

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-59/28 (3. 9. 59)

C. Bernardini, P. G. Sona, A. Turrin: CRITERIO DI ORDINAMENTO
DEI BLOCCHI DEL SINCROTRONE.

COMITATO NAZIONALE PER LE RICERCHE NUCLEARI
Laboratori Nazionali di Frascati

Nota interna: n° 15
3 Settembre 1959

C. Bernardini, P.G. Sona, A. Turrin: CRITERIO DI ORDINAMENTO DEI BLOCCHI DEL SINCROTRONE.

I). I dati sperimentali sui parametri magnetici da considerare per un corretto criterio di ordinamento.

Il campo magnetico del Sincrotrone di Frascati sarà creato da un totale di 64 blocchi di lamierini. Questi pacchi di lamierini si dividono in due categorie: pacchi destri (D) e sinistri (S), geometricamente speculari tra loro. Ciò per ragioni di fissaggio meccanico sul basamento, per le quali è necessario nella costruzione dei quadranti magnetici che i pacchi S e D si alternino lungo l'azimuth. Di questi 64 blocchi, 8 sono affacciati alle sezioni diritte (blocchi di testata TS e TD), e sono blocchi geometricamente diversi dai S e D.

E' stata data la prescrizione di ordinamento dei 56 blocchi che non sono di testata in base alle misure dei parametri magnetici più importanti, fatte su ogni singolo blocco, scegliendo su 58 blocchi costruiti dalla Ditta Ansaldo - San Giorgio e sottoposti a misure magnetiche dal Gruppo Misure Magnetiche della Sezione Acceleratore (29 blocchi S e 29 blocchi D).

I parametri magnetici da considerare per prescrivere un conveniente ordinamento dei blocchi sono in ordine

di importanza:

- I) valor massimo del campo B_z (9260 gauss nominali)
- II) valore del campo B_z all'iniezione (23 gs nominali)
- III) valori del campo B_z a ~ 1500 gs.

Il capo primo è il più importante in quanto non sono previste correzioni azimutali di B_z quando esso è 10.000 gs.

Segue il capo II in quanto a bassi campi le correnti di Foucault e l'isteresi magnetica del ferro inducono grossi scarti di B_z dal valore nominale in ogni singolo blocco.

Non sono compresi nella lista i parametri magnetici: superficie mediana (luogo dei punti in cui $B_r = 0$) ed indice del campo n in tutti gli istanti del ciclo in quanto:

- a) misure magnetiche fatte a suo tempo sul metro campione in c.c. assicurano che in ogni singolo blocco la superficie mediana si discosta dal piano geometrico mediano non più di ± 1 mm.
- b) misure magnetiche fatte sui singoli blocchi assicurano che a campi medi ed alti l'indice del campo assume entro la zona utile scostamenti dal valore nominale 0.61 largamente compatibili agli effetti della distorsione calcolata per le orbite; a bassi campi, andamenti e valori di n molto diversi dal valore costante 0.61 possono essere efficacemente corretti con speciali accorgimenti già studiati e provati.

L'attenzione va fissata pertanto solo sui capi I, II e III. Ogni blocco (contraddistinto da un numero d'ordine) è descritto agli effetti del suo comportamento magnetico di cui ai capi I, II e III da quattro schede litograficamente uguali che contengono rispettivamente

- i) la misura in c.c. del campo massimo a 10050 ± 60 gs nominali
- ii) la misura in c.c. del campo medio a 1566 ± 12 gs nominali
- iii) la misura in c.c. del campo residuo di 11.6 gs creato da un campo di 9260 gauss nominali
- iiii) la misura del campo alternato a 23 gauss con $\dot{B}=0.25$ gs/ μ sec.

Le misure iii) ed iiii) determinano il parametro II; la ii) il III, la i) il I. Ogni scheda contiene lo scarto percentuale (mediato su 12×8 cm²) del parametro calcolato, misurato rispetto al pacco 3 (D) scelto come campione, e che pertanto assume convenzionalmente scarto nullo dal valore nominale di ogni parametro. Tutte le misure menzionate sono affette da una incertezza quadratica media di $\sim \pm 1\%$.

