

LNf - 62/4

R. Evangelisti - G. Pasotti - G. Sacerdoti:
BOBINA PER ALTI CAMPI MAGNETICI PULSATI

Nota interna: n° 111
25 Gennaio 1962

LNF-62/4

Nota interna: n° 111

25 Gennaio 1962

R. Evangelisti - G. Pasotti - G. Sacerdoti: BOBINA PER
ALTI CAMPI MAGNETICI PULSATI.

INTRODUZIONE

In questo articolo si descrivono il progetto ed alcuni risultati delle prove sperimentali di una bobina costruita presso i Laboratori di Frascati, adatta ad ottenere alti campi magnetici pulsati ($20 \cdot 30 \text{ Wb/m}^2$), in un volume di circa 1/2 litro.

Tali valori di campo magnetico sono necessari in una delle tecniche usate in fisica nucleare per la rivelazione di particelle subatomiche e cioè quella delle lastre, emulsioni particolari nelle quali la visualizzazione della traccia di una particella è causata da un succedersi di innumerevoli processi di ionizzazione lungo la direzione di volo. Il minimo valore utile del campo magnetico che permette la identificazione della particella e la misura del suo impulso è

$$B \left(\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right) = \frac{0.5}{\beta t} \quad (1)$$

$\beta = v/c$; $t =$ lunghezza traccia (in metri)

ad es. $\beta = 0.6$ $t = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $B = 20 \text{ Wb/m}^2$

La relazione (1) si ottiene imponendo che la deflessione provocata dal campo magnetico sia almeno il doppio di quella dovuta allo scattering multiplo nella lastra.

I risultati che si sono ottenuti con la bobina costruita dovranno servire di base per il progetto di altri magneti da usarsi prevalentemente in esperienze con lastre e con fasci prodotti da macchine acceleratrici: si è tenuto conto che la durata dell'impulso doveva essere lunga (qualche msec) e che, dovendosi l'impulso ripetere parecchie volte al minuto, era necessario che la "vita" della bobina fosse piuttosto lunga (almeno un migliaio di impulsi).

In tab. I sono riportati i dati principali della bobina ottenuti dai calcoli svolti al § 1 e dalle prove sperimentali di cui al § 2.

TABELLA I

Caratteristiche della bobina (vedi anche fig. 1)

diametro interno bobina	$2r_i = \varnothing_i =$	75 mm
diametro esterno bobina senza rivestimento di araldite	$2r_e = \varnothing_e =$	195 mm
altezza bobina senza ri- vestimento di arald.	$h =$	84 mm
numero di spire (di rame elettrolitico)	$N =$	27
spessore rame	$s =$	2,5mm
spessore isolante	$s_1 =$	0,6mm
induttanza (misurata)	$L =$	26 μ H
resistenza in corrente continua	$R_{cont} =$	$1,35 \cdot 10^{-3} \Omega$
resistenza sotto impulso (misur.)	$R_{alt} =$	$4,4 \cdot 10^{-3} \Omega$
durata dell'impulso	$\tau =$	$4,4 \cdot 10^{-3} \text{sec}$
campo massimo raggiunto	$B_{0max} =$	32 Wb/m ²

In tab. II sono indicate le caratteristiche del banco di condensatori usato per le prove.

TABELLA II

Caratteristiche banco condensatori

tensione massima	$V_{\max} \cong 2800 \text{ V}$
capacità	$C = 77000 \mu\text{F}$
energia totale banco	$E = 300 \text{ kJ}$
frequenza propria di risonanza	$f_r = 20000 \text{ Hz}$
corrente massima di esercizio dell'impianto	$I_{\max} \cong 120 \text{ kA}$

§ 1) PROGETTO BOBINA

A) Calcolo amperspire, induttanza, tempo di scarica e andamento assiale del campo.

Per ottenere una durata dell'impulso pari a $\tau^{(x)}$, con una capacità C occorre un'induttanza:

$$L = \frac{\tau^2}{\pi^2 C} \quad (2)$$

Per i calcoli di questa bobina fissiamo $\tau = 5$ msec ed abbiamo

$$L \cong 33 \times 10^{-6} \text{ H} \quad (3)$$

Per quanto concerne il dimensionamento della bobina, considerazioni sull'utilizzazione che essa potrà avere e sull'energia del banco di condensatore ci hanno portato a fissare:

$$2r_i = 75 \text{ mm} \cong h \quad (4)$$

ove r_i = raggio interno bobina

h = altezza bobina

(x) - τ = semionda di una sinusoidale di frequenza f

Considerando, in prima approssimazione, che tutta la corrente sia concentrata sul bordo interno della bobina, possiamo ricavare il numero di spire necessario ad ottenere $L = 33 \mu\text{H}$ dalla formula che ci dà la induttanza di un solenoide ad un solo strato [1]

$$L = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \mu^2 \cdot r_i \frac{2r_i}{h} N^2 \cdot K \quad (5)$$

ove K = coefficiente che tiene conto degli effetti di estremità, tabulato su [1] in funzione di $2r_i/h$.

Con i dati del nostro problema abbiamo:

$$N = 27 \text{ spire}$$

Considerazioni di carattere costruttivo ed i risultati dei calcoli degli sforzi meccanici (v. punto D) ci hanno portato a stabilire per la bobina le dimensioni di tab. I e di fig. 1.

Per la costruzione si è proceduto nel seguente modo:

- si è costruita la spirale di rame di 27 spire saldando con Castolin 1802 altrettanti anelli spaccati di rame elettrolitico
- si è tornita a misura e sbavata bene tale spirale sui due diametri
- si è inserito tra spira e spira un foglio di silic^(x) dello spessore di 0,5 mm incollandolo alle spire di rame con araldit tipo D 15⁽⁺⁾
- attorno a tutto questo è stato poi fuso un rivestimento costituito da:
araldit tipo B⁽⁺⁾ n° 3 parti

(x) - tessuto di vetro impregnato con resine a base di siliceni, di produzione della Monti e Martini.

(+) - di produzione della CIBA.

flessibilizzante⁽⁺⁾ n° 1 parte
indurente⁽⁺⁾ " 1 "
polvere di quarzo " 6 parti

- si è tornito e portato a misura il tutto.

a) Calcolo dell'induttanza in seconda approssimazione.

Il flusso che esce radialmente dall'interno della bobina, a causa del regime impulsivo della scarica, non può attraversare le piattine di rame come farebbe in corrente continua, ma deve venir "raddrizzato" come in fig. 2.

A causa dell'effetto pelle il campo magnetico decade a B/e dopo la distanza λ dalla superficie interna. Nel nostro caso si ha:

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \approx 6.8 \text{ mm} \quad (6)$$

ove ρ = resistività del materiale

μ = permeabilità del materiale

ω = pulsazione della corrente di alimentazione

Il campo magnetico che attraversa radialmente la bobina (v. fig. 2b) avrà, all'interno del conduttore, lungo l'asse z, un andamento del tipo:

$$B_r = \frac{B_0}{2} \left(e^{\frac{z}{\lambda}} + e^{-\frac{z}{\lambda}} \right) \quad (7)$$

ove B_0 = campo magnetico sulla superficie (v. fig.3)

Il campo medio in metà spessore della piattina di rame sarà, con i dati del nostro problema:

$$B_{\text{medio}} = \frac{1}{1,25} \int_0^{1,25} B dz = \frac{B_0}{1,02} \quad (8)$$

il che equivale ad ammettere che la sezione di passaggio del campo magnetico che esce radialmente attraver-

(+) - di produzione della CIBA

so la bobina sia:

$$s = h/1,02 \cong 3 \text{ mm (v. fig. 4)}$$

con induzione costante = B_0 .

