

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-58/8 (7. 5. 58)

A. Alberigi, C. Bernardini: SCHEMA DELLE OPERAZIONI DI RICERCA
DEL FASCIO A BASSA ENERGIA.

Nota interna: n°2
7 Maggio 1958

A. Alberigi Quaranta, C. Bernardini: SCHEMA DELLE OPERAZIONI
DI RICERCA DEL FASCIO A BASSA ENERGIA.

Questa relazione sulla ricerca del fascio ha il solo scopo di informare le persone che si dedicheranno a questa ricerca sul tipo di operazioni che dovranno essere seguite, senza alcuna pretesa di costituire un programma strettamente obbligato. Essa va considerata come un pro-memoria.

La parte bibliografica è stata omessa perchè già contenuta nella precedente relazione T30; dalla stesura della T30 ad oggi si sono avute sostanzialmente solo le seguenti informazioni supplementari:

G. Salvini - Appunti Rochester 1957

J.T. Lavrischoff - Measurements of beam current in the
vatron by induced voltages

Berkeloy, Rad. Lab. UCRL 8033 - 1957

Per permettere a ciascuno di annotare le proprie considerazioni nel corso della lettura, sono stati intercalati in punti opportuni dei fogli bianchi, lungo la relazione.

Inoltre alla fine della relazione si trova un'appendice con formule e tabelle di uso comune.

Un punto estremamente importante è quello delle abbreviazioni, che, da questa relazione, verranno automaticamente trasferite ai quaderni di bordo. E' necessario impararli una volta per tutte per poter usare durante la ricerca un linguaggio unificato immediatamente accessibile a tutti.

Abbreviazioni

Nel testo che segue si useranno le seguenti abbreviazioni:

c.m.	campo magnetico
f	fascio
d	deflettore
B	bandierina
BP	bandierina piena
BT	bandierina trasparente
B ₃	bandierina con tre fori
I	sezione diritta dell'iniettore
L	sezione diritta libera
R _f	sezione diritta RF ₁
R _F	sezione diritta RF ₂
Q	quadrante (QE quadr. Est, QO q. ovest, etc.)
ER	elettrodo raccoglitore che ha sezione uguale a quella della ciambella
Er	Piccolo elettrodo raccoglitore mobile radialmente
EI	elettrodo a induzione
C	chopper
CC'	indica le operazioni da eseguire con e senza chopper
T	testata
T1E	è la testata d'ingresso del QE, etc.
T2E	è la testata d'uscita del QE, etc.

Il tubo che raccorda il deflettore e la tank dell'iniettore viene chiamato per brevità raccordo ID.

La numerazione delle bandierine è fatta, per ogni quadrante, seguendo la successione incontrata dal fascio. Le abbreviazioni risultano più chiare tenendo sott'occhio la I figura allegata, che rappresenta la disposizione dei rilevatori lungo il magnete rettificato e nel raccordo ID.

La numerazione delle sonde alloggiato nelle sezioni diritte è quella della piantina.

Le operazioni descritte sono elencate con una sigla convenzionale che indica sommariamente il tipo di ciascuna:

0/C - controllo del chopper

0/d - controllo della geometria del deflettore

1/E/ER - contraggio del fascio uscente dal deflettore

1/d/C - controllo del sistema chopper + deflettore

2/B/C - prima analisi del fascio nel quadrante

Rest.

2/T/B/C - comportamento del fascio tra T2E o T1N

3/B/C - traccia del fascio nei vari Q

3/n/B/C - Misura di n con bandierino

4/d/Er/C - Fascio di ritorno sul deflettore

4/ER/CC' - Misura dei tempi di sopravvivenza

5/ER/EI - Ricerca dell'istante d'accensione di RF₁

O/C - Controllo del funzionamento del chopper

Il chopper dovrebbe funzionare consentendo l'ingresso del f nel d per un tempo $t \leq 0,1 \mu\text{sec}$. Se I è la corrente iniettata, la carica raccolta da un ER situato dopo il diaframma è It e l'ampiezza massima dell'impulso di tensione risulta

$$V = \frac{It}{C}$$

dove C è la capacità di ER.

Per $I = 100 \text{ mA}$, $t = 0.05 \mu\text{sec}$, $C = 100 \text{ pF}$

$$V = 50 \text{ volt.}$$

Il numero di elettroni iniettati è

$$N = \frac{It}{e} = 6.25 \times 10^{18} I_A t_{\text{sec}}$$

Per $I = 100 \text{ mA}$, $t = 0.05 \mu\text{sec}$; si ha

$$N \approx 3 \times 10^{10}$$

Operazioni da effettuare

- a) Si varia la durata di funzionamento del chopper e si determina la variazione di ampiezza del segnale su ER.
- b) Si tara l'EI in base alla tabella di cui in a)
- c) Si determina, se possibile, la durata degli impulsi in EI ed ER.

O/d - Controllo dei movimenti del deflettore.

Si stabilisce la corrispondenza tra le posizioni del d e gli indici sulle scale dei servomotori - il rapporto tra spostamento del d e spostamento sulla scala è 1,3. -

Particolare cura va dedicata allo studio della riproducibilità della posizione in cui l'asse del d è parallelo all'asse della ciambella.

(*) Per asse del d s'intende la tangente al d alla bocca d'uscita (d'ingresso del sincrotrone)

1/B/ER - Contraggio del fascio uscente dal deflettore.

Si tratta di determinare le condizioni in cui il fascio attraversa il deflettore perdendo il minor numero di elettroni sulle pareti di osso.

