

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-61/41 (8. 8. 61)

G. Pasotti, G. Sacerdoti: STUDI RELATIVI AL MAGNETE PER LA
CAMERA A BOLLE NAZIONALE.

Nota Interna: N° 88
8 Agosto 1961

G.Pasotti e G.Sacerdoti: STUDI RELATIVI AL MAGNETE PER
LA CAMERA A BOLLE NAZIONALE (+).

SOMMARIO

Introduzione

- § 1 - Progetto del magnete in rame
- § 2 - Progetto del magnete in rame e ferro
- § 3 - Alcuni cenni sui pesi e sui costi
- § 4 - Conclusioni

Introduzione

Il magnete per la camera a bolle nazionale deve avere le seguenti caratteristiche:

- a) Zona utile (con disuniformità di campo di circa l'1%):
cm. 80 per 50, alta cm. 20, oppure:
cm. 80 di diametro sempre alta 20 cm.

In base a precedenti esperienze^(°) riteniamo di poter raggiungere l'uniformità di campo richiesta facen-

(*) I calcoli numerici sono stati per la maggior parte eseguiti dal Sig. N.Mazzola dell'Università di Roma.

(°) G.Sacerdoti: Un grosso magnete per una camera a diffusione - L'Elettrotecnica n°3 bis - 15/3/60 - pag.239.

do il diametro interno^(oo) della bobina pari ad 1 metro e correggendo poi sperimentalmente il campo con opportuni "anelli di correzione"^(o).

- b) Induzione nella zona utile: $B \geq 1,5$ Wb/mq (possibilmente avvicinarsi a 2 Wb/mq).
- c) Distanza libera tra le bobine: cm. 30+40
- d) Potenza d'alimentazione: minore di 3 MW^(ooo)

Nei calcoli svolti qui di seguito abbiamo cercato di dimensionare il magnete in modo da ottenere il massimo campo possibile a parità di potenza totale; questo è stato fatto sia con la soluzione in solo rame, sia con la soluzione in ferro e rame.

§ 1 - PROGETTO DEL MAGNETE IN RAME.

- a) Calcolo del campo prodotto da un anello di corrente di 1 kA posto a diverse distanze da 0. (vedi fig. 1)

Si è calcolato il campo che ciascuna delle 110 bobinette di fig. 1, avente la sezione di 1 dm^2 , produce nel punto 0 quando è percorsa dalla corrente di 1 kA (la bobinetta è costituita da una sola spira). Il numero segnato in ciascuna sezione è appunto il valore del campo espresso in gauss.

- b) Calcolo del campo prodotto da una bobinetta in cui si dissipa la potenza di 1 kW, posta a diverse distanze da 0. (Vedi fig. 2)

Si è ripresa la figura 1 e si è segnato nella sezione di ciascuna delle 110 bobine il valore del campo (in gauss)

^(oo) Se la forma scelta per la camera sarà quella rettangolare si potrà fare la bobina pure a pianta rettangolare, aumentando così l'induzione nella zona utile.

^(ooo) Gli alimentatori esistenti nel luogo ove dovrebbe lavorare il magnete sono 4 da 1.5 MW, ma 2 di questi debbono rimanere, per quanto possibile, a disposizione di altre apparecchiature.

^(o) v. nota con lo stesso contrassegno a pag. precedente.

quando nella bobinetta stessa si dissipa la potenza di 1 kW (v. fig.2). Per questo calcolo si è considerato un coefficiente di stipamento uguale a 0.7 ed un $\rho_{\text{st}} = \frac{1.2}{55} 10^{-6} \Omega \text{ m}$,

Il valore di tale campo sarà chiamato "coefficiente d'influenza a potenza costante".

c) Induzione al centro del magnete con distribuzione "scalare" della potenza dissipata.

Si è considerata la sola sezione indicata in fig. 3. Per la scelta di questa sezione si è tenuto conto:

- 1) Che la distanza della bobina dal piano mediano fosse di 20 cm. (distanza libera tra le due bobine del magnete 40 cm., a parte le piastre di sostegno).
- 2) Che l'induzione prodotta da questa bobina e dalla sua simmetrica fosse abbastanza vicina ai 20.000 gauss richiesti.
- 3) Che la forma preferibile fosse ^{quella} rettangolare per ragioni costruttive e che il rapporto tra i due lati di tale rettangolo fosse tale da ottenere la maggior induzione possibile nel punto 0 a parità di area della sezione (ciò è facile vedere dai coefficienti di figura 2)

Si è poi divisa la sezione di fig. 3 in 4 "zone", raggruppando in ciascuna di esse le bobinette che hanno lo stesso "coefficiente d'influenza a potenza costante" (entro un 20+25% circa).

Si è trovato poi il rapporto tra le potenze da assegnare rispettivamente alla zona I ed alla zona II in modo da ottenere il massimo campo a parità di potenza totale in esse dissipata. Per questo calcolo si è usato un procedimento numerico di successiva approssimazione.

Si è ripetuta l'operazione tra la zona 3 e la 1+2 insieme, e così di seguito.

Si è trovato quindi la serie di rapporti indicata in figura 3.

In base a questi rapporti si è proceduto a distribuire la potenza di 3 MW tra le 4 "zone" di ciascuna delle due bobine del magnete.

L'induzione che si può ottenere al centro del magnete, con le due bobine considerate, nelle quali si dissipa la potenza totale di 3 MW, è la seguente:

- con distribuzione uniforme della corrente nelle bobinette

$$B'_0 = 18.000 \text{ gauss}$$

- con distribuzione uniforme della potenza nelle bobinette

$$B''_0 = 18.800 \text{ gauss}$$

- con distribuzione "scalare" della potenza (v. fig. 3)

$$B'''_0 = 19.700 \text{ gauss}$$

In figura 4 è riportato il valore dell'induzione al centro del magnete ottenuto spostando leggermente la sezione della bobina dalla posizione considerata sin'ora.

d) Induzioni ottenibili con bobine di dimensioni minori.

In figura 5 è riportato un diagramma dell'induzione in funzione del peso delle bobine, a parità di potenza totale dissipata, ottenuto facendo riferimento alla fig. 3.

e) Diagramma dell'induzione al variare della potenza.

In figura 6 sono riportati i diagrammi $B = f(P)$ per 2 tipi di bobine (una formata dalle prime tre zone indicate in fig. 3 ed una formata da tutte e 4 le zone).

f) Andamento del campo nella zona utile.

Nelle figure 8-12 sono riportati i diagrammi dell'andamento del campo sul piano mediano ed a quota ± 10 cm., prodotto dalle 4 bobinette da 1 dm^2 poste ai vertici della sezione della bobina e dalla bobinetta centrale (v. fig. 7). In figura 13 è riportata la curva ottenuta sommando in ciascun punto il contributo delle 5 bobinette quando in ciascuna di esse circola ugual corrente. In figura 14 è riportato lo stes

so grafico tenendo conto invece della effettiva corrente che circola in ciascuna bobinetta in base alla distribuzione scalare di potenza di fig. 3.

Come si vede, siamo nettamente fuori dall'uno per cento di uniformità richiesto nella zona utile, ma con gli anelli di correzione dei quali si è detto nell'introduzione, riteniamo di poter avvicinarci al risultato richiesto.