Nell'istogramma di fig. 1 è riportato il numero dei blocchi di dato scarto dal campo massimo rispetto al pacco campione.

Nell'istogramma di fig. 2 è riportato il numero dei blocchi di dato scarto dal campo d'iniezione rispetto al pacco campione.

I numeri all'interno delle caselle ed a fianco delle sbarre sono i numeri d'ordine che contraddistinguono i pacchi.

Gli scarti del campo d'iniezione sono dedotti dai dati iii) ed iiii) nel modo che segue: si suppone che gli effetti del campo residuo e delle correnti parassite si sovrappongano linearmente per dar luogo agli scarti dal campo d'iniezione. Se si denota con ΔB_{res} lo scarto assoluto dal campo residuo, fornito dalla misura iii) e con ΔB_{par} lo scarto assoluto dal campo di iniezione dovuto alle sole correnti parassite, lo scarto totale dal campo di iniezione in eccitazione completa

sara:

$$\Delta B'_{iniez} = \Delta B_{res} + \Delta B_{par}$$

La misura *iiii*) è fatta misurando gli scarti dai 23 gs del blocco campione durante una successione di cicli sinusoidali di ampiezza massima ~ 900 gs. Questa misura contiene però anche lo scarto del campo residuo che si ottiene da un campo massimo di 900 gs, che è praticamente la metà del campo residuo che si ottiene da un campo massimo di 9260 gs (misura *iii*), avente però verso opposto.

Si ha quindi:

$$\Delta B_{par} = \Delta B_{alt} - (\Delta B)'_{res}$$

essendo $(\Delta B)'_{res}$ lo scarto del campo residuo creato da un campo alternato di 900 gauss; poichè risulta

$$(\Delta B)'_{res} = -\frac{1}{2} \Delta B_{res}$$

si ha:

$$\Delta B'_{iniez} \approx \Delta B_{res} + 0,4 \left(\Delta B_{alt} + \frac{1}{2} \Delta B_{res} \right)$$

In essa il fattore 0.4 tiene conto del fatto che si è fissata una spiralizzazione di 0.4 cm per il Sincrotrone, mentre la misura in alternata vien fatta con un \dot{B} che corrisponderebbe alla spiralizzazione di 1 cm.

Se si suppone ancora che gli scarti percentuali del campo residuo siano gli stessi sia operando su un campo massimo di 900 gs sia operando su un campo massimo di 9260 gs segue

$$\left(\frac{\Delta B}{B} \right)'_{iniez} \approx 0,4 \left(\frac{\Delta B}{B} \right)_{alt} + 0,6 \left(\frac{\Delta B}{B} \right)_{res}$$

essendo:

$$B_{res} \approx 11,6 \text{ gauss}$$

$$B_{alt} \approx 23 \text{ gauss}$$

Mediante tale combinazione lineare è stato fatto il grafico dell'istogramma 2.

Le misure del campo B_z a ~ 1500 gs non influiscono affatto sull'ordinamento dei blocchi in quanto gli scarti sono ampiamente contenuti entro l'incertezza delle misure. Pertanto non si riporta nemmeno l'istogramma di questa serie di misure.

II). Il criterio d'ordinamento seguito.

Per disporre correttamente lungo l'azimuth 28 blocchi D e 28 blocchi S scegliendo su 29 blocchi D e 29 blocchi S in modo da compensare gli scarti dei parametri I° e II°, si è compiuto un primo provvisorio appaiamento D-S in modo da far risultare minimo lo scarto somma dal campo massimo medio per ogni singola coppia DS. Dall'istogramma 1, cioè, si sono formate coppie DS cominciando con l'accoppiare il pacco di coda 27 (S) col pacco di coda 18 (D), il 57 (S) col 3 (D) e così via.

