $20^\circ$ , che  $n=9$  ed  $r=0.5$  cm, si ha:

$$(8) \quad \frac{\Delta B_0}{B_0} = \pm 0.28 \%$$

$$(8') \quad \frac{B_1}{B_0} = 1 \%$$

Dalla fig. 4 appare evidente come la (8) sia soddisfatta entro un raggio di oltre 16 cm, assumendo come valore teorico  $\bar{B}$  la media del valore di  $B$  al centro del magnete e sul raggio di oltre 16 cm; la (8') è soddisfatta entro un raggio di 18 cm.

#### Camera da vuoto

La soluzione del problema della camera da vuoto di un microtrone non presenta particolari difficoltà, in quanto si lavora a campo costante e quindi sono permesse costruzioni interamente in acciaio inossidabile. Il vuoto richiesto è dell'ordine di  $10^{-6}$  mmHg, essenzialmente per permettere il funzionamento della sorgente.

In fig. 5 è riportata una visione d'insieme della camera da vuoto, che consiste essenzialmente in una parete cilindrica chiusa tra i due poli del magnete.

Nella medesima figura compaiono anche le orbite presumibili degli elettroni, a partire dalla sorgente termoionica fino al canale di estrazione.

#### Radiofrequenza

E' stato costruito un prototipo della cavità a radiofrequenza per l'accelerazione degli elettroni; esso è del tipo cilindrico ed oscilla nel modo  $TM_{010}$ , onde ottenere un campo elettrico diretto lungo l'asse della cavità.

Il raggio interno della cavità è di 40 mm e la sua altezza è di 18 mm; le sue pareti portano due fori centrali di 5 mm di raggio per permettere l'attraversamento degli elettroni; una fenditura radiale per alloggiare il catodo è praticata ad una distanza di 18 mm dall'asse.

Una delle due pareti di rame del prototipo della cavità è costituita da una sottile lamella deformabile per ottenere il "tuning" della cavità stessa, mediante pressione esercitata da una vite micrometrica.

Un magnetron tipo 2J31 da 240 kW di potenza impulsiva e di frequenza 2860 MHz, fornisce l'energia per alimentare la cavità, tramite una guida d'onda ed un foro di accoppiamento tra cavità e guida d'onda stessa.

Il magnetron è comandato con un impulso di ampiezza  $12 \pm 20$  kV e durata  $0.5 \mu$ sec, fornito da un impulsatore a linea e spark-gap, ed è im-



8.