Abbiamo schematizzato il circuito magnetico della bobina con il circuito elettrico di fig. 4 in cui le tensioni dei generatori E sono proporzionali alle forze magnetometriche di ciascuna spira e le resistenze R_1, R_2, R_3, R_4 sono proporzionali alle riluttanze magnetiche dei circuiti segnati in fig. 4. Le correnti che si possono ricavare sono proporzionali ai flussi magnetici nei vari circuiti. I valori delle resistenze sono approssimativamente:

$$R_1 = \frac{l}{2 \mu_0 \pi r_c^2} \quad (9)$$

$$R_3' = \frac{2}{\mu_0 2\pi r_m c} \quad (12)$$

$$R_2 = \frac{2}{\mu_0 2\pi r_m s} \quad (10)$$

$$R_3'' = \frac{d}{\mu_0 \pi r_{m1}^2} \quad (13)$$

$$R_3 = \frac{R_3' \cdot R_3''}{R_3' + R_3''} \quad (11)$$

$$R_4 = \frac{h}{\mu_0 2\pi r_{m2}^2} \quad (14)$$

per i simboli v. fig. 4.

Dai calcoli precedenti si sono potuti ricavare i grafici $B_z = f(z)$ per $r = 0$ (v. fig. 5) e

$B_{z\text{medio}} = f(z)$ (v. fig. 6).

Possiamo ora calcolare l'induttanza dalla formula:

$$\phi_c = L I \quad (15)$$

Infatti abbiamo (v. fig. 5):

$$N I \cong (2/\mu_0) \int_0^{z_c} B_z \cdot dz \quad (16)$$

che, per $B = 1 \text{ Wb/m}^2$ diventa $N I = 9,6 \cdot 10^4 \text{ Asp}$ e per ciò, essendo $N = 27$ spire: $I = 3,55 \cdot 10^3 \text{ A}$.

D'altra parte:

$$\phi_c = \sum_0^{27} \phi_i \approx \pi r_c^2 \sum_0^{27} B_{medi} \quad (17)$$

dal grafico di fig. 6 si ricava:

$$\phi_c \approx 0,104 \text{ Wb.spira}$$

e perciò:

$$L_{calc} \approx 28 \text{ H}$$

Il valore di L misurato è risultato poi essere:

$$L_{mis} \approx 26 \text{ H}$$

Questa differenza riteniamo sia dovuta in parte agli errori di misura, in parte ad imperfezione di calcolo ed in parte alle ipotesi, necessariamente non rigorose, in base alle quali è stato ricavato il grafico $B_z = f(z)$ al di fuori della bobina.

b) Calcolo del tempo di scarica.

$$\tau = 1/2f \quad (18)$$

dove

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (19)$$

Per il calcolo di R da utilizzare in questa formula è sufficiente considerare la resistenza che avrebbe la bobina ammettendo che la corrente fosse tutta concentrata nello spessore di penetrazione. In tal caso $R = 10^{-2}$ ohm e la (17) diventa

$$\tau = 4,7 \text{ msec}$$

Il valore di τ misurato è stato di $\tau = 4,4 \text{ msec}$.

B) Calcolo energia magnetica immagazzinata e perdite.

a) Energia magnetica immagazzinata

Si ricava facilmente tale energia dalla formula:

$$E = L I^2 / 2 \quad (20)$$

nella quale $L = 28 \mu\text{H}$ e $I = 71 \cdot 10^3 \text{A}$ (per $B_0 = 20 \text{Wb/m}^2$)
 $E_M = 70 \text{kJ}$.

b) Calcolo perdite.

In prima approssimazione si possono calcolare le perdite immaginando che la corrente sia localizzata tutta in uno spessore pari alla profondità di penetrazione.

In tal caso la resistenza a temperatura ambiente sarebbe:

$$R_{20^\circ} = 0,7 \cdot 10^{-2} \Omega$$

La resistenza a 100° sarebbe:

$$R_{100^\circ} = 10^{-2} \Omega$$

In realtà, misurando l'attenuazione della tensione in due semionde successive si ricava una resistenza minore di quella calcolata e precisamente:

$$R_{\text{misurata}} = 4,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Questo effetto è stato rilevato sia nelle prove fatte dal Dr. Furth ⁽³⁾ sia dal Dr. Hoffmann ^(x) del CERN. Ciò si può spiegare tenendo presente che il flusso che sfugge radialmente dovrà risultare, come abbiamo detto, parallelo alla piattina. Il campo magnetico radiale nell'interno della bobina varia assialmente secondo l'andamento:

$$\frac{d\phi(z)}{dz} \frac{1}{2\pi r_m} \cong B_{r_m} \quad (21)$$

(r_m compreso tra r_i ed r_e).

La corrente quindi che sarà indotta nella piattina da r_i ad r_e , sarà:

(x) - Comunicazione privata

$$I_{\text{diffusa}} = \frac{(Br_{2m} - Br_{1m})(r_e - r_i)}{\mu_0} \quad (22)$$

e

$$\frac{I_{\text{diffusa}}}{I_{\text{tot}}} \text{ media} \quad 100 = 30\%$$

Questa corrente è stata calcolata in base alle (21) e (22). Si possono così ricalcolare le perdite tenendo conto che una parte della corrente non si concentra più solo nello spessore dato dalla profondità di penetrazione e che la corrente diffusa, circolando su di una sezione di rame molto grande (~ 10 volte) rispetto a quella della "pelle" provoca perdite molto piccole rispetto alle perdite totali. Con questo schema di calcolo la resistenza si riduce a circa 5×10^{-3} ohm e cioè diviene circa uguale a quella misurata.

Nel tempo $\tau/2 = 2,2$ msec, per ottenere $B_0 = 20$ Wb/m² e si dissipa per effetto Joule l'energia:

$$E_J = R \frac{I_{\text{max}}^2}{2} \frac{\tau}{2} = 30 \text{ kJ} \quad (23)$$

e l'energia totale che deve avere il banco di condensatori è (trascurando i collegamenti):

$$E_t = E_M + E_J = 70 + 30 = 100 \text{ kJ} \quad (24)$$

Si è considerata solo l'energia dissipata in $\tau/2$ poichè tale è il tempo necessario per raggiungere il campo massimo. Tenendo conto che più del 10% dell'energia del banco va dispersa nei collegamenti, poichè B_0 è proporzionale a $\sqrt{E_L}$, con la bobina in questione ed il banco di condensatori del CERN (E_t reale ~ 270 kJ) si si può raggiungere al massimo

$$B_{0\text{max}} = 200 \sqrt{\frac{270}{100}} = 33 \text{ Wb/m}^2$$

valore cui ci si è avvicinati in alcune prove (v. § 2).

c) Eccitazione della bobina.

All'atto della scarica il circuito si può schematizzare come in fig. 7. La resistenza R è la resistenza delle connessioni e della bobina in regime impulsivo, la induttanza L è pure l'induttanza somma delle connessioni e della bobina.