Si è poi calcolato dall'istogramma 2 lo scarto somma dal campo d'iniezione medio per ognuna delle 29 coppie ottenute. In base allo scarto somma dal campo all'iniezione sono stati scartati i due pacchi in più di quelli occorrenti (uno destro e uno sinistro), e precisamente nel modo seguente: sono state rilevate le due coppie che avevano il massimo scarto dal campo all'iniezione, e in ognuna di esse è stato individuato il pacco maggiormente responsabile dello scarto. Sono stati così scartati i pacchi 39 (S) ed 11 (D).

Si è poi compiuto un nuovo appaiamento (provvisorio) DS in modo da far risultare minimo lo scarto somma dal campo massimo medio, questa volta con l'esclusione dei pacchi 39 (S) e 11 (D). Si è ricalcolato con questo nuovo appaiamento lo scarto di ogni singola coppia all'iniezione. Sono state scelte tra queste coppie quelle che presentavano gli scarti massimi dal campo all'iniezione. Tra queste coppie sono stati intercambiati pacchi in modo da abbassa

re sensibilmente lo scarto dal campo all'iniezione senza alzare sensibilmente quello dal campo massimo. Così, ad esempio, si sono trasformate le coppie 59(S) - 40(D) e 49(S) - 32(D) nelle 59(S) - 32(D) e 49(S) - 40(D).

Il procedimento di tali scambi è continuato fin quando si è riusciti a restringere il più possibile la distribuzione degli scarti all'iniezione senza allargare sensibilmente quella degli scarti a campo massimo.

Gli appaiamenti risultati sono stati quindi considerati definitivi. Con ciò, senza alterare la distribuzione optimum degli scarti dal campo massimo si è potuto iniziare l'appaiamento delle coppie (formazione di quadruple) onde rendere minimi gli scarti somma dal campo all'iniezione per ogni quadrupla, partendo da una distribuzione già convenientemente stretta. Ciò si è fatto al solito modo cioè appaiando successivamente le coppie che presentavano scarti opposti rispetto al campo d'iniezione medio, cominciando dalle code della distribuzione.

Tale metodo lo chiamiamo a).

Un altro criterio (b) di appaiamento delle coppie è stato suggerito da G. Dianbrini, ed è il seguente: nel piano $(\Delta B/B)_{res}$ vs. $(\Delta B/B)_{alt}$ (fig. 3) ^{ogni coppia} (contrassegnata da una lettera maiuscola) è rappresentata da un punto. Il criterio consiste nell'appaiare le coppie che si trovano in posizioni quanto più possibile diametralmente opposte al baricentro di questa rosa di tiro.

Il confronto tra il metodo a) e il metodo b) (cioè il confronto tra gli istogrammi risultanti per il campo massimo e per il campo all'iniezione) ha fatto preferire leggermente il metodo a), che pertanto è stato adottato.

Una volta formate le quadruple, il criterio del loro ordinamento lungo l'azimuth è stato il seguente:

✕) le quadruple vanno ordinate in modo che gli scarti somma dal campo massimo si alternino per quanto pos-

sibile in segno lungo l'azimuth.

β) Le due quadruple che scartano di più rispetto il campo massimo vanno sistemate a cavallo di due sezioni diritte opposte.

γ) Le altre quadruple vanno sistemate in modo che quanto più scartano dal campo massimo, tanto più vicino alla fine dei quadranti esse siano localizzate.

III). Calcolo di massima dell'orbita chiusa a campo massimo ed all'iniezione dopo la disposizione dei blocchi.

I campi massimo e quello all'iniezione dopo la disposizione prescritta dei blocchi sono rappresentati rispettivamente nelle figure 4a e 5a. In tali grafici:

I) ogni gradino rappresenta il campo di una quadrupla, ottenuto sommando i ΔB_i dei quattro blocchi che la compongono;

II) sono ignorati i blocchi di testata;

III) è assunto nullo lo scarto dal valor medio del campo delle due quadruple che si trovano a cavallo di due sezioni diritte opposte;

IV) l'azimuth del centro di ogni quadratura e l'estensione azimutale di ogni quadrupla differiscono dalla disposizione effettiva di quantità $\approx \frac{1}{2}$ estensione azimutale di un blocco.

