

COMITATO NAZIONALE PER L'ENERGIA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF - 67/46
12 Luglio 1967

U. Bizzarri e A. Vignati: IL MICROTRONE DI FRASCATI. -

(Nota interna: n. 370)

Nota interna: n. 370
12 Luglio 1967

U. Bizzarri e A. Vignati: IL MICROTRONE DI FRASCATI.

Un microtrone da $4 \div 5$ MeV ad alta intensità è in funzione a Frascati già dal febbraio 1966. L'alta intensità è stata ottenuta iniettando gli elettroni da accelerare con un cannoncino elettronico capace di fornire un fascio molto intenso (1 A) preaccelerato con una tensione pulsata di $50 \div 60$ KV.

La macchina produce impulsi di elettroni alla energia massima, di durata tra 1 e $2 \mu\text{s}$, con frequenza di ripetizione degli impulsi da 20 s^{-1} a 200 s^{-1} . La stabilità della macchina, definita come riproducibilità della forma (intensità e durata) dell'impulso di corrente di elettroni, è buona, nel senso che solo saltuariamente per effetto di scari che nella cavità acceleratrice, uno degli impulsi si presenta anomalo. Dopo un adeguato periodo di "condizionamento" che può andare dai 30 ai 60 minuti, i fenomeni di instabilità scompaiono quasi del tutto.

Notevoli difficoltà tecnologiche sono state superate in parte, ed in parte sono ancora oggetto di studio, in modo da poter realizzare una macchina con caratteristiche spinte per quel che riguarda l'intensità del fascio, la stabilità e la semplicità di esercizio.

2.

Le caratteristiche della macchina sono le seguenti:

- Magnete - Diametro dei poli circa 50 cm, con 5 mm di tip.
Altezza gap 10 cm, induzione nel traferro $0,11 \text{ W/m}^2$.
Entro il diametro utile (30 cm), nel piano mediano gli scarti di uniformità del campo magnetico sono contenuti entro il $\pm 1\%$. Le misure sono state eseguite con flussuometro di Dicke.
- Vuoto - La camera a vuoto è in acciaio inox ed i poli fanno parte integrante della camera. E' evacuata con pompa a diffusione e trappola ad aria liquida. Il vuoto raggiunto è $0,8 \div 1 \times 10^{-6}$ Tor.
- Cavità risonante (piano conica) - E' ricavata al tornio da un blocco di rame speciale OFHC (oxygen free high conductivity) e saldata nelle varie parti con saldatura in forno ad idrogeno. Il cannoncino elettronico appoggia alla parete piatta della cavità, ed è un pò incassato rispetto ad essa.

Caratteristiche del fascio accelerato:

Energia max	5 MeV
Corrente impulsiva	30 mA
Durata dell'impulso	2 μ s
Frequenza di ripetizione	20 Hz (può lavorare a 200 Hz)
Frequenza del risuonatore	2800 MHz
Durata del catodo	oltre 300 ore
Modo di funzionamento	a = 2 b = 1
(con <u>a</u> numero di armonica della 1 ^a orbita e <u>b</u> incremento del numero di armonica tra due orbite successive)	
Tensione al risuonatore	650 KV
Numero di orbite massimo	9
Guadagno di energia per transito nel risuonatore	560 KeV
Stabilità della macchina	buona (vedi testo)
Dimensioni del fascio (sull'ultima orbita)	8 mm di diametro
Emittanza	orizz. = 4 , vert. $\approx 0,9 \text{ cm} \times \text{mrad}$
Rendimento di estrazione	90 \div 95%

Descrizione di alcune caratteristiche costruttive della macchina:

- a) Cavità - E' essenziale costruire la cavità in rame OFHC per prevenire le scariche nell'interno, che dipendono molto dal materiale con cui è costruita la cavità. La cavità ha la forma piano conica indicata nella figura 1. Tale forma consente di ottenere un elevato fattore di merito (~ 8000) unitamente ad una gap molto stretta ($\sim 8 \text{ mm}$).