§ 2 - PROGETTO DEL MAGNETE IN RAME E FERRO.

Abbiamo preso le stesse bobine del paragrafo 1 (v. fig. 17) ed abbiamo calcolato l'aumento di campo dato dall'aggiunta dei gioghi e colonne di ferro.

Trascurando le perdite nel ferro (data la grande lunghezza del traferro), possiamo considerare le bobine in oggetto come se fossero in aria (tenendo conto della lunghezza magnetica di ciascuna "zona", come diremo più oltre) e calcolare con lo stesso criterio usato per la bobina di paragrafo 1, i rapporti di potenza d'assegnare alle tre zone in cui si è divisa la sezione (v. fig. 15) per ottenere la massima induzione al centro del magnete a parità di potenza totale. Per il calcolo dell'induzione si è considerato, per le zone II e III, una lunghezza magnetica uguale alla distanza tra la mezzeria dei due gioghi (che è risultata, dopo alcuni tentativi di calcolo dello spessore dei gioghi stessi, di circa 2,2 m), mentre per la zona I, che ha di per sé una lunghezza magnetica media in aria di soli metri 1,75 (rilevata dal grafico di fig. 1) si è tenuto conto di tale lunghezza.

In fig. 15 sono indicati i rapporti di potenza da assegnare alle varie zone ed a ciascuna bobinetta per avere il massimo campo nel punto 0 a parità di potenza totale. Sempre in fig. 15 sono riportate le potenze da assegnare a ciascuna bobinetta per avere un rapporto di poten-

za tra le zone $\alpha = 2$ e $\beta = 3$. Questi ultimi rapporti provocano un abbassamento del campo di circa il 3% ^(x) rispetto a quello ottenibile con i rapporti precedentemente considerati, ma una corrispondente diminuzione del peso del ferro di circa il 20%.

In fig. 16 sono riportati i grafici $B = f(P)$ relativi alla bobina di fig. 15 per la distribuzione scalare di potenza secondo i rapporti $\alpha = 0,75$ $\beta = 1,35$.

In fig. 17 è riportato uno schizzo preliminare del magnete; il ferro è stato calcolato in modo che saturi quando nel punto 0 si raggiunge l'induzione di $2,5 \text{ Wb/m}^2$

§ 3 - ALCUNI CENNI SUI PESI E SUI COSTI

a) Pesi approssimativi

- 1) Peso bobine complete di piastre di serraggio e accessori (peso rame 28 tonn) circa 35 tonn.
- 2) Peso ferro, necessario alle 2 bobine suddette aventi densità di corrente costante circa 160 tonn.
- 3) Peso ferro, per bobine aventi distribuzione di potenza tra le 3 zone secondo i rapporti $\alpha = 0,75$ $\beta = 1,35$ (v. fig.17) circa 110 tonn.
- 4) Peso ferro, per bobine aventi distribuzione di potenza secondo rapporti $\alpha = 2$ $\beta = 3$ circa 90 tonn.

(x) che si può anche compensare poichè, dato che il ferro può diminuire di volume, si possono fare i gioghi di minor spessore e diminuire così la lunghezza magnetica delle zone II e III.

b) Costi orientativi.

1) Magnete con ferro		
- ferro (110 tonn.)	ML.	35
- bobine complete di piastre e impianto di raffreddamen to	"	100
- modello e varie	"	10
- imprevisti	"	15
		<hr/>
Solo magnete, escluso ogni accessorio	ML.	160
		<hr/>
2) magnete in aria con bobine		
a IV "zone (v. fig. 3) costo	circa 120 ML.	
3) magnete in aria con bobine		
a III "zone" (v. fig.3) costo	circa 70 ML.	

§ 4 - CONCLUSIONI

In conclusione, un magnete costituito da una struttura in ferro e da due bobine con distribuzione "scalare" di potenza produce, a parità ^{di potenza} totale dissipata, un campo magnetico maggiore di circa il 20-25% di due analoghe bobine in aria; per contro, il ferro fa aumentare il costo del magnete di circa un 25-30%. Inoltre con la soluzione in ferro il peso del magnete quadruplica creando problemi maggiori all'installazione, al trasporto ed all'accessibilità al traferro; per contro il flusso disperso si riduce praticamente a zero eliminando i problemi che altrimenti ci sarebbero stati (necessità di schermare il fascio, gli strumenti ecc.). Con la soluzione in ferro si può infino ottenere più facilmente una maggiore uniformità di campo nella zona utile.

Poichè le due soluzioni sono praticamente equivalenti, occorre vedere caso per caso quali problemi sono più facilmente solubili (costo, campo massimo, schermature ecc.) per decidere quale soluzione adottare.

Un'altra soluzione interessante (anche per il suo relativamente basso costo) è quella cui si è accennato ai punti d ed e del paragrafo 1: cioè due bobine in aria formate ciascuna da sole 3 delle 4 "zone" della bobina stessa (v. fig. 3). Il magnete che così si ottiene impiega solo 12 tonn. di rame (invece di 28) e a parità di potenza, raggiunge campi pari a circa l'87% di quelli della bobina intera (v. fig. 5); oppure, impiegando 3 gruppi alimentatori anzichè due (potenza totale impiegata 4.5 MW) questa bobina può superare nel centro del traferro i 2 Wb/mq. (v. fig. 6).