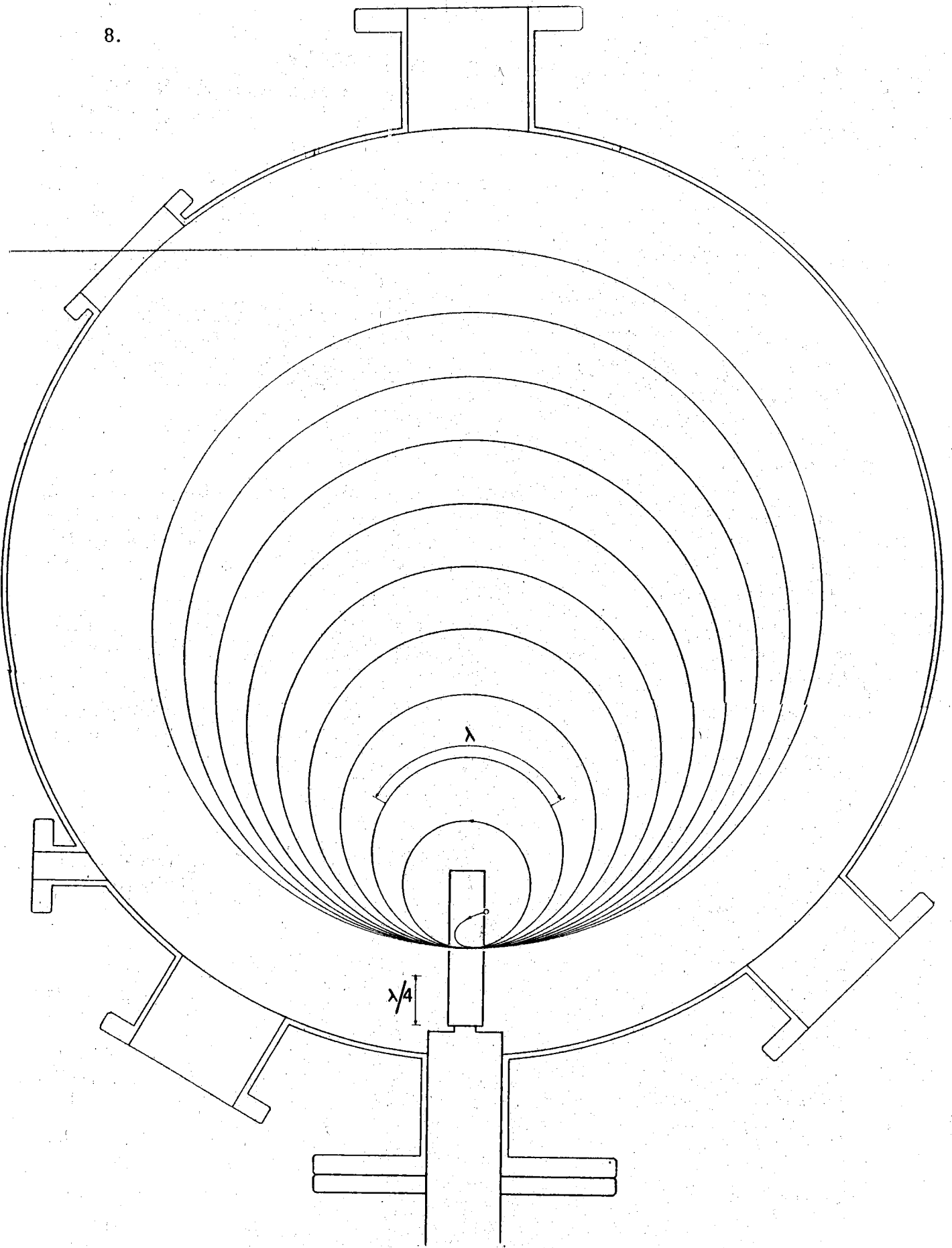
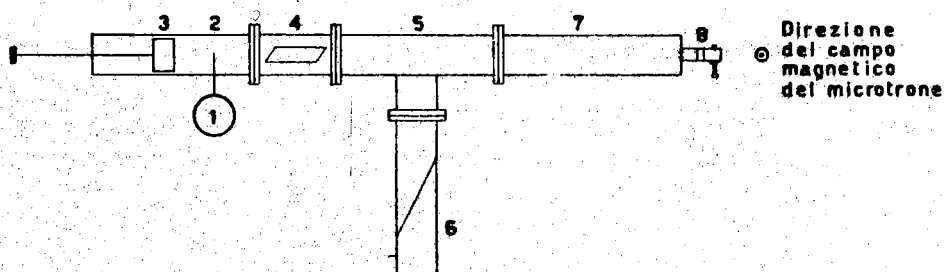


FIG. 5

merso in un campo magnetico variabile a piacere tra 1000 e 2000 gs, onde permettere il controllo della potenza.

In fig. 6 compare una visione d'insieme dell'apparato RF. Sono in corso le misure a bassa potenza relative a tale prototipo della cavità.



1- Magnetron 2J31

potenza impulsiva	240	KW
frequenza	2820 → 2860	Mhz
corrente anodica max	30	A
tensione anodica max	20	KV
max durata impulso	1,1	μsec.
max duty cycle	0,001	

2- Adattatore guida-magnetron

3- Pistone di adattamento

4- Phase shifter

5- T

6- Load

7- Raccordo cavita'

8- Cavita'

FIG. 6

### Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare il prof. I. F. Quercia per i suoi continui consigli e incoraggiamenti, e l'ing. M. Puglisi per i suoi suggerimenti.

## Bibliografia

- (1) - V. I. Veksler, "A new method for acceleration of relativistic particles", Dokl. Akad. Nauk. SSSR 43, 329 (1944).
- (2) - R. R. Wilson, "Handbuch der Physik", vol. XLIV, p. 176.
- (3) - G. R. Davies, R. E. Jennings, F. Porrecca and R. E. Rand, "Magnet design of 29 MeV microtron", Nuovo Cimento 17, 202 (1960).
- (4) - A. Carrelli and F. Porrecca, "Information on a 2.5 MeV microtron", Nuovo Cimento 6, 721 (1957).
- (5) - E. Kisdi-Koszò and L. Turi: "Phase- and vertical stability of microtrons", Nuclear Instr. and Meth. 9, 137 (1960).
- (6) - O. Wernholm, comunicazione privata.
- (7) - S. P. Kapitza, V. P. Bykov and V. N. Melekhin, "An efficient high current microtron", Soviet Phys. - JEPT 14, 266 (1962).
- (8) - C. Henderson, F. F. Heymann and R. E. Jennings, "Phase stability of the microtron", Proc. Phys. Soc. B66, 41 (1953).