In generale, data la lentezza della scarica, la induttanza e la resistenza dei cavi non rappresentano che un dieci per cento di quella della bobina (v. punto c).

La corrente di eccitazione, e quindi il campo in funzione del tempo sono dati dalla relazione:

$$I = \frac{V_0}{bL} e^{-at} \text{ sen } bt \quad (25)$$

$$a = R/2L$$

$$b = \sqrt{1/LC - a^2}$$

Da questo si può vedere il rapporto tra la tensione ai capi del condensatore dopo un semiperiodo e quella iniziale, che è data da:

$$\alpha = e^{-aT/2} \quad (26)$$

La formula (26) ci permette di calcolare rapidamente il valore della resistenza durante l'impulso ed è nostra opinione che questa sia la misura più precisa che si possa fare.

Il valore di α rilevato durante le prove è risultato:

$$\alpha \approx 0,7$$

C) Calcoli termici.

Il regime termico della bobina può così essere descritto: il rame e l'isolante tra le spire, prima della scarica saranno ad una certa temperatura t_1 che di-

pende sensibilmente dal sistema di raffreddamento (tipo di liquido usato, velocità di esso nell'intercapedine, ecc). Durante l'impulso si ha un aumento di temperatura sul bordo interno della bobina. Tale aumento sarà, in prima approssimazione, proporzionale al quadrato del campo magnetico che si ottiene. Se la corrente ha la forma di una semionda di senoide, con i dati del nostro problema ($B_0 = 20 \text{ Wb/m}^2$) la quantità di calore prodotta ad ogni impulso, sarà (v. formula (22)):

$$Q = \frac{2 \cdot E_j}{4185} = 14,5 \text{ kcal} \quad (27)$$

La parte sollecitata sarà dell'ordine della profondità di penetrazione della corrente per effetto pelle. L'aumento di temperatura, data la rapidità della scarica, dipenderà unicamente dalla capacità termica della porzione di piattina percorsa dalla corrente. Ammettendo che la quantità di calore sopra calcolata sia distribuita tutta in 1/2"pelle" si ha che l'aumento di temperatura risulta:

$$\Delta t = Q/P c \approx 400^\circ \quad (28)$$

Ponendo che sia, abbastanza verosimilmente, $t_1 = 100^\circ\text{C}$, la temperatura massima della bobina sarà pertanto:

$$t_{\text{max}} = t_1 + \Delta t \approx 500^\circ\text{C}^{(x)} \quad (29)$$

La temperatura media del rame sarà approssimativamente:

$$t_{\text{medio}} = t_{\text{fluido}} + \frac{N Q}{S} \left(\frac{d}{K} + \frac{1}{f} \right) \quad (30)$$

dove: N = numero di impulsi all'ora

S = sezione di passaggio del calore

K = coefficiente di trasmissione termica del rame

(x) - Tale temperatura non permane che per una frazione di secondo

d = distanza tra il baricentro di produzione del calore e la parete di raffreddamento

f = coefficiente di trasmissione rame - fluido.

f varia notevolmente in funzione della velocità e della natura del fluido. In tab. III abbiamo raccolto alcuni dati relativi a t_{medio} .

TABELLA III

Temperatura media orientativa del rame.

Fluidi refrigeranti a $t = 20^{\circ}\text{C}$	n° di impulsi al minuto	t_m ($^{\circ}\text{C}$)	
		$v=5$ m/sec	$v=10$ m/sec
Acqua distill.	12	90°	70°
Petrolio	6	160°	120°
Fluido silicone 710	3	160°	120°

D) Calcolo sforzi meccanici e considerazioni sui materiali.

La bobina è sollecitata, come è noto, da forze assiali dirette dagli estremi verso il centro e da forze radiali dirette verso l'esterno.

Per un calcolo orientativo, senza usare formule troppo raffinate, possiamo stabilire che, per $B_0=20\text{Wb/m}^2$:

$$F_{\text{assiale}} = d \frac{E_M}{dh} = \frac{d}{dh} \frac{1}{2} S h \frac{B_0^2}{\mu_0} = \frac{B_0^2}{\mu_0} S = 8 \cdot 10^4 \text{kg} \quad (31)$$

dove S = sezione della bobina ove vi è campo magnetico (praticamente la sezione interna della bobina)

$$F_{\text{radiale}} = B_0 \cdot 2 \pi r_i I = 3 \cdot 10^4 \text{ kg} \quad (32)$$

sulla spira
centrale

Queste forze sono concentrate sui filetti di corrente e pertanto possiamo ammettere orientativamente che la forza assiale si ripartisca su di una superficie $S = 2 \pi r_i \lambda \cong 17 \text{ cm}^2$. La pressione assiale massima diviene pertanto:

$$P_a \cong 43 \text{ kg/mm}^2$$

La forza radiale si ripartisce sulla superficie interna delle spire e perciò la pressione radiale che si esercita dall'interno, sulla spira centrale, che è la più sollecitata, diviene:

$$P_r \cong 50 \text{ kg/mm}^2$$

Queste pressioni tendono a dilatare radialmente le spire e ad incurvarle ad "imbuto" verso il centro. Inoltre possono produrre durante l'impulso delle vibrazioni che fragilizzano soprattutto l'isolante, e tendono a staccare le barre di adduzione della corrente dalla bobina stessa, con conseguente pericolo di archi.

La presenza di queste enormi forze impone un'accurata scelta dei materiali conduttori e isolanti ed un particolare studio del sistema di ancoraggio. I materiali che possono servire per i conduttori adatti a bobine di queste induzioni sono: rame, rame-berillio, rame-cromo, rame-zirconio.

Nella scelta di questi materiali occorre tener presente la temperatura di funzionamento ed a questa temperatura confrontare le caratteristiche meccaniche ed elettriche dei vari materiali.

Per un magnete da 300 kgs sembra che i materiali migliori siano nell'ordine: rame-zirconio, rame, rame-cromo e rame berillio. Infatti la resistenza elettrica del rame-zirconio e del rame-cromo è solo di poco superiore a quella del rame, mentre la resistenza meccanica del rame-zirconio ad es. a 400°C è superiore di almeno due volte a quella del rame. Per il rame-cromo, mentre a temperatura ambiente la resistenza meccanica è circa 3 volte quella del rame, a 400°C si perde praticamente tutto il vantaggio.

Per gli isolanti vi è una vasta gamma di materiali: il materiale non dev'essere fragile a causa delle vibrazioni dovute agli effetti elettromagnetici e d'altra parte non dev'essere troppo tenero per evitare che si estruda verso l'interno durante l'impulso. Abbiamo scelto, anche sulla base di esperienze precedenti, un tessuto di vetro impregnato con resine a base di siliconi^(x).

Dal calcolo del regime degli sforzi della bobina ⁽²⁾, si può vedere che una precompressione sia assiale che radiale, dello stesso ordine di grandezza della forza che si sviluppa durante l'impulso, può migliorare la situazione. Dagli stessi calcoli si è rilevata pure la convenienza di fare lo spessore radiale della bobina piuttosto grande (circa uguale al diametro interno) poichè in tali condizioni le sollecitazioni del materiale sono minori ed è assai meno critico il valore della precompressione.