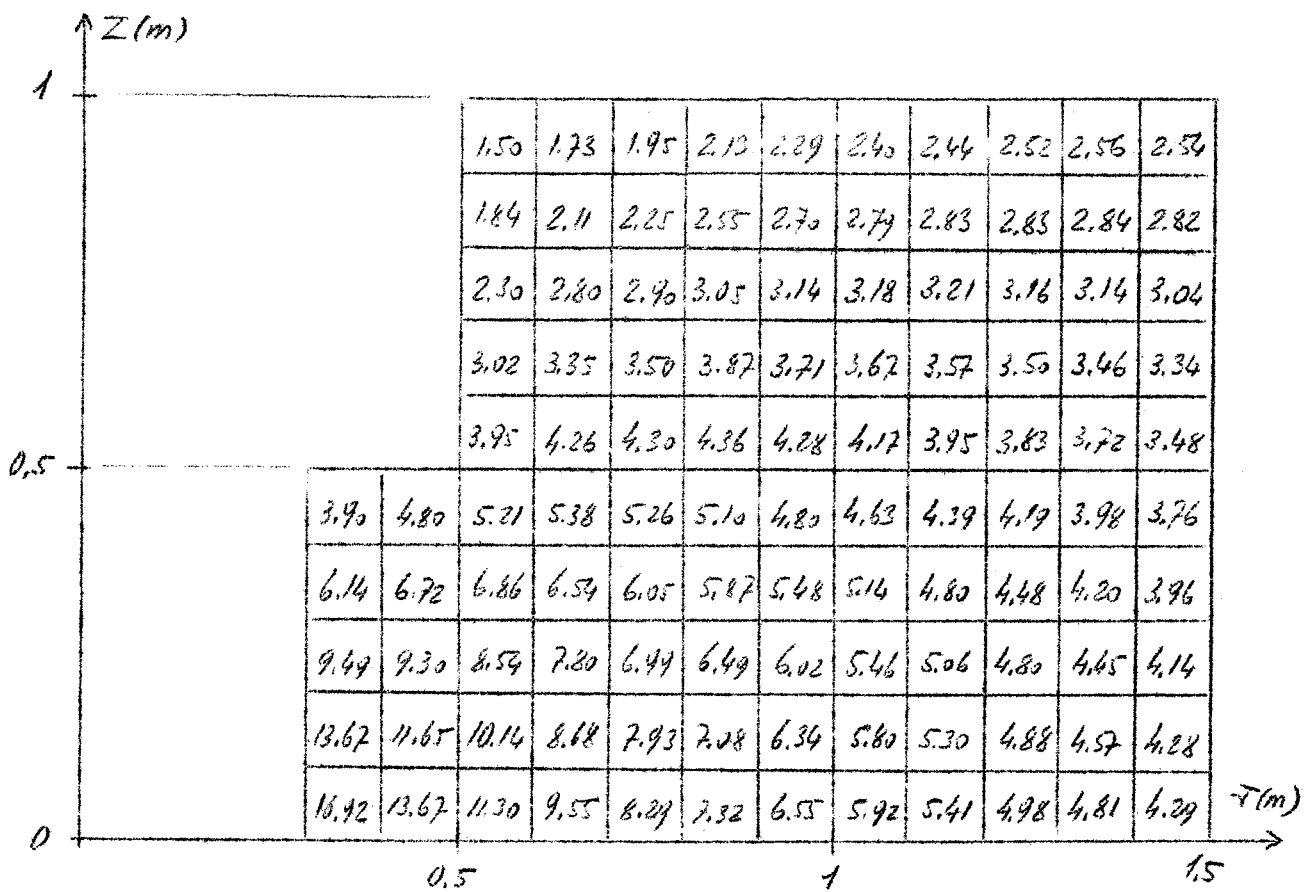


FIG. 1 - Il numero nel quadratino è il valore dell'induzione in gauss nel punto O, causato dalla bobinetta avente per sezione il quadratino, percorsa dalla corrente di 1 KA (la bobinetta è costituita da una sola spira). (scala 1 : 10)

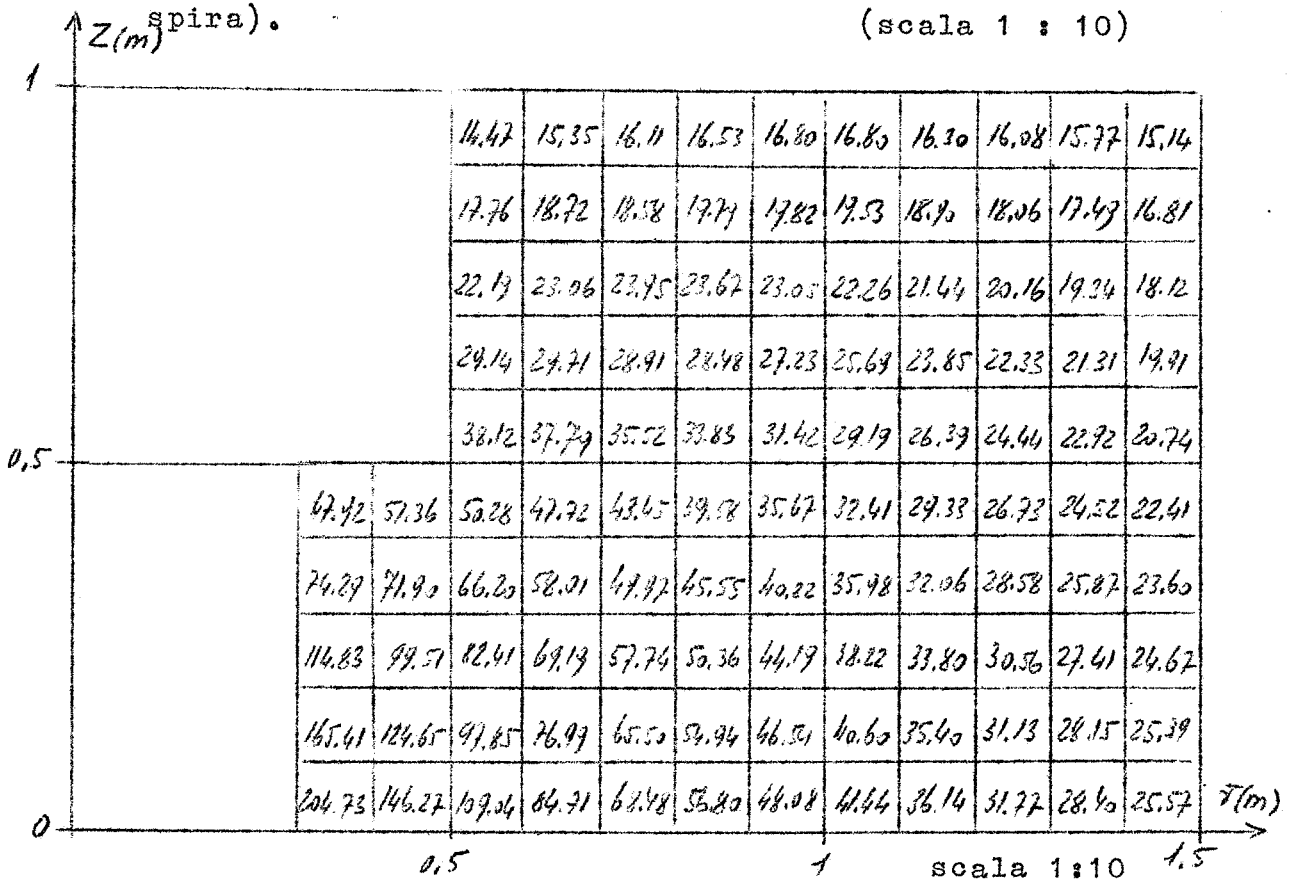


FIG. 2 - Il numero nel quadratino è il valore dell'induzione (in gauss) nel punto O, causata dalla bobinetta di sezione uguale a quella del quadratino ($S_{tot} = 10^{-2} m^2$; sezione rame $S_{cu} = 0.7 \times 10^{-2} m^2$), in cui si dissipa la potenza di 1 KW (assunto $\rho_{50^\circ} = (1,2/55) 10^{-6} ohm m$).-