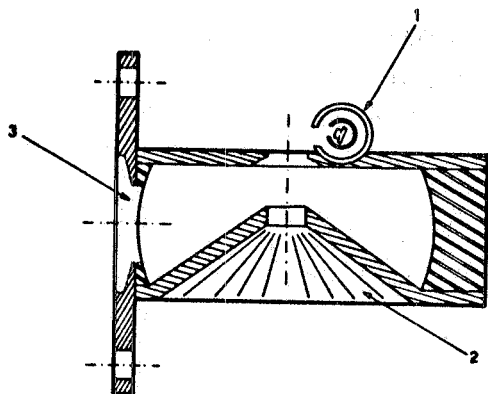


FIG. 1 - CAVITA' RISONANTE

- 1) - Cannoncino elettronico
- 2) - Cavità risonante
- 3) - Foro di accoppiamento

b) Finestra - Tra guida d'onda e cavità è posta una finestra di vetro a tenuta di vuoto. La finestra è capace di trasmettere potenza a microonde con un rapporto di onda stazionaria (SWR) pari a 1,02.

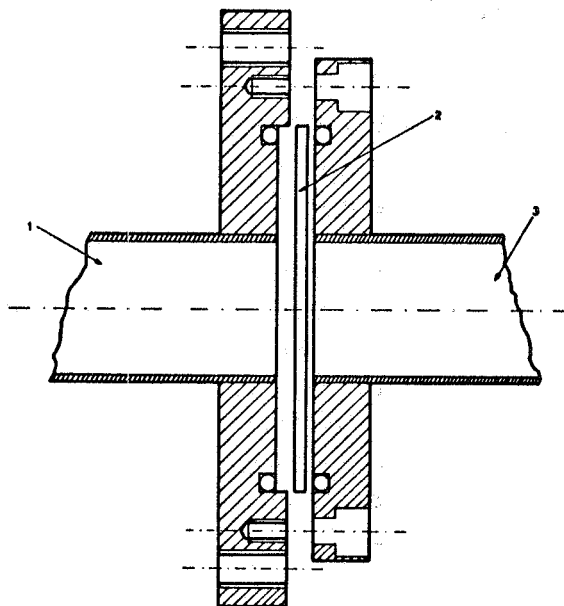


FIG. 2 - FINESTRA A TENUTA DI VUOTO

- 1) - Guida d'onda lato vuoto
- 2) - Vetro
- 3) - Guida d'onda lato pressione

c) Radio Frequenza - Il sistema a RF si compone di un magnetron, di un trasformatore guida-coassiale, che serve a realizzare l'accoppiamento con il magnetron e di un isolatore a ferrite. La guida è pressurizzata con 2 atm. di azoto. Il magnetron è del tipo RK 5586 alla frequenza di 2800 MHz, eroga una potenza impulsiva di $600 \div 800$ KW per $2 \mu s$, lavora ad una frequenza di ripetizione massima di 200 Hz. La corrente finale del microtrone è limitata essenzialmente dalla potenza del magnetron.

d) Cannoncino elettronico - E' di gran lunga la parte più delicata della macchina. I primi risultati di un certo interesse sono stati raggiunti appunto con l'introduzione del cannoncino. Esso deve essere di dimensioni molto ridotte (in tutto 12 mm di

4.

diametro) ed il catodo vero e proprio deve avere un diametro non più grande di $2 \pm 2,5$ mm. Deve inoltre poter fornire correnti impulsive molto elevate (1 A). Il cannoncino è stato realizzato con un anodo cilindrico di acciaio inossidabile, che elettricamente sta a massa. Coassiale con esso vi è un'asticciola di molibdeno cilindrica che contiene il catodo ed il riscaldatore (vedi disegno)(3).