Tutte queste considerazioni consigliano di ricorrere ad un sistema di bloccaggio della bobina parti

(x) - Vedi § 1

colarmente robusto. Per tale motivo si è previsto di inserire questa bobina in una carcassa delle dimensioni indicate in fig. 8 e quindi abbondantemente sopra-dimensionata: si è infatti pensato di usare la stessa carcassa come contenitore di bobine di maggiori dimensioni e progettate per funzionare a campi più elevati, con banchi di condensatori di energia superiore a 300 kJ. Su questa carcassa è pure possibile ancorare solidamente barre di collegamento.

§ 2) PROVE SPERIMENTALI

La bobina è stata provata col banco di condensatori del CERN le cui caratteristiche sono indicate in tab. II.

Il ciclo di eccitazione è stato il seguente:

n° 50	impulsi	con	campo	crescente	da	50	a	320	kgs
n° 5	"	"	"	"	di	320	kgs	con	raffredda-
									mento
n° 220	"	"	"	"	di	200	kgs	con	raffredda-
									mento
n° 110	"	"	"	"	di	250	kgs	con	raffredda-
									mento
									ad
									acqua
									deminera-
									lizzata

Questi impulsi sono stati fatti con la frequenza di 1 + 6 al minuto. Dopo di che la bobina è stata smontata, per quanto ancora funzionante, allo scopo di rilevare i danni e le deformazioni onde poter procedere ad un nuovo progetto che tenga conto di questa esperienza. Sulla bobina è possibile vedere un piccolo cratere (del diametro di circa 3 mm e profondo circa 2) causato da una scarica tra due spire contigue durante le prove preliminari a basso campo, provocata probabilmente da un corpuscolo metallico contenuto nel

l'olio di raffreddamento.

Sulla bobina provata si sono rilevati i seguenti difetti:

- spostamento radiale del rame con aumento del diametro interno pari al 2% circa e di quello esterno dell'1% ca.
- distacco dalla bobina dell'involucro di araldite
- incurvatura ad imbuto verso il centro delle spire con diminuzione dell'altezza della bobina sul bordo interno pari al 2% ca.
- estrusione dell'araldite verso ogni spazio libero a causa della pressione esercitata dall'aumento del diametro esterno della bobina.

L'isolante tra spira e spira ha resistito bene agli sforzi senza visibili alterazioni.

Sulla bobina si sono eseguite misure per il rilievo dell'andamento del campo assiale sia lungo l'asse centrale che lungo un asse parallelo a questo ma spostato radialmente di 2 cm; in fig. 5 sono riportati questi due andamenti.

In fig. 9 è riportato un andamento tipico di $B_z = f(t)$.

E' stato misurato il rapporto tra la tensione iniziale e quella della prima semionda negativa. Tale rapporto risulta, come detto al § 1, uguale a circa 0,7. Da ciò si è ricavato il valore della resistenza della bobina che è risultata abbastanza coerente con quella prevista. Anche il valore dell'induttanza, calcolata in base al tempo di scarica misurato, risulta sensibilmente uguale a quello previsto in sede di progetto.

Per l'immediato futuro abbiamo il seguente pro

gramma:

- costruzione di bobine simili con progetto leggermente modificato per tener conto della presente esperienza
- prove di vita su queste bobine
- prove di bobine a doppio strato
- costruzione di una bobina adatta alla sistemazione di lastre per prove con antiprotoni.

Ringraziamo vivamente la Direzione del CERN per averci concesso di usare il banco di condensatori, il Dr. L. Hoffmann ed il Sig. Sivak per la collaborazione dimostrata nei nostri riguardi durante le prove ed il Sig. Anzidei dei Laboratori di Frascati per la collaborazione alla realizzazione del complesso.

Bibliografia

- 1 - F.W. Grover: Inductance calculations - D. Van Nostrand, New York.
- 2 - Notizie tecniche relative ai magneti pulsati per alti campi - Nota interna: n° 41 dei Laboratori Nazionali di Frascati del C.N.E.N. dell'11.7.1961.
- 3 - H.P. Furth, M.A. Levine, R.W. Waniek: Production and use of high transient magnetic fields. Review of Scientific Instruments 1957 pag. 949-958.
- 4 - M. Morpurgo, L. Hoffmann, G. Gibson: Design and construction of a 200 kgauss pulsed magnet - Internal Report CERN 60 - 27.