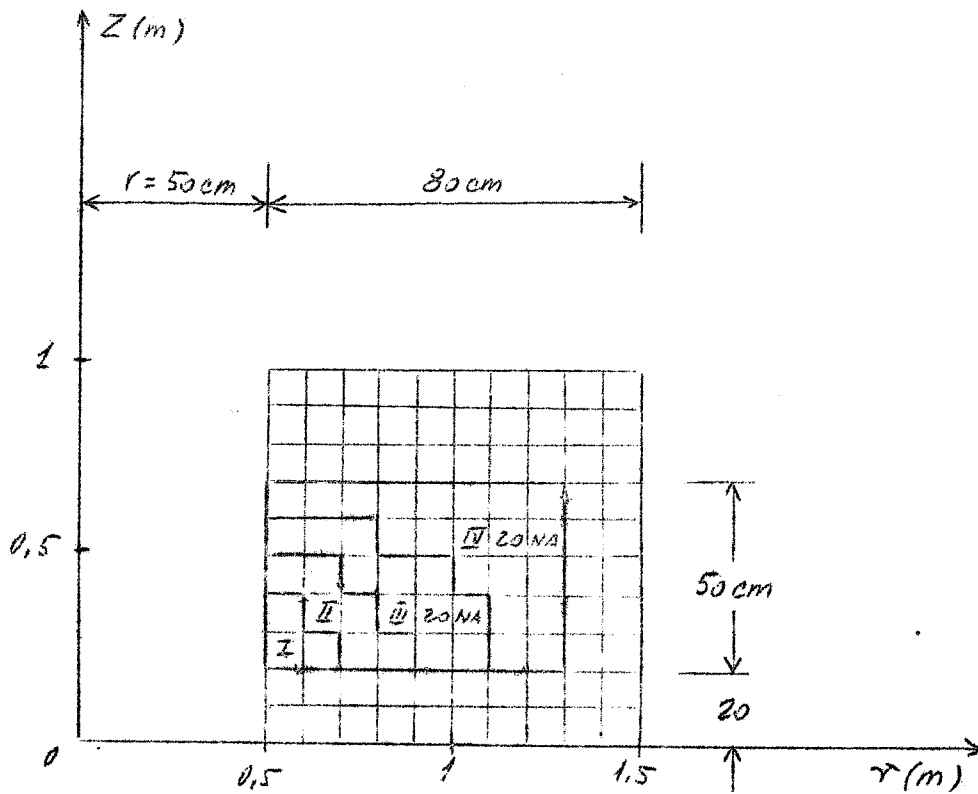


FIG. 3

Rapporti 'ottimi' tra le potenze da dissipare nelle varie zone per ottenere il max campo nel punto 0 a parità di potenza totale.

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha &= \frac{P_I}{P_{II}} = 1 \\ \beta &= \frac{P_I + P_{II}}{P_{III}} = 1.7 \\ \gamma &= \frac{P_I + P_{II} + P_{III}}{P_{IV}} = 3 \end{aligned} \right.$$

P_I = potenza dissipata nella I^a zona

P_{II} = potenza dissipata nella II^a zona ecc.

Con questi rapporti in ciascuna bobinetta si dissipano le seguenti potenze:

nella bobinetta della I ^a zona	P_1
" " " II "	$P_2 = 0.5 P_1$
" " " III "	$P_3 = 0.32 P_1$
" " " IV "	$P_4 = 0.16 P_1$

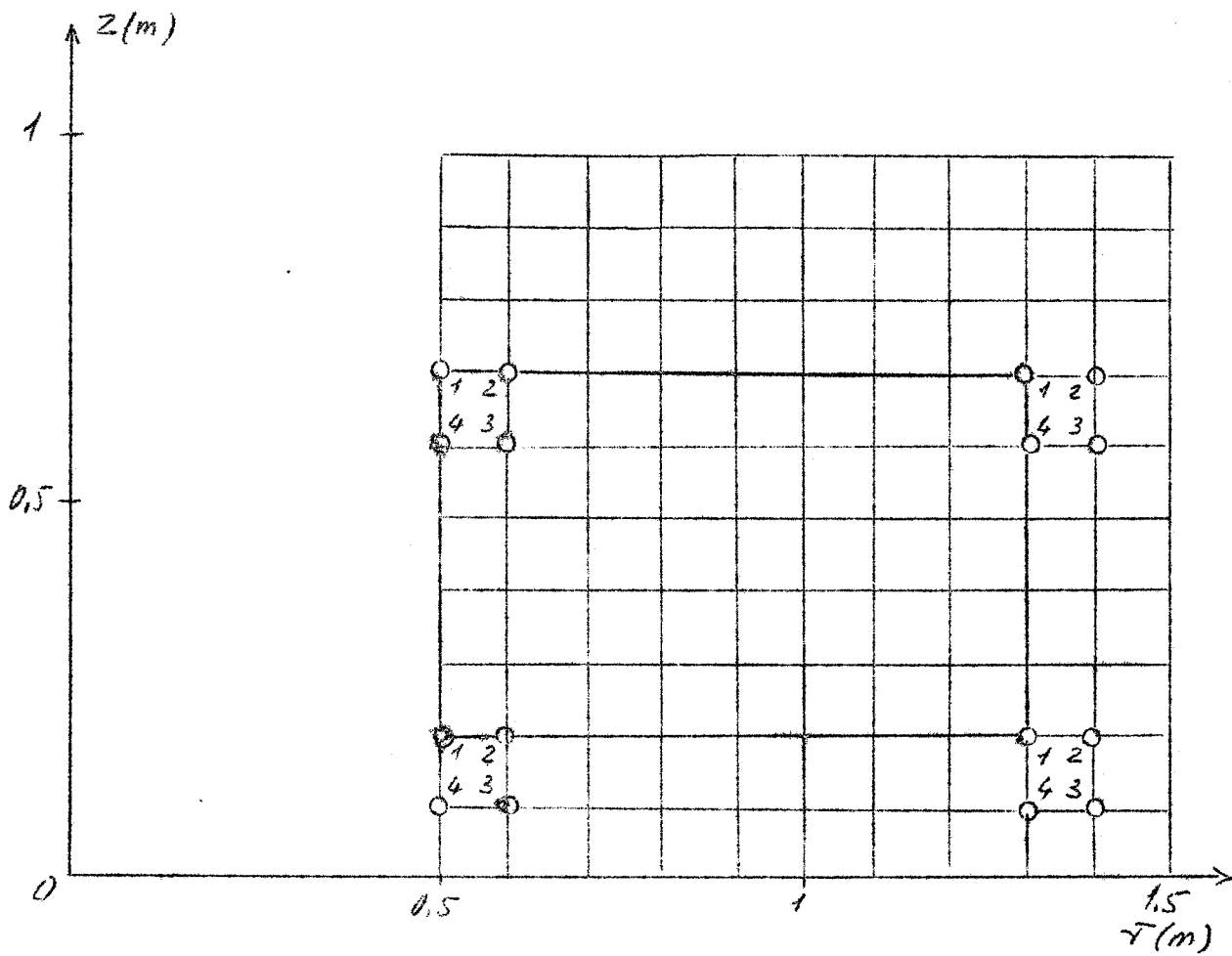


FIG. 4 -- INDUZIONI OTTENIBILI NEL PUNTO O
SPOSTANDO LA BOBINA

- Bobina avente i vertici nei punti 1 induzione B_1
- Bobina avente i vertici nei punti 2 induzione $B_2 = 0.906 B_1$
- Bobina avente i vertici nei punti 3 induzione $B_3 = 1.02 B_1$
- Bobina avente i vertici nei punti 4 induzione $B_4 = 1.15 B_1$