Il calcolo dell'orbita chiusa è stato fatto assumendo l'ipotesi che l'orbita chiusa sia poco differente da quella del corrispondente sincrotrone circolare ($R=360\text{cm}$, $n=0,61$ $L=0$) in vista delle correzioni che si potranno fare sul campo dei blocchi di testata.

È stata adottata l'approssimazione impulsiva per computare l'effetto di ogni singola quadrupla sulle traiettorie (valor medio del campo di ogni quadrupla \times estensione azimutale della quadrupla considerato concentrato tutto al centro della quadrupla).

I valori nominali dei $\Delta B_1/B_0$ di cui alle figg. 4a e 5a danno luogo ad orbite chiuse di cui alle figg. 4b e 5b, cioè gli scostamenti massimi dell'orbite chiuse sono ± 1.3 mm e ± 4.1 mm rispettivamente per i campi massimo ed all'iniezione.

Si noti l'andamento di I^a armonica dell'orbita chiusa all'iniezione, per cui è prevista la correzione mediante gli speciali avvolgimenti.

Poichè gli errori di misura sul campo di ogni singolo blocco sono quadraticamente in media dell'ordine di $\pm 1^0/_{00}$, è da riservare quadraticamente in media all'orbita chiusa tanto a campo massimo quanto all'iniezione uno scostamento massimo di ± 1.6 mm da sommare a quelli di cui alle figure 4b e 5b.

La disposizione finale dei blocchi lungo i quadranti magnetici è completamente illustrata nel disegno I 10 del Lab. di Frascati dell'I.N.F.N.