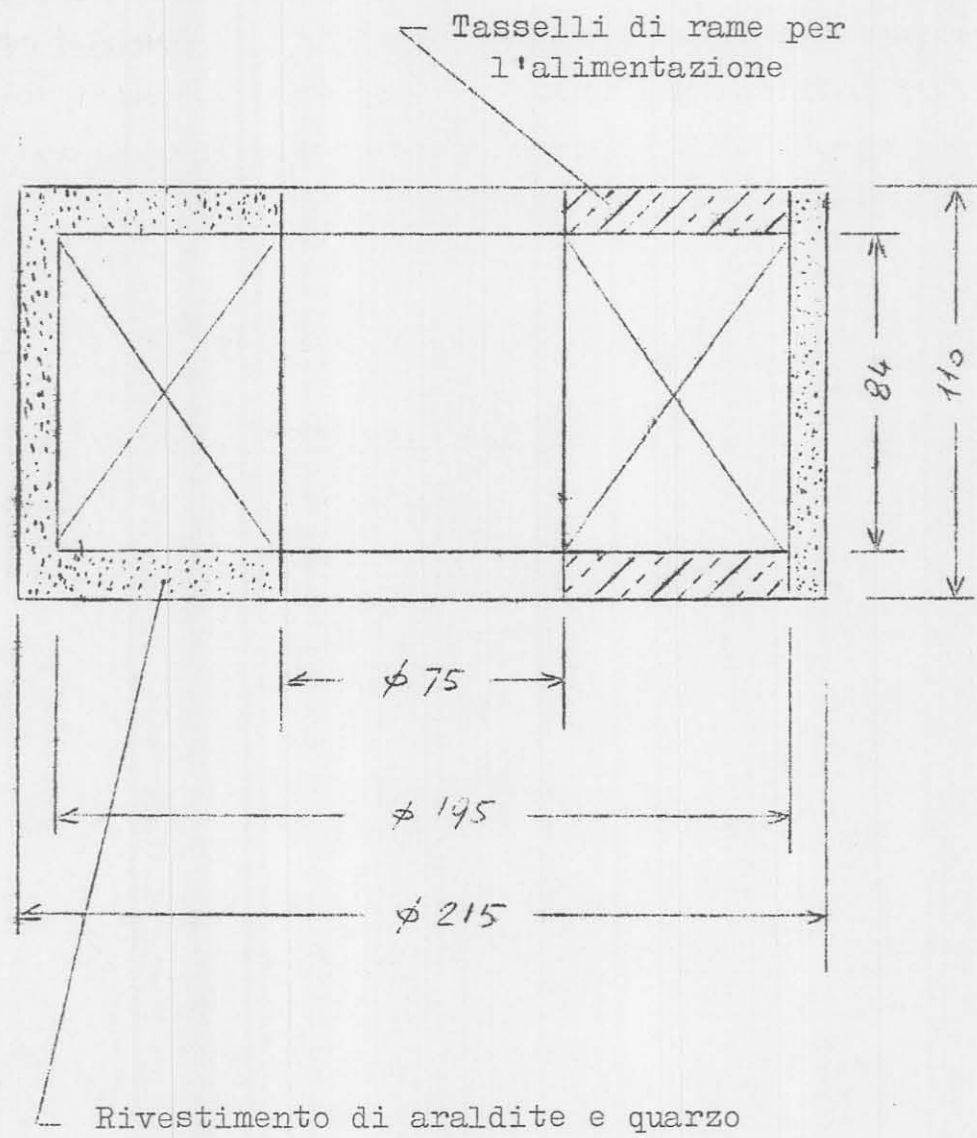
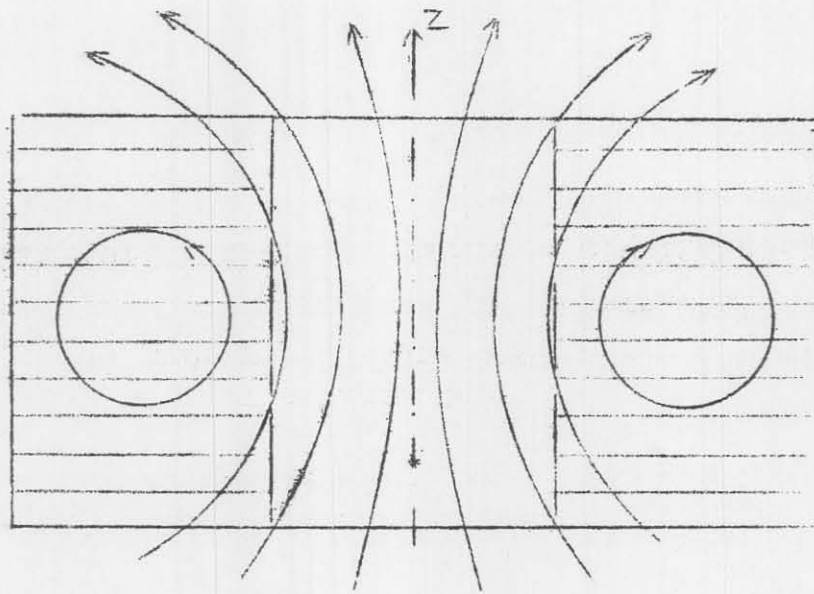
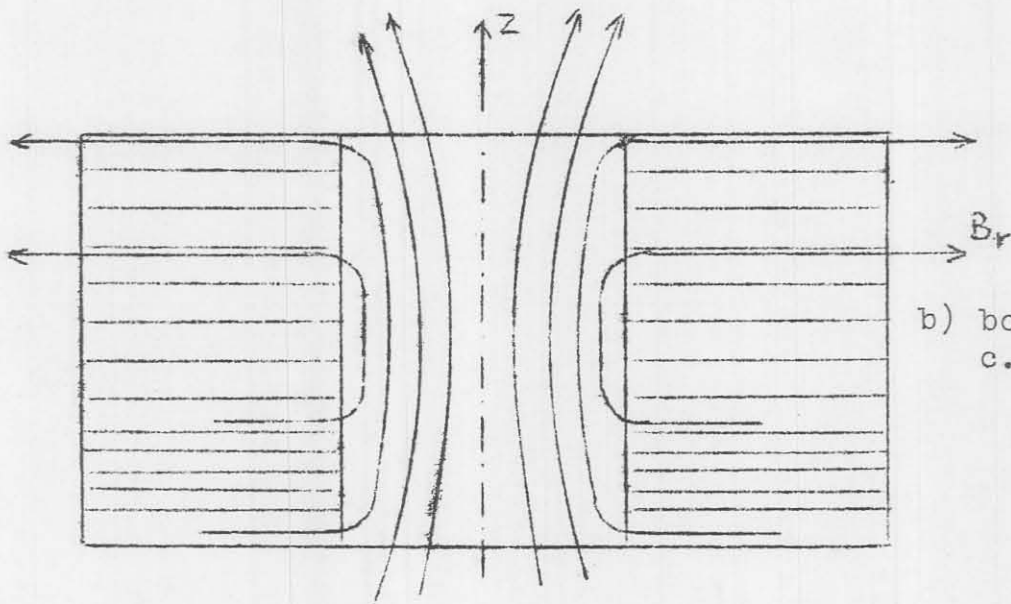


FIG. 1



a) bobina in c.c.



b) bobina in c.a.

FIG. 2 - SCHEMA DISPOSIZIONE DEL FLUSSO IN UNA ELICA DI RAME DI NOTEVOLE LARGHEZZA.

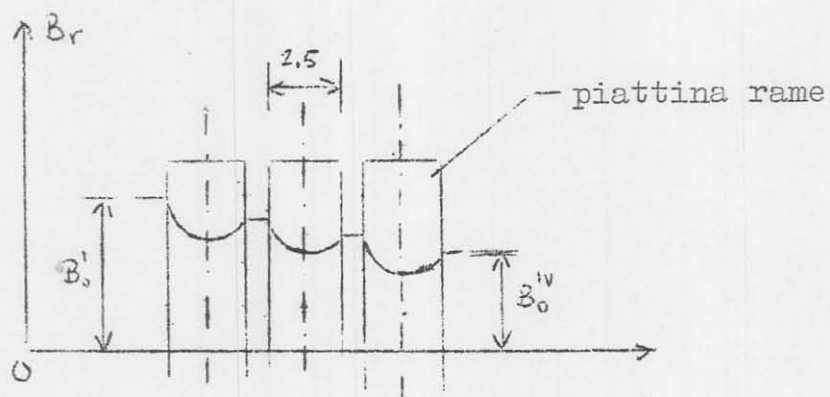


FIG. 3 - ANDAMENTO QUALITATIVO DEL B_r ALL'INTERNO DEI CONDUTTORI DI FIG. 2b.