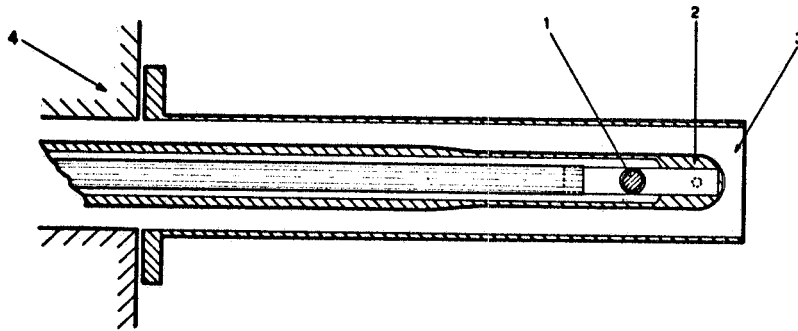


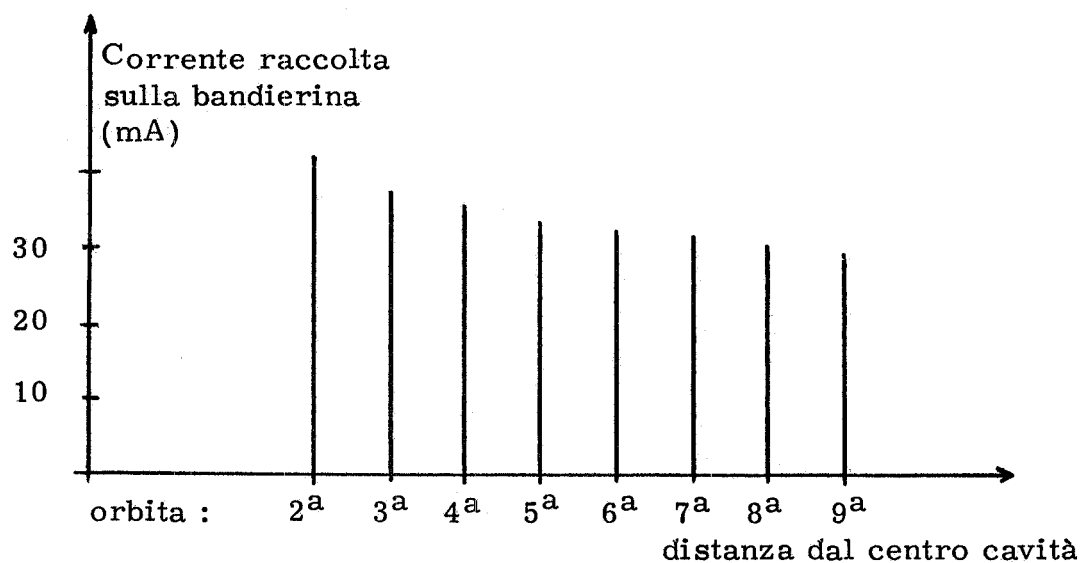
FIG. 3 - CANNONCINO ELETTRONICO

- 1) - Pasticca di LaB_6
- 2) - Elettrodo in molibdeno
- 3) - Anodo in acciaio inossidabile
- 4) - Polo inferiore del microtrone

e) Catodo - Il catodo, che inizialmente era costituito da una spirale di tantalio, e con il quale si erano ottenuti risultati incoraggianti (4 mA a 4 MeV), è ora costituito da una pasticca di La B_6 sinterizzata su di una striscia sottile di tantalio. La preparazione della pasticca di esaboruro di lantanio viene fatta pressando la polvere in uno scodellino di tantalio saldato sulla striscetta, e poi scaldando sotto vuoto nella camera del microtrone stesso; in questo modo si ottiene contemporaneamente la sinterizzazione e l'attivazione dell'esaboruro. L'esaboruro di lantanio consente densità di emissione molto elevate ($500 \pm 800 \text{ mA/mm}^2$ a 1600°C). La corrente del fascio di elettroni a 5 MeV raccolta su un elettrodo di piombo è di 30 mA, ed è limitata non dalla emissione del catodo, come lo era quando si usava il catodo di tantalio, ma dalla potenza del magnetron.