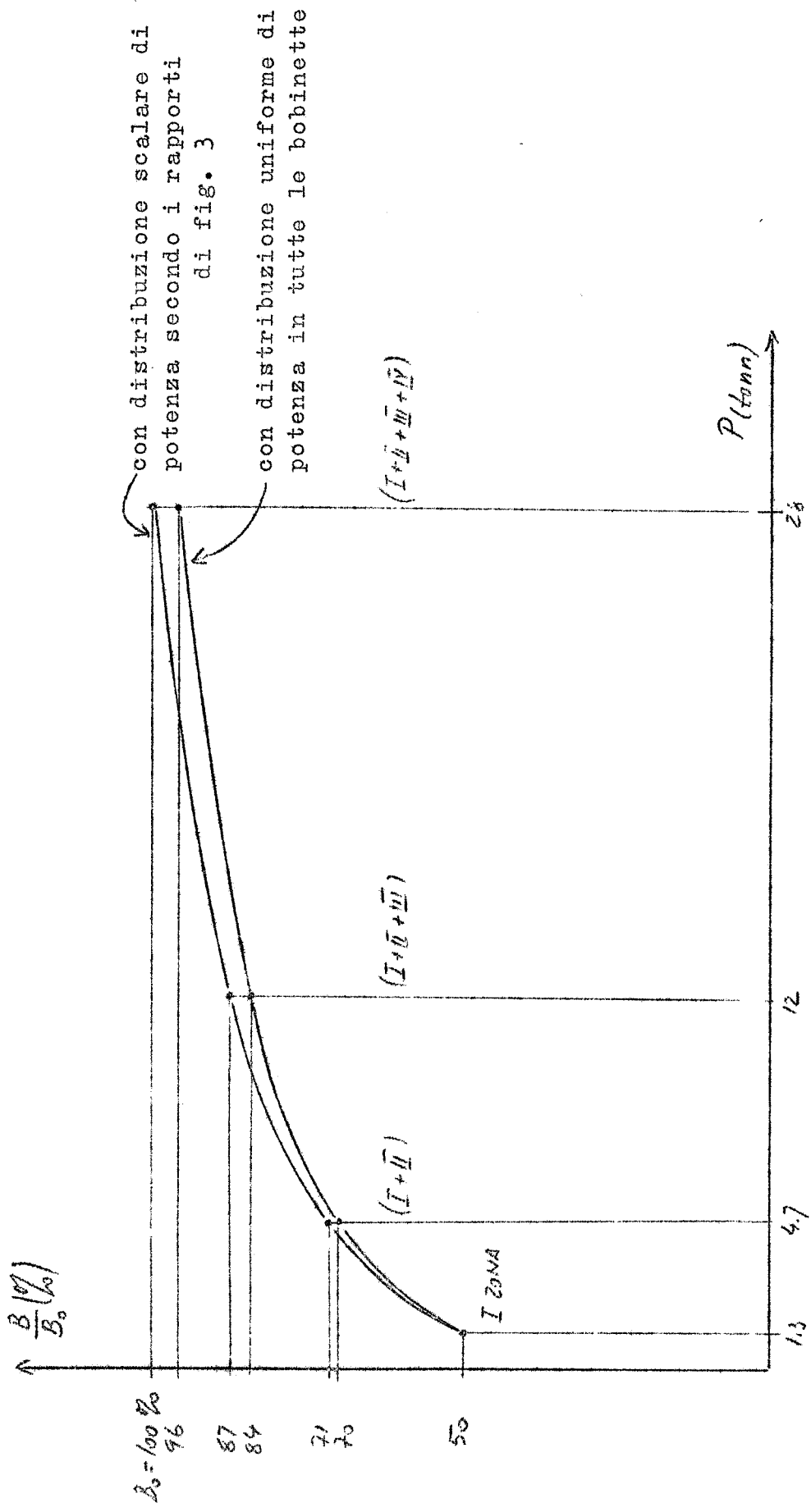


FIG. 5

B_0 = induzione ottenibile con bobine formate da 4 zone e
 distribuzione scalare di potenza
 P = peso del rame di entrambe le bobine del magnete (quella che compare in fig.3 e la sua simmetrica).