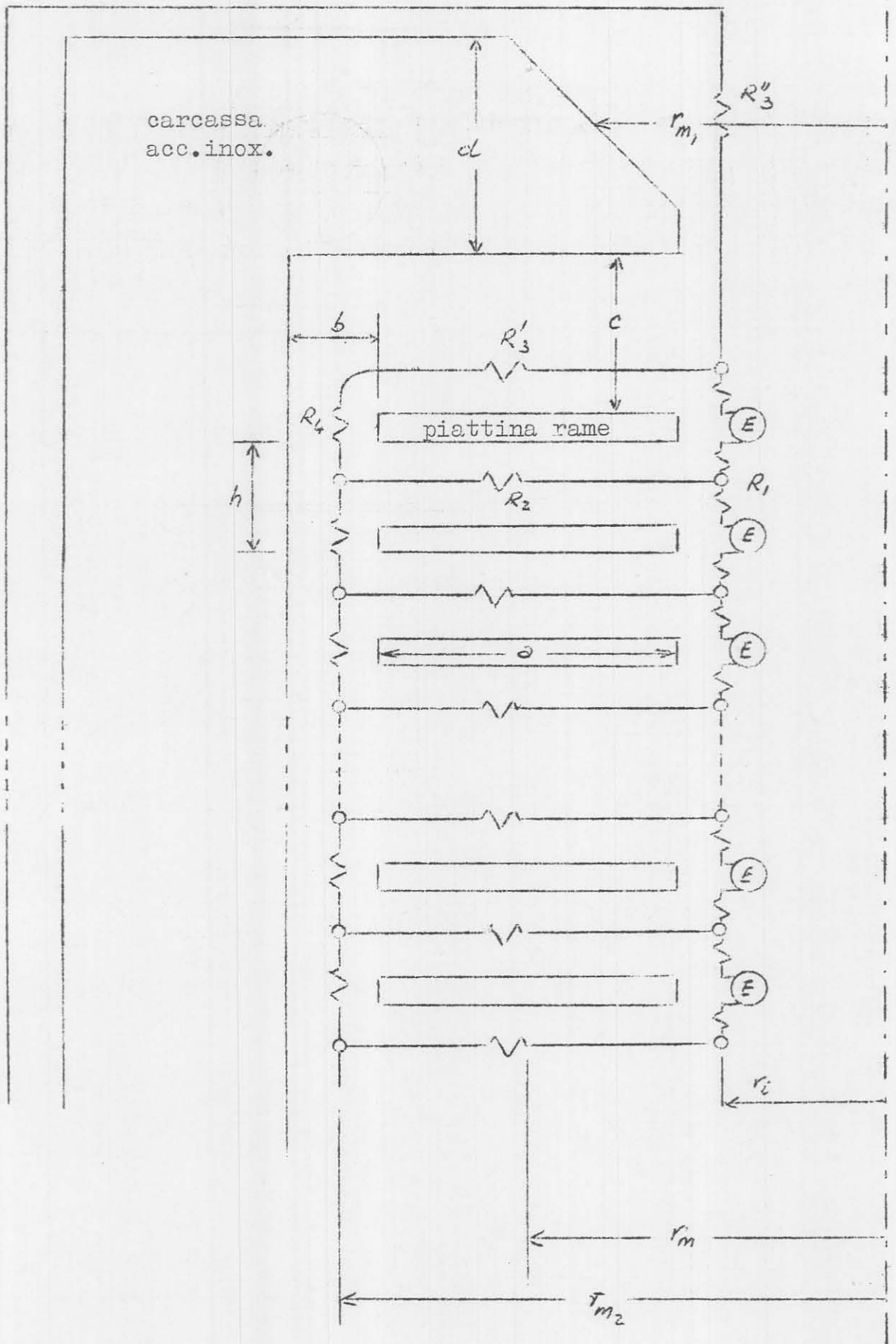


FIG. 4

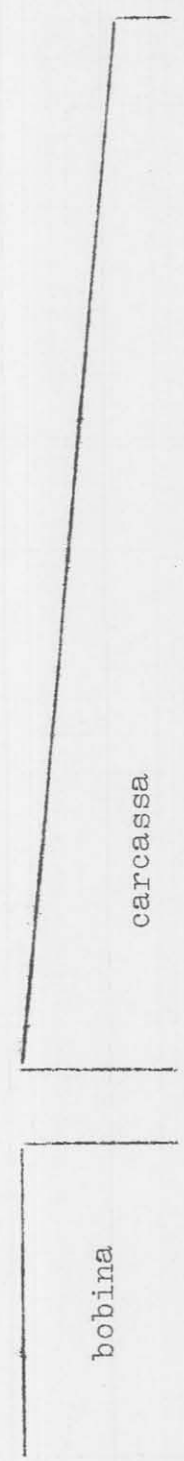
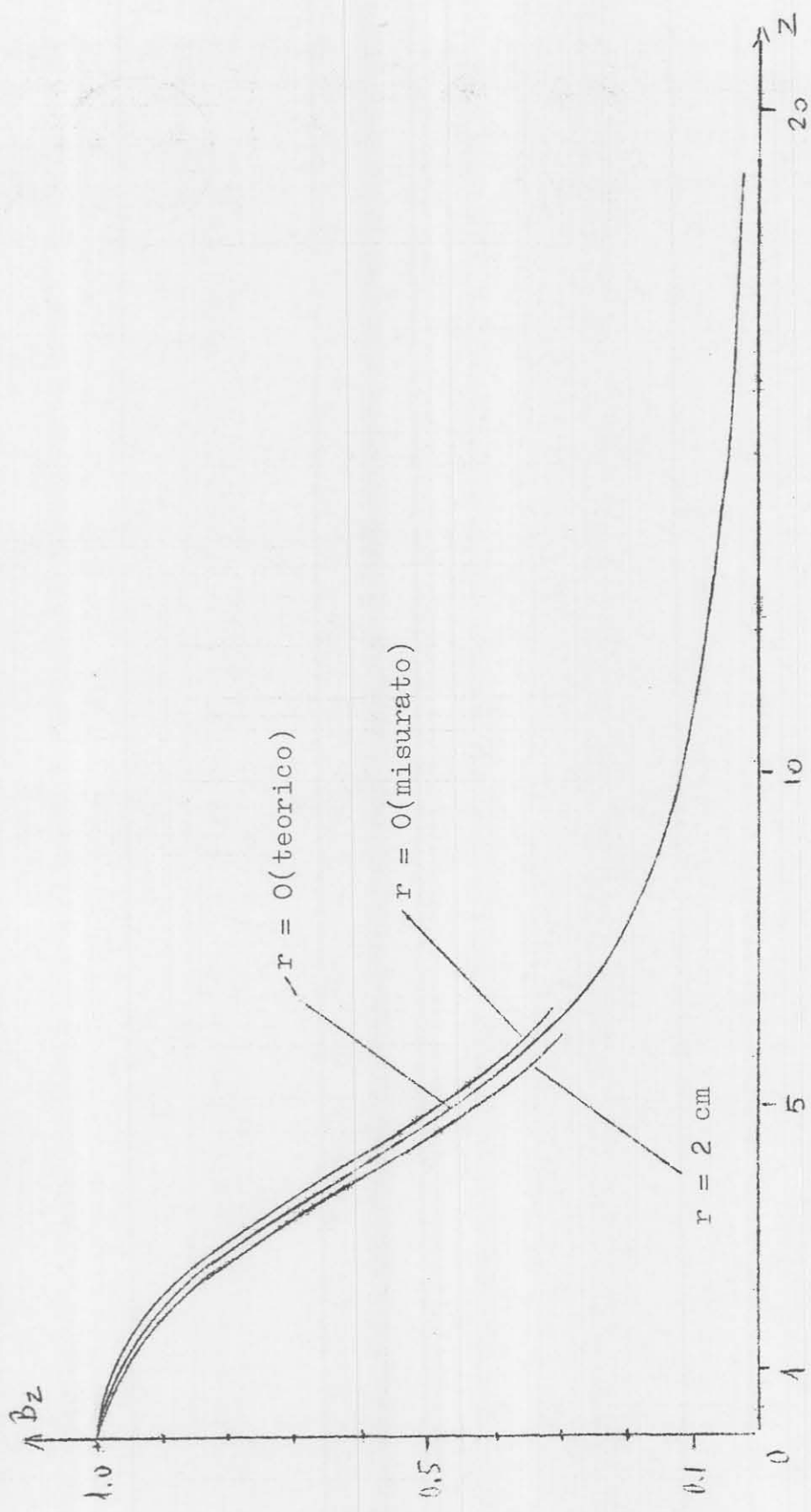