La distribuzione della corrente misurata nelle varie successive orbite è illustrata nella figura seguente.

L'efficienza di cattura della corrente iniettata è di circa il 4%.



Estrazione del fascio di elettroni - L'estrazione del fascio avviene schermato il campo magnetico in corrispondenza dell'ultima orbita con un tubo di ferro. La perturbazione introdotta da questo dispositivo viene compensata con una correzione statica ottenuta mediante due barre di ferro poste in opportuna posizione⁽⁸⁾.

Il dispositivo realizzato permette una efficienza di estrazione del $90 \div 95\%$ ed è illustrato nella Fig. 4.

PROGRAMMA PER IL FUTURO. -

a) Stato di avanzamento. -

I risultati incoraggianti ottenuti con il Microtrone da 5 MeV, ci hanno indotto a studiare una macchina da 10 MeV le cui caratteristiche di massima sono qui appresso riportate:

Energia max	10 MeV
Corrente impulsiva	50 mA
Diametro del magnete	1 m
Numero di orbite	18.

Le altre caratteristiche rimangono del tutto simili a quelle del microtrone da 5 MeV.

La macchina da 10 MeV è in fase avanzata di realizzazione: E' stata costruita la camera da vuoto. Il magnete è stato ordinato e verrà consegnato entro il mese di Marzo.

Si sono intanto messi a punto il modulatore per il magnetron e l'impulsatore della sorgente. Il magnetron da 800 KW verrà sostituito con uno di

6.

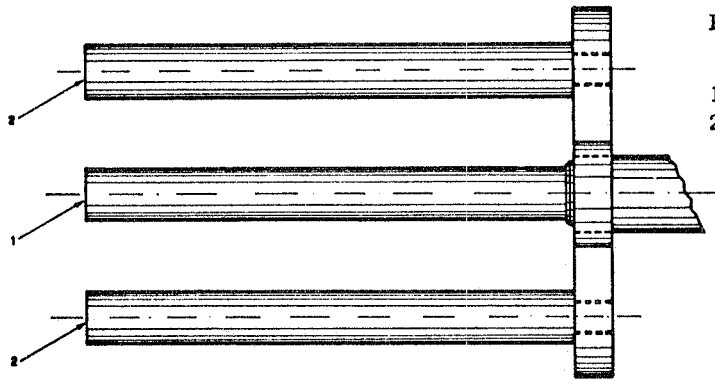


FIG. 4 - DISPOSITIVO DI ESTRAZIONE DEL FASCIO.

- 1) - Scudo magnetico (tubo in ferro)
- 2) - Cilindri in ferro per compensare le perturbazioni introdotte dal tubo centrale.

potenza maggiore (1100 KW, il tipo MCV 1055/E della CSF) che è stato ordinato e verrà consegnato in breve. Si stanno costruendo in laboratorio le varie parti meccaniche (bandierina, cavità, flange, dispositivo di estrazione, ecc.) e si stanno preparando le connessioni e le pompe da vuoto.

b) Quadro dei tempi. -

Entro marzo inizieranno le misure magnetiche e l'assiemaggio delle varie parti che sarà completato entro il mese di aprile. Si prevede un mese o due per la messa a punto della macchina, che dovrebbe funzionare entro giugno-luglio.

Per quanto riguarda l'iniezione nel sincrotrone si prevede un periodo di circa 4 mesi (maggio-settembre) di studio seguiti da un periodo di quattro mesi (settembre-dicembre) dedicati alla realizzazione del deflettore e dei dispositivi di trasporto del fascio. Per l'installazione sul sincrotrone si prevedono tre mesi di fermata macchina (gennaio-marzo).