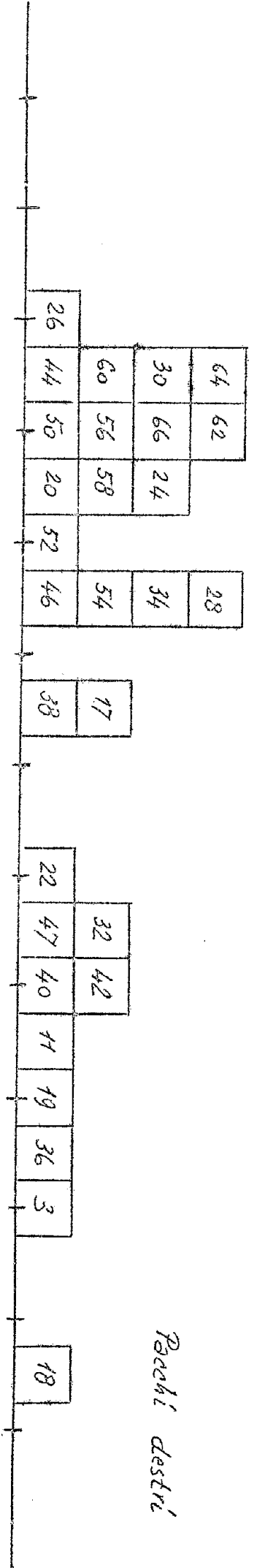
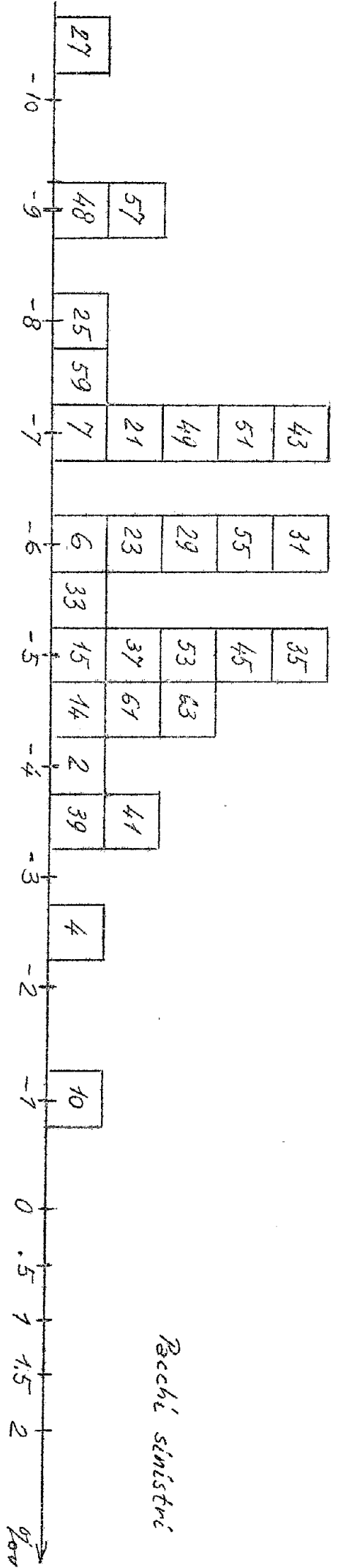
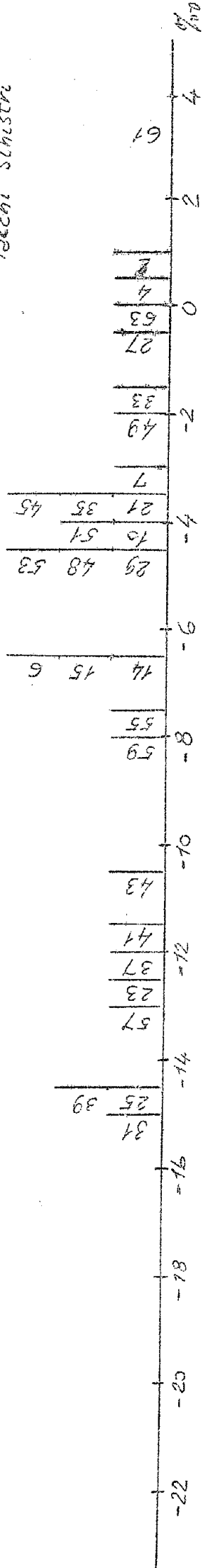


Fig. 1 - ISTOGRAMMA DELLO SCARTO SUL CAMPO MASSIMO
EDIZIONE DEFINITIVA - 22.8.1957.

Pacchi sinistri



Pacchi destri

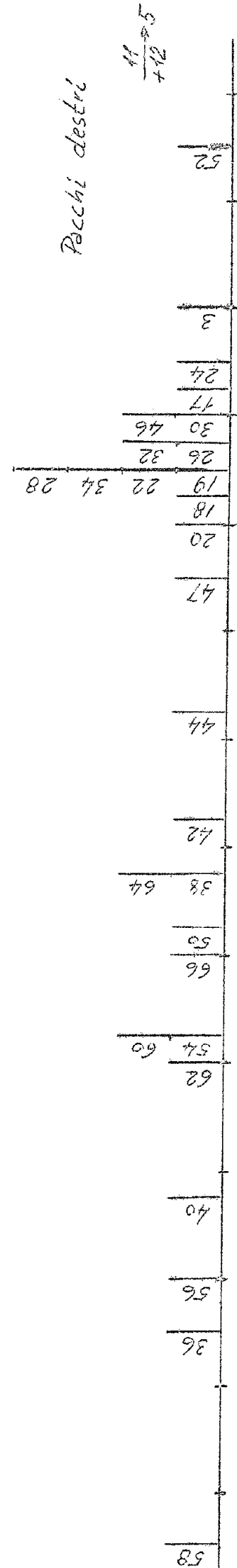


Fig. 2 - ISTOGRAMMA DELLO SCARTO DEL CAMPO ALL'INIEZIONE

Edizione definitiva - 22.8.1957.