FIG. 5

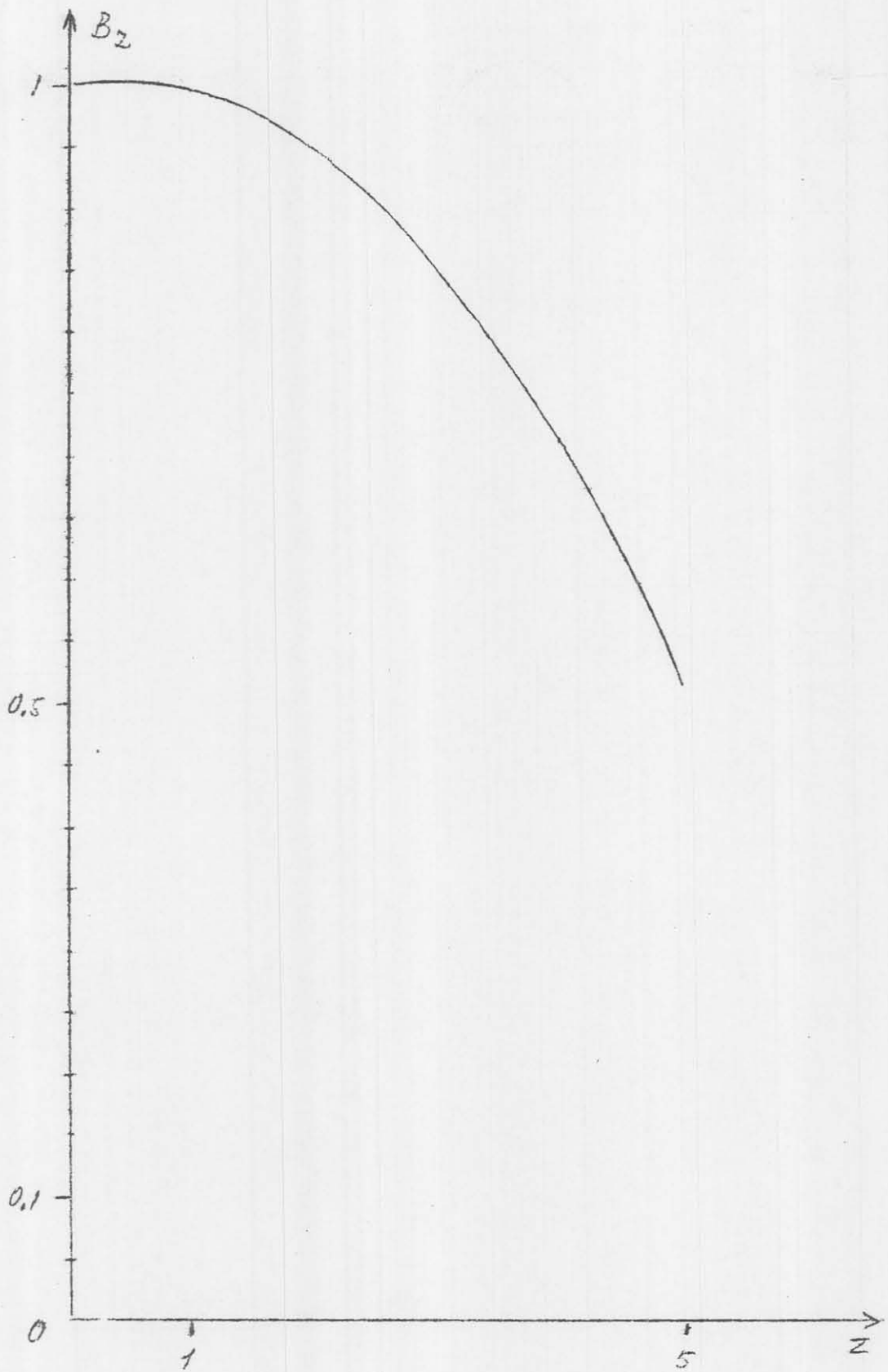


FIG. 6

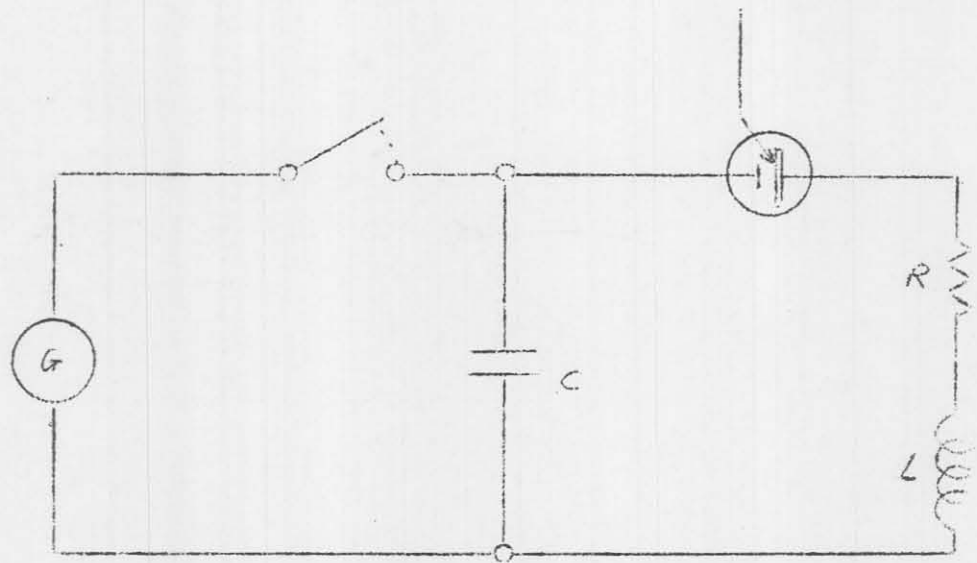


FIG. 7

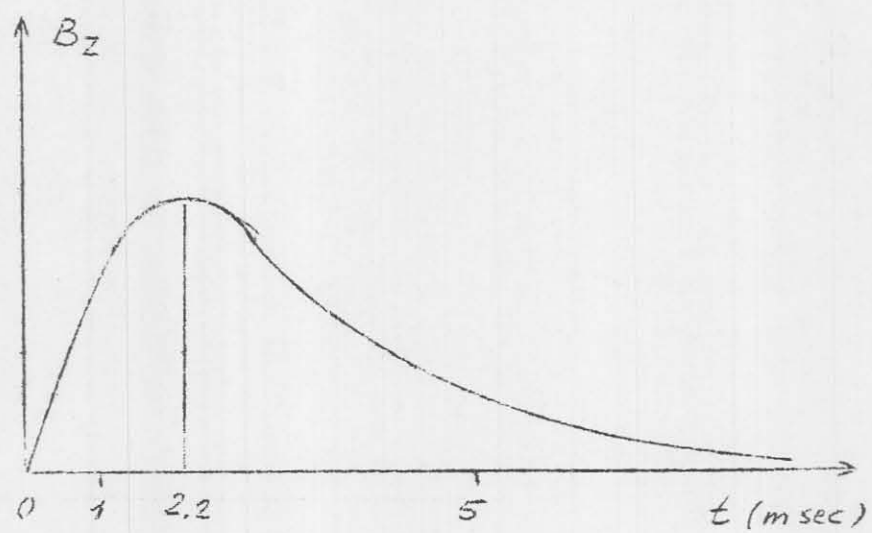
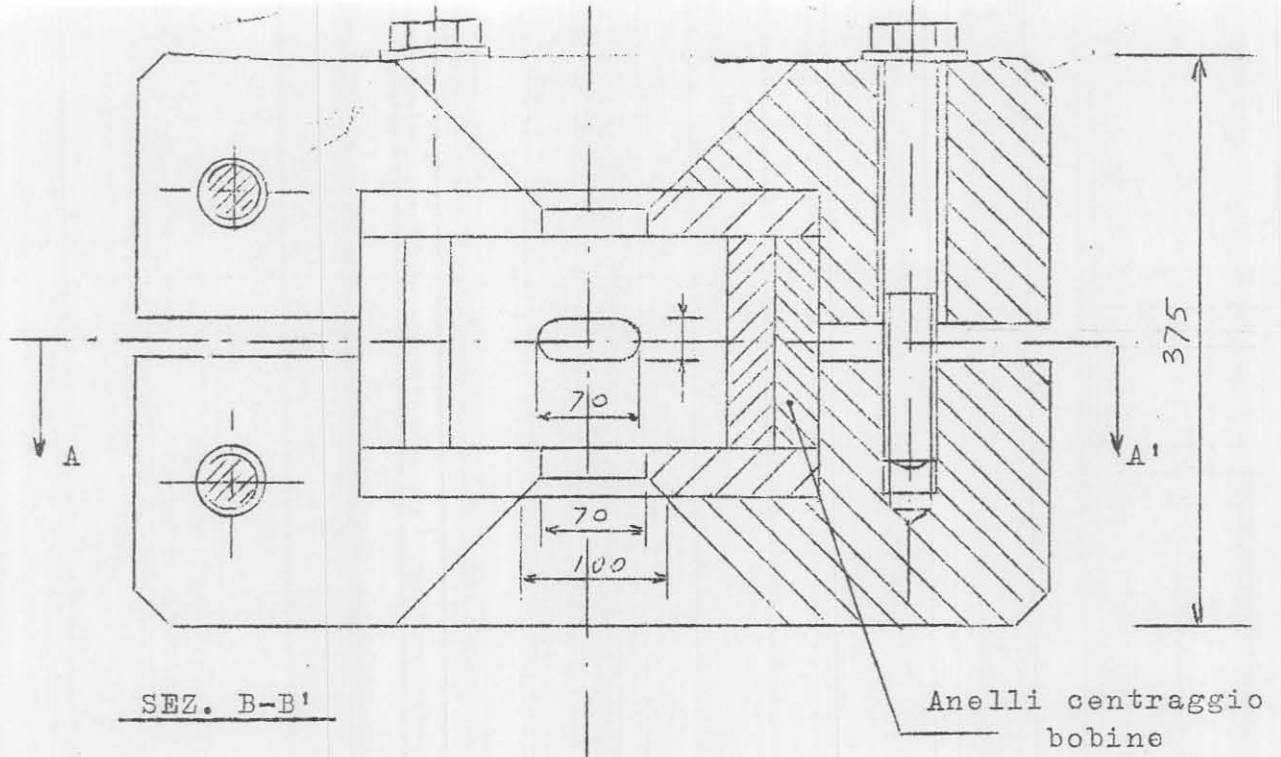