POSSIBILITA' D'USO DEL MICROTRONE. -

a) Come iniettore nel sincrotrone. -

L'uso del microtrone come iniettore è stato auspicato da diversi autori (citati più avanti). In pratica è stato realizzato da O. Wernholm⁽³⁾ nel sincrotrone svedese di Lund con ottimi risultati.

Da altri sono state fatte misure sulla emittanza (V. Sells, H. Frochich, E. Brannen⁽⁹⁾) dove su un microtrone da 6 MeV è stato trovato uno spread di energia di 34 KeV, mentre Handersonn et al.⁽¹⁰⁾ hanno trovato + 70 KeV a 4,5 MeV. S. P. Kapitza riporta invece + 50 KeV a 6,8 MeV⁽⁴⁾.

L'emittanza risultava a Wernholm 3,7 mRad x cm in vertica-

le e 16 mRadxcm nella direzione orizzontale⁽³⁾. A Kapitza risultava $1,5 \cdot 10^{-3}$ e $1,5 \cdot 10^{-2}$ Radxcm per i verticali e orizzontali rispettivamente.

Da questo risulta che il microtrone dà un fascio di alta qualità, che pur essendo di intensità inferiore a quello di un Linac della stessa energia, tuttavia compete largamente con esso per le qualità del fascio.

b) Per la produzione di un fascio di positroni. -

Diverse proposte sono state fatte per convertire il microtrone in una macchina per positroni. Allo stato attuale non ci risulta che sia in funzione nessuna di queste macchine. Si ha notizia che alcune prove sono state eseguite da K. A. Belovintsev e P. A. Cerenkov presso lo Istituto di Fisica P. N. Lebedev dell'A. S. URSS, con risultati positivi.

Le correnti di positroni accelerati risultano inferiori a quelle d'elettroni per un fattore $10^{-4} \div 10^{-5}$.

c) Applicazioni radiologiche in medicina. -

L'Istituto di Radiologia e l'Istituto di Fisica di Catania hanno mostrato interesse all'utilizzazione di un fascio di elettroni da 10 MeV per la terapia radiologica dei tumori sottocutanei. Il microtrone sembra infatti rispondere bene alle esigenze cliniche per quanto riguarda l'intensità del fascio, mentre non si hanno problemi di emittanza. La facilità di estrazione del fascio di elettroni consente un montaggio rotante "isocentrico" piuttosto semplice e leggero. Una seconda copia del microtrone da 10 MeV è in allestimento a cura dell'Istituto di Fisica dell'Università di Catania.

d) Applicazioni industriali. -

Industrialmente il microtrone può trovare applicazione per il controllo radiometallografico delle fusioni e delle saldature.

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - U. Bizzarri, M. Conte, R. Habel e A. Vignati: Elementi di Progetto e stato di Avanzamento di un modello di Microtrone, LNF-63/73 (1963).
- (2) - U. Bizzarri e A. Vignati: Il sistema di R. F. del Microtrone, LNF-65/50 (1965).
- (3) - O. Wernholm: Ark. Fys. 16, 525 (1960).
- (4) - S. P. Kapitza et al. : Sov. Phys. JETP 12, 962 (1961); 14, 266 (1962).
- (5) - K. A. Belovintsev, Ay Belyak, S. Voroghtsov and P. A. Cerenkov, High current Microtron, International Conference on High Energy Accelerators, Dubna 1963.
- (6) - A. Roberts, Ann. Phys. 4, 115 (1958).
- (7) - S. P. Kapitza et al. , Sov. Phys. JETP 14, 272 (1962).
- (8) - H. Reich, Nucl. Instr. and Meth. 31, 221 (1964).
- (9) - H. Froelich, E. Branneu, Appl. Phys. 36, 3264 (1965).
- (10) - Handersonn et al. , Proc. Phys. Soc. (London) B66, 654 (1953).
- (11) - S. P. Kapitza, V. P. Bykov and V. N. Melekhin, Sov. Phys. JETP 14, 266 (1962).