Δ (campo d'iniezione) = 0.4 Δ (campo alternato) + 0.6 Δ (campo residuo)
dove Δ è lo scarto percentuale.

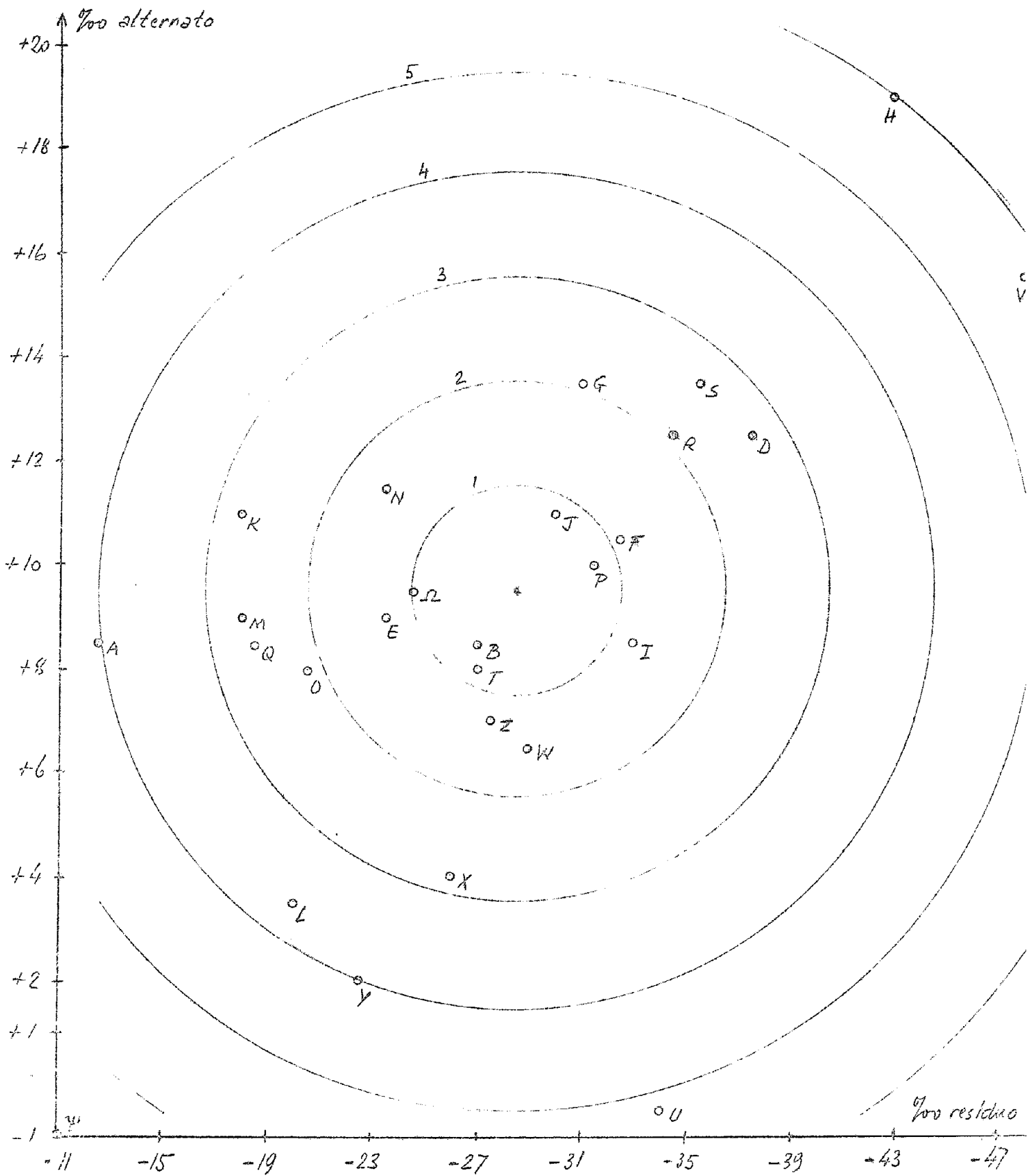


Fig. 3