FIG. 9 - GRAFICO ANDAMENTO $B_z = f(t)$



Mat.: acc. inox. amagnetico

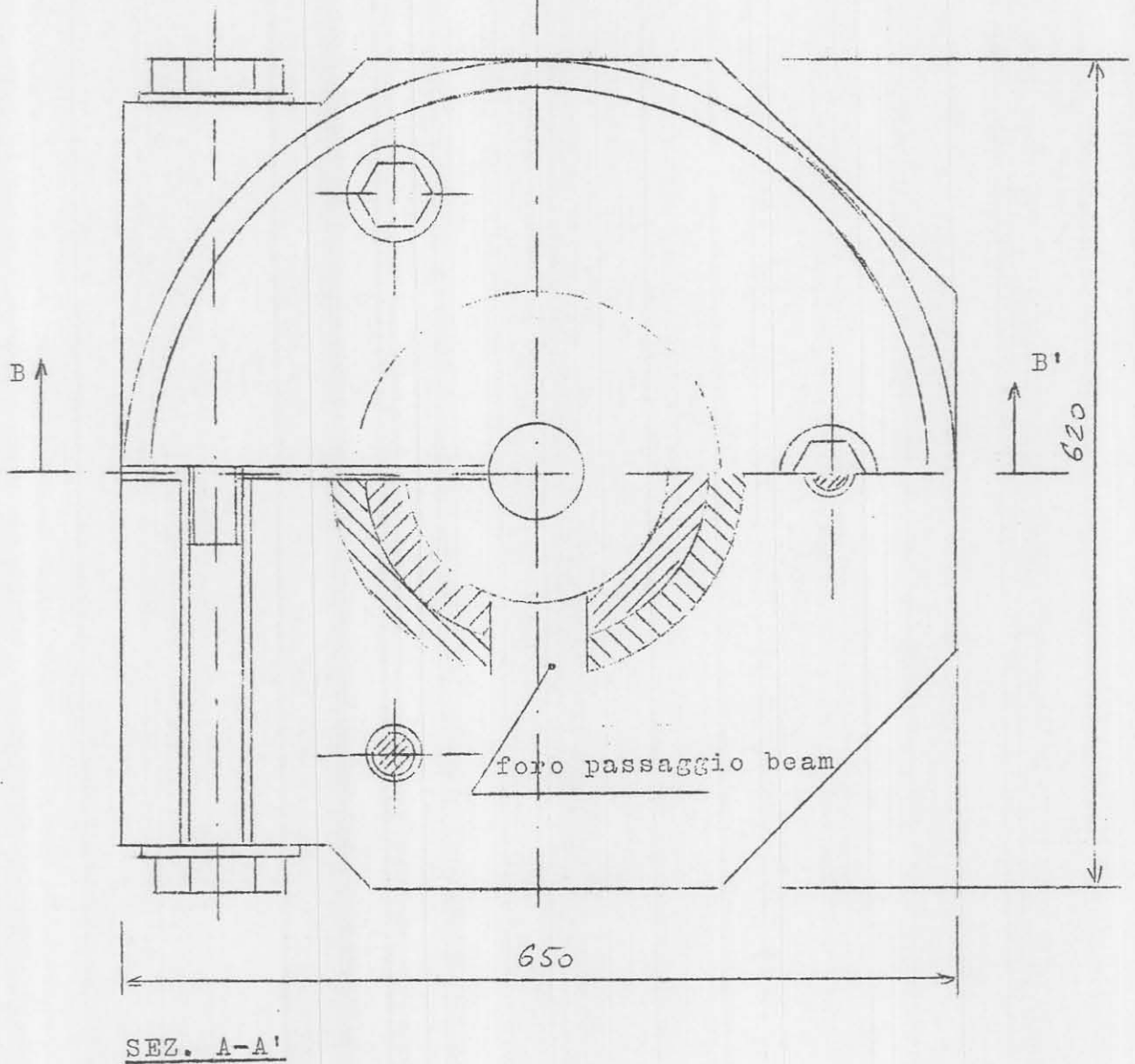


FIG. 8: - INVOLUCRO ESTERNO BOBINE (scala 1 : 5)
(disegno schematico)