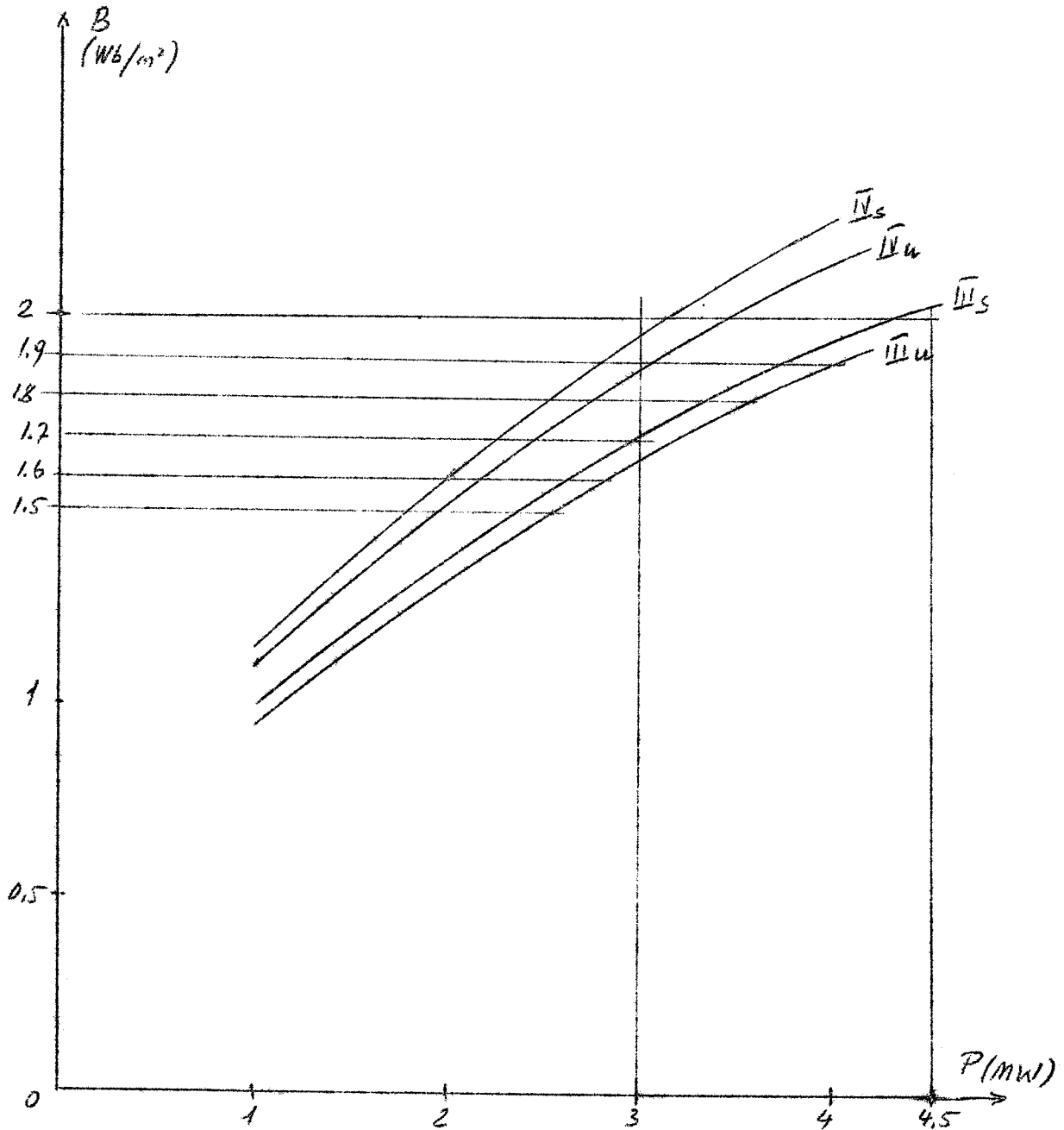


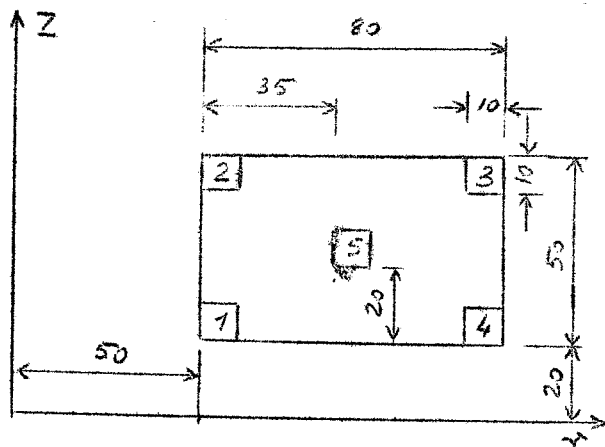
FIG. 6

III_u = curva $B = f(P)$ di un magnete formato da 2 bobine aventi ciascuna per sezione le zone I+II+III (v. fig.3) con distribuzione uniforme di potenza su tutta la sezione.

III_s = idem come sopra ma con distribuzione 'scalare' di potenza secondo i rapporti di fig. 3

IV_u = curva $B = f(P)$ di un magnete formato da 2 bobine aventi ciascuna per sezione le zone I+II+III+IV (v. fig.3) con distribuzione uniforme di potenza su tutta la sezione.

IV_s = idem come sopra ma con distribuzione 'scalare' di potenza secondo i rapporti di fig. 3.-



scala 1 : 20
misure in cm

FIG. 7

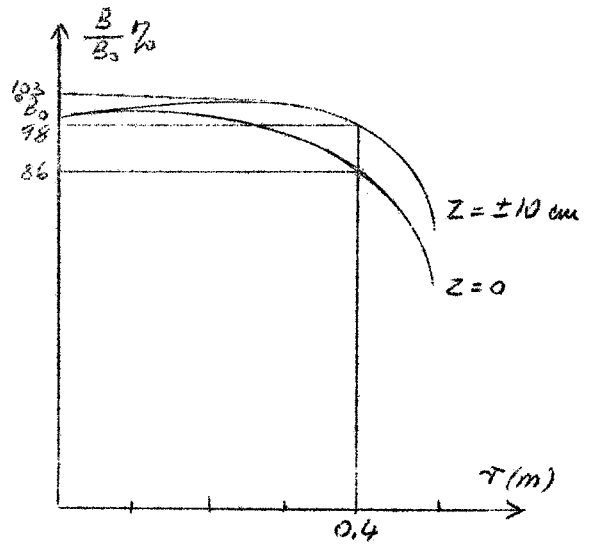


FIG. 8 - Andamento del campo sul piano mediano (ed a quota ± 10 cm) causato dalla bobinetta (v. fig. 7) di posizione 1 e dalla sua simmetrica rispetto al piano mediano.

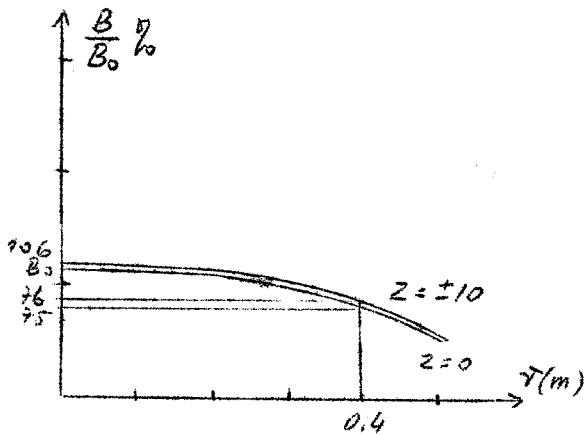


FIG. 9 - Idem come fig. 8 ma per la bobinetta di posizione 2.

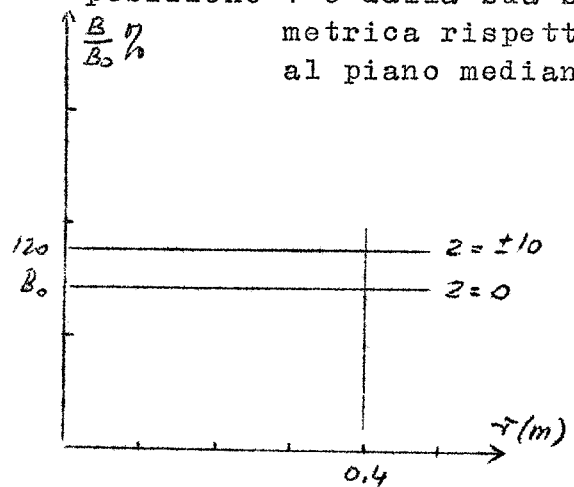


FIG. 10 - Idem come fig. 8 ma per la bobinetta di posizione 3

Nota - L'altezza delle ordinate di ogni diagramma è proporzionale, secondo un rapporto costante per le fig. 8, 9 e 10, al campo provocato dalla bobinetta cui si riferisce il diagramma stesso. Le bobinette sono considerate percorse da uguale corrente.

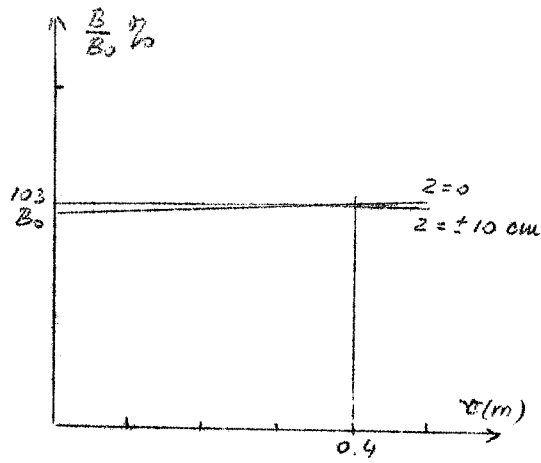


FIG. 11 - Idem come fig. 8 ma per la bobinetta di posizione 4.-

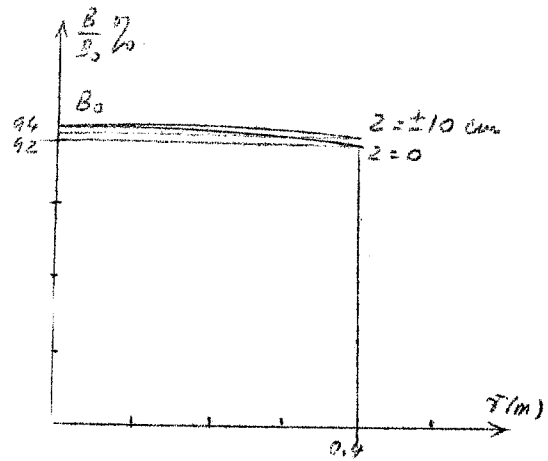


FIG. 12 - Idem come fig. 8 ma per la bobinetta di posizione 5.-

Nota - L'altezza delle ordinate di ogni diagramma è proporzionale, secondo un rapporto costante per le fig. 11 e 12, al campo provocato dalla bobinetta cui si riferisce il diagramma stesso. Le bobinette sono considerate percorse da uguale corrente.-