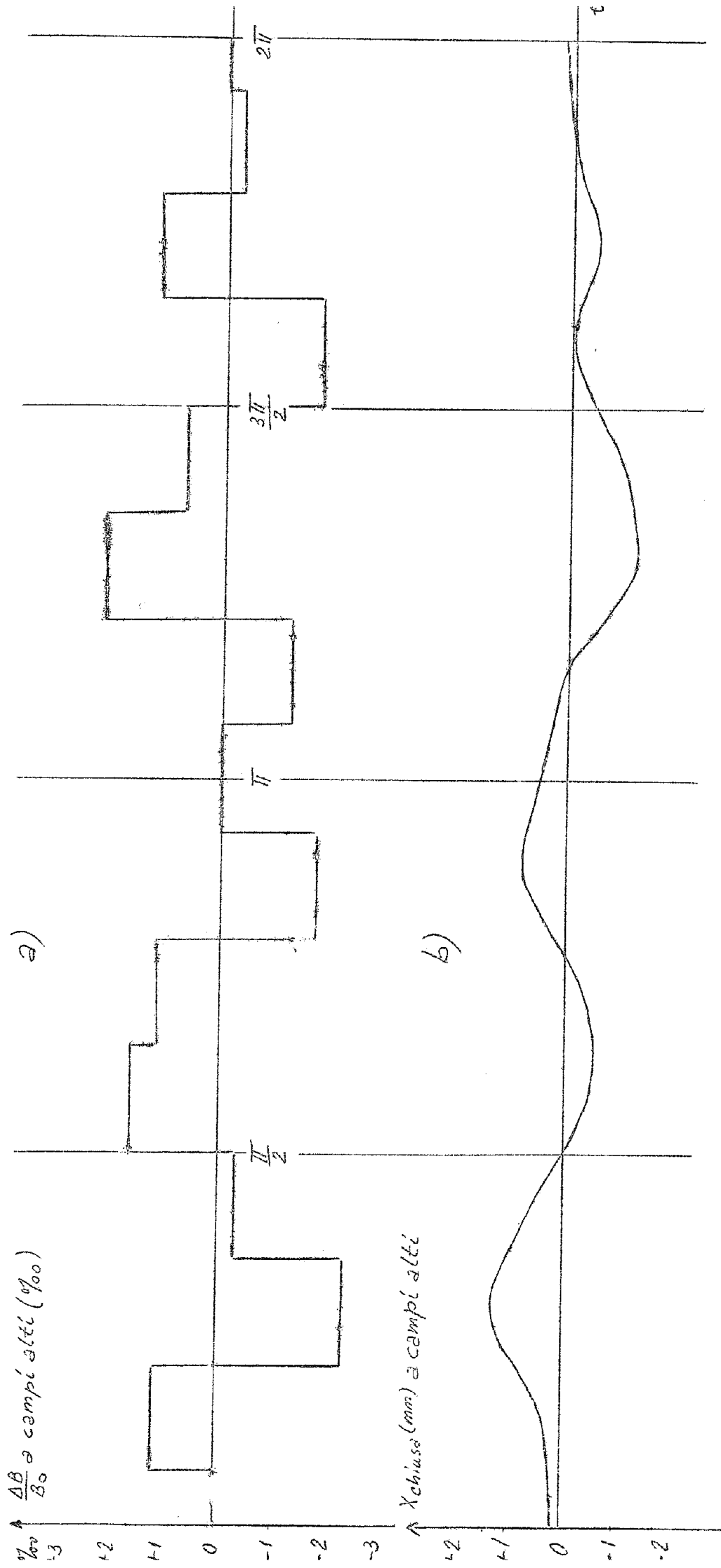


Fig. 4

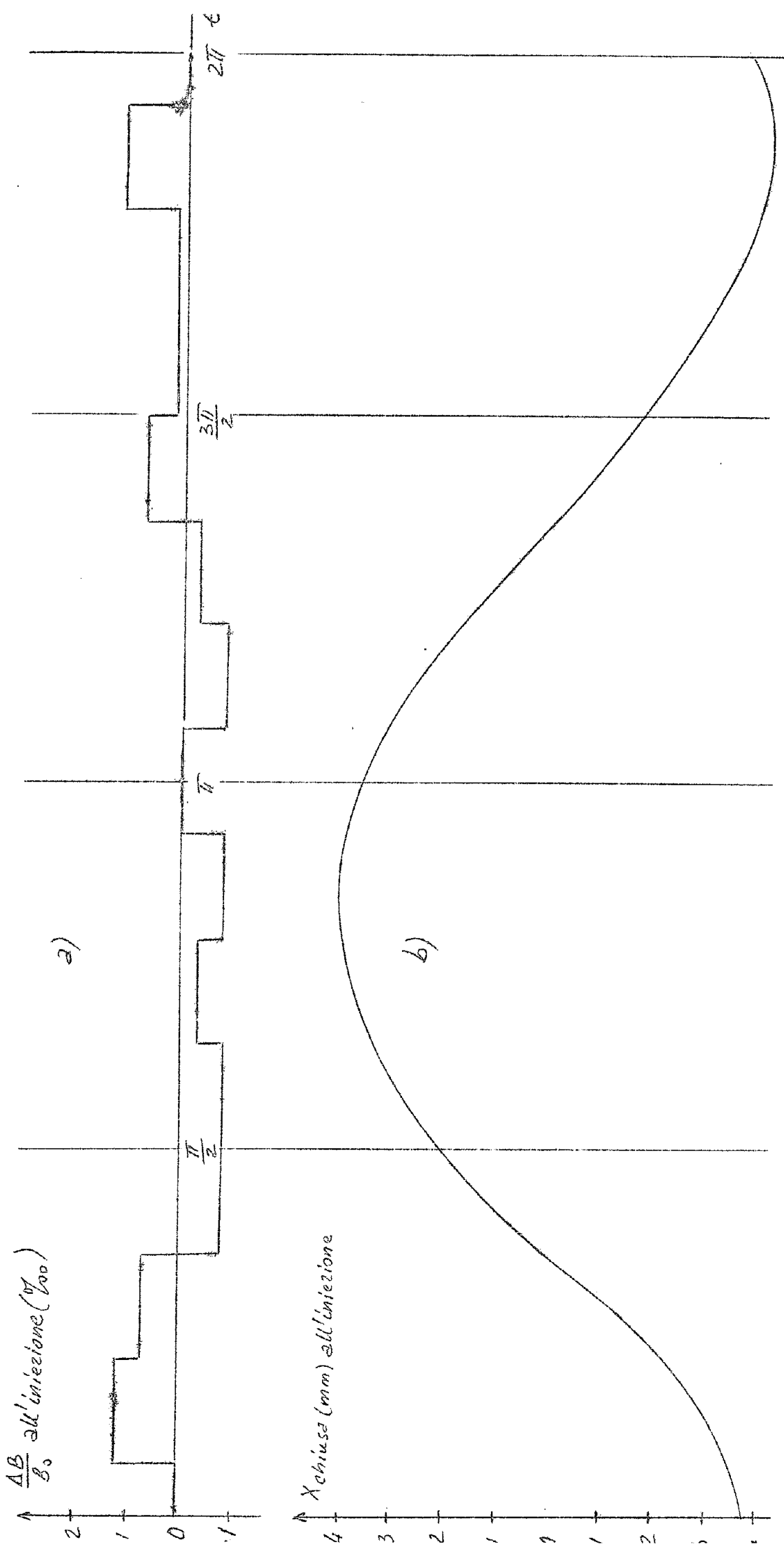


Fig. 5