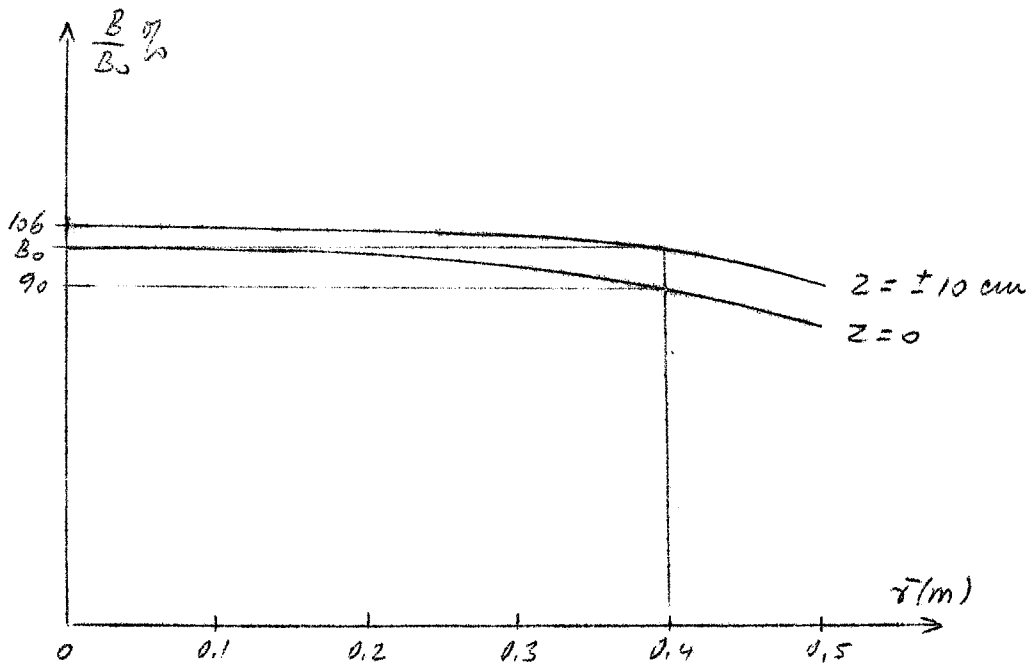


FIG. 13 - Diagramma del campo ottenuto sommando i contributi delle 5 bobinette di fig. 7 (e delle loro simetriche) con corrente uguale in ciascuna di esse.-

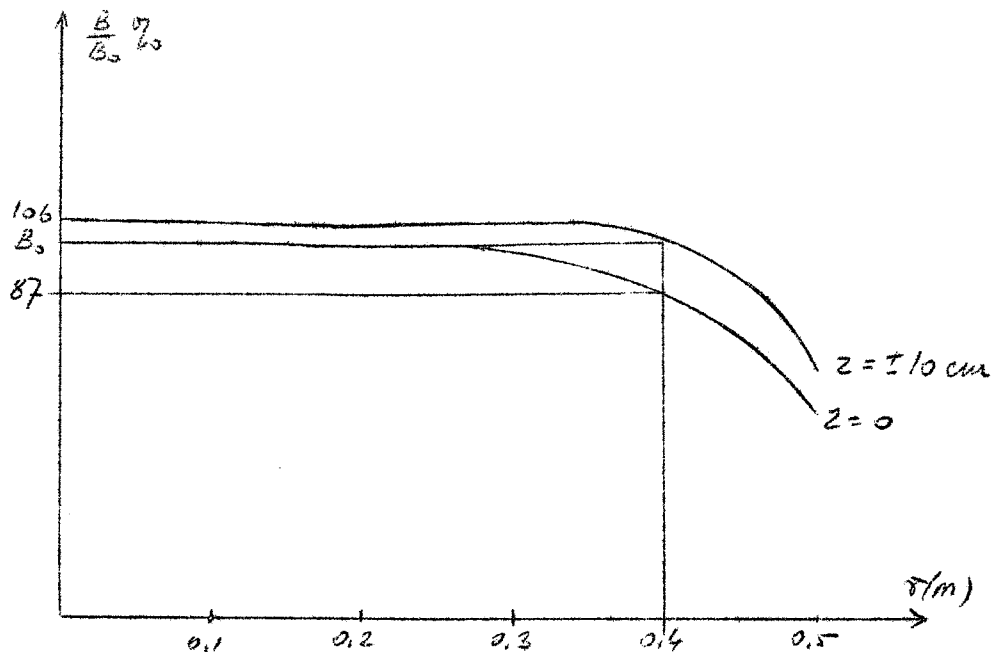


FIG. 14 - Come fig. 13 ma tenendo conto della effettiva corrente circolante in ciascuna bobinetta in base ai rapporti di potenza di fig. 3

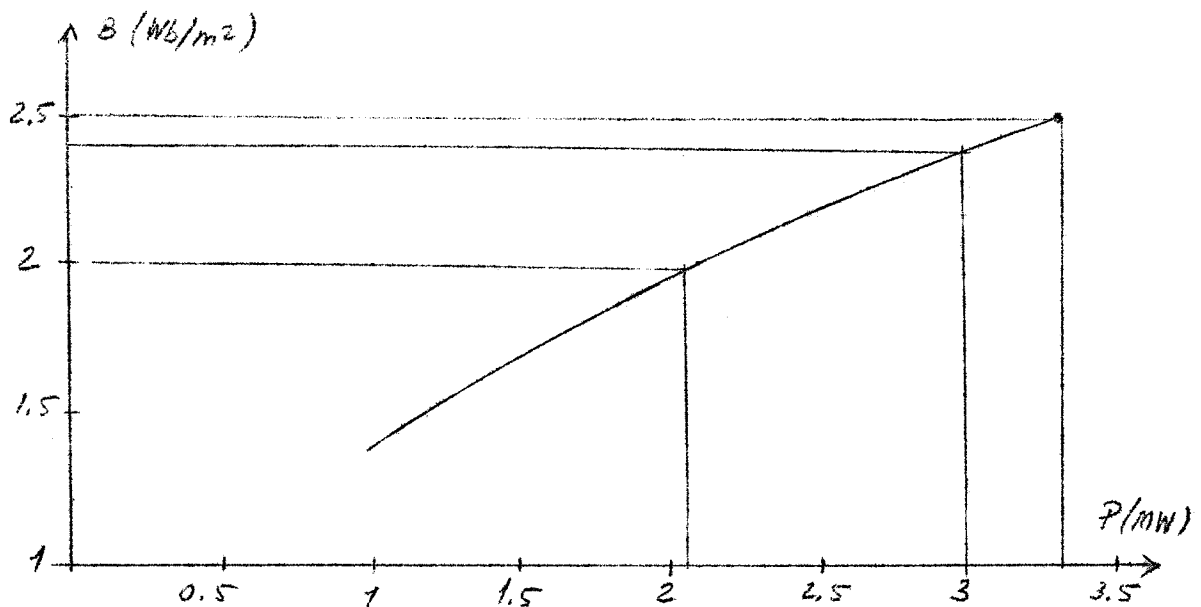


FIG. 16 - Curva $B = f(P)$ per il magnete con ferro e rame; la distribuzione di potenza nelle 3 'zone' avviene secondo i rapporti $\alpha = 0.75$ e $\beta = 1.35$. Si è trascurata la caduta nel ferro.

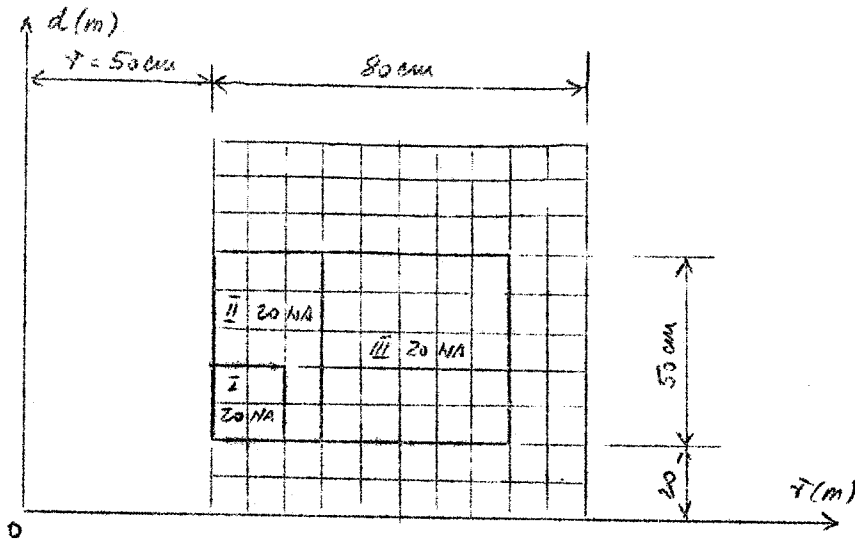


FIG. 15

Rapporti 'ottimi' tra le potenze da dissipare nelle varie zone per ottenere il max campo nel punto 0 a parità di potenza totale

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{P_I}{P_{II}} = 0.75 \\ \beta = \frac{P_I + P_{II}}{P_{III}} = 1.35 \end{array} \right.$$

P_I = potenza dissipata nella I^a zona

P_{II} = potenza dissipata nella II^a zona ecc.

Con questi rapporti in ciascuna bobinetta si dissipano le seguenti potenze:

nelle bobinette della I^a zona P_1

nelle bobinette della II^a zona $P_2 = 0.49 P_1$

nelle bobinette della III^a zona $P_3 = 0.27 P_1$

Con i rapporti tra le potenze $\alpha = 2$ e $\beta = 3$, in ciascuna bobinetta si dissipano le seguenti potenze:

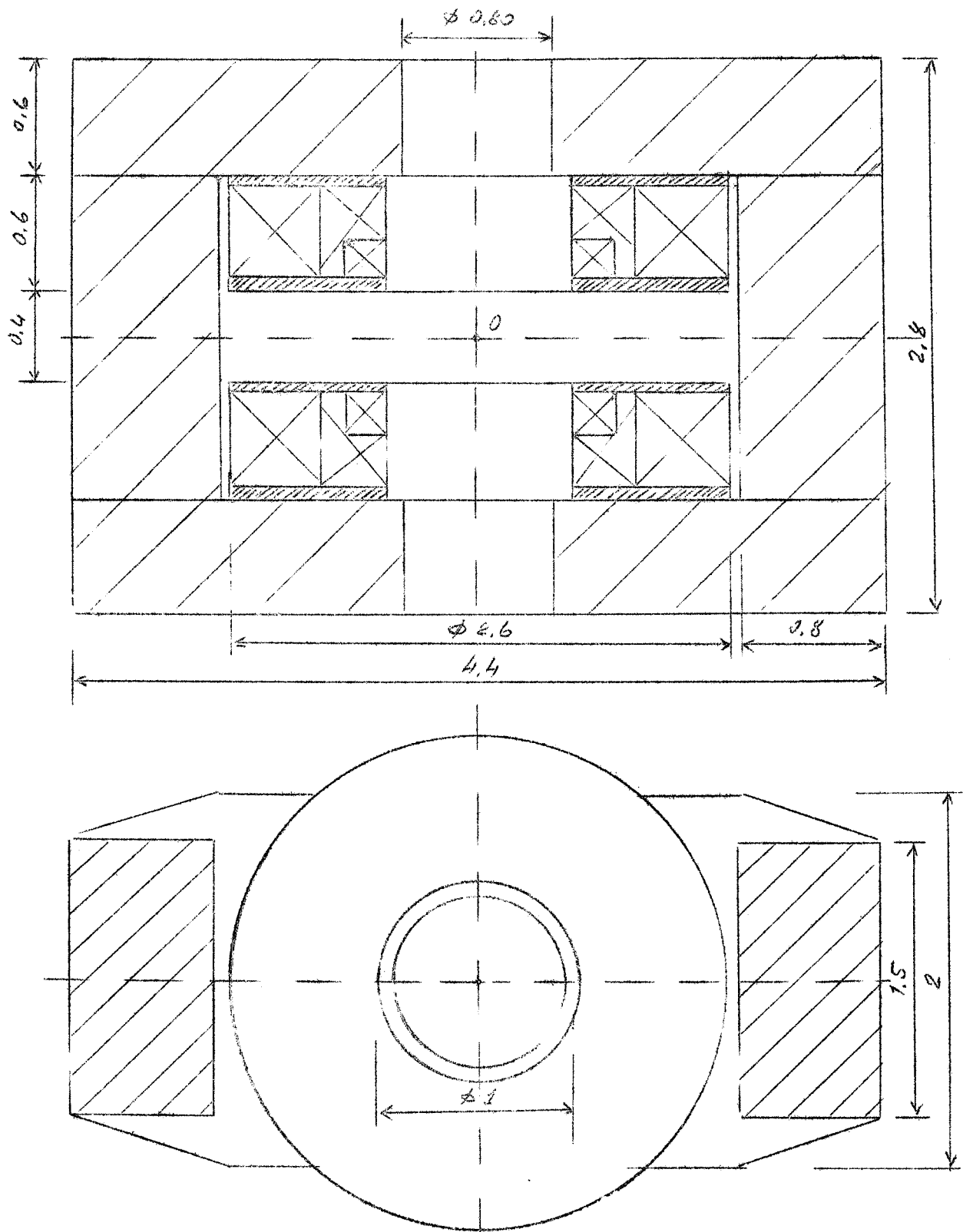
nelle bobinette della I^a zona P_1

nelle bobinette della II^a zona $P_2 = 0.18 P_1$

nelle bobinette della III^a zona $P_3 = 0.08 P_1$

Con i rapporti $\alpha = 2$ e $\beta = 3$ l'induzione rimane pressochè uguale a quella ottenibile con i rapporti

$\alpha = 0,75$ e $\beta = 1,35$ (v. pag. 6) ed il peso del ferro diminuisce del 20%.



(misure in metri)

FIG. 17 - MAGNETE CON FERRO.-

Bobine con distribuzione di potenza tra le 3 'zone' secondo i rapporti

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0.75 \\ \beta = 1.35 \end{array} \right.$$