Per questo si effettua un primo contraggio grossolano con la bandierina BP/I/1 (iniettando senza usare il chopper). Successivamente si sostituisce BP/I/1 con Er/I/1 o si cerca di stabilire l'intervallo di tensioni del d per il quale Er/I/1 raccoglie la massima quantità di carica.

Probabilmente sarà utile anche determinare la durata (la forma) dell'impulso su Er/I/1 per garantirsi della distribuzione uniforme delle cariche uscenti nell'intervallo utile di durata dell'impulso (che sarà determinato in seguito). Il segnale di tensione $V(t)$ su Er/I/1 dovrebbe crescere in modo approssimativamente lineare in funzione del tempo

$$V(t) = \frac{It}{C} \quad 0 < t < \tau$$

dove I è la corrente iniettata, τ è la durata dell'iniezione e C la capacità di Er/I/1. Per $I = 100 \text{ mA}$ e $C = 50 \text{ pF}$.

$$\frac{V}{t} = 2000 \text{ volt}/\mu \text{ sec}$$

Queste operazioni di contraggio vanno ripetute per varie posizioni del deflettore nella donut, per stabilire se il c.m. disperso nel volume del d influenza apprezzabilmente l'ottica del f iniettato. Bisognerà aver cura che per ogni posizione del d il f entrante in osso abbia sempre lo stesso caratteristico.

Riassumendo, le operazioni da fare sono:

- a) primo contraggio con BP/I/1
- b) contraggio 'fino' con Er/I/1
- c) analisi della forma dell'impulso su Er/I/1
- d) tabella che dà l'intervallo di tensioni di lavoro del d in funzione della sua posizione.

La determinazione della carica uscente dal d, di cui al l'operazione b), va confrontata con una determinazione della carica entrante nel d effettuata con l'ER posto prima del d. Questo confronto dà la misura della trasmissione del d.

1/d/C - Controllo del sistema chopper + deflettore.

Si ripetono sostanzialmente le operazioni indicate in 1/B/Er. In più si effettua la seguente operazione:

Il chopper consente al f proveniente dall'iniettore di imboccare il d a vari tempi, in modo da effettuare un 'sampling' della corrente iniettata, lungo tutta la durata dell'impulso.

Questa operazione dovrebbe fornire una informazione (differenziale) da combinare con l'operazione c) di 1/B/Er; essa dovrebbe essere sufficiente per decidere se il chopper funziona regolarmente ed inoltre dovrebbe completare l'analisi della corrente iniettata.

Gli impulsi sull'Er/I/1 per 100 mA uscenti dal d dovrebbero avere un picco di + 100 volt (chopper agente per 0.05 μ sec).

2/B/C - Prima analisi del f nel QE.

Abbreviazioni utili : $t_0(r)$ indica l'istante in cui il raggio dell'orbita di equilibrio passa per il valore r . Se $t_0(R)$ è l'istante (preso come riferimento) corrispondente al raggio dell'asse della ciambella, $t_0(r) = t_0(R+x)$ sarà dato da

$$t_0(r) = t_0(R+x) = t_0(R) - \frac{x}{\sigma} T_r$$

dove σ è la spiralizzazione e T_r è il periodo di rivoluzione degli elettroni all'iniezione; per $\sigma = 0,5$ cm

$$\Delta t_0 = t_0(R+x) - t_0(R) = 0,2 x \begin{cases} \Delta t_0 \text{ in } \mu\text{sec} \\ x \text{ in cm.} \end{cases}$$

Le operazioni da effettuare sono le seguenti: si aggiu- sta il timing in modo da iniettare al tempo $t_0(r)$ con il chop per in funzione; $t_0(R)$ deve essere valutato in base a misure di campo; conseguentemente sarà affetto dagli errori che provengono da queste misure e da un eventuale variazione dell'energia di iniezione degli elettroni:

α) l'errore che si commette nella determinazione di $t_0(R)$ sovrastimando di ΔB il campo d'iniezione (sull'orbita principale) è (per $\sigma = 0.5$ cm)

$$\Delta t_0 = - \frac{\Delta B}{B} = 70 \Delta B \text{ } \mu\text{sec}$$

con ΔB in centesimi di Gs

β) l'errore che si commette nella determinazione di $t_0(R)$ se l'energia degli elettroni iniettati è inferiore, di ΔW , a 2 MeV è

$$\Delta t_0 = - \frac{R}{(1-n)} - \frac{\Delta W}{W} T_r = - 70 \Delta W_{(K \text{ volt})} \text{ } \mu\text{sec}$$

Per quello che interessa basta che

$$\Delta B < \frac{2}{100} \text{ Gs}$$

$$\Delta W < 2 \text{ Kvolt.}$$

perchè la stima di $t_0(R)$ sia ragionevole.

Se $t_0(R)$ ha un errore Δt_0 , la corrispondente distanza tra l'asse del deflettore e l'orbita d'equilibrio è di

$$\Delta r = \bar{c} \frac{\Delta t_0}{T_r} = 5 \Delta t_0 \text{ cm, } (\Delta t_0 \text{ in } \mu\text{sec})$$

per $\bar{c} = 0,5 \text{ cm.}$

Una volta fissato il corretto timing corrispondente a ciascuna posizione del deflettore, si inietta con il chopper al tempo $t_0(r)$ e si segue la traccia del f lungo il QE osservandolo sulle bandierine BP/QE/1, BT/QE/2, BT/QE/3, BT/QE/4, BT/QE/5.

La macchia della bandierina BP/QE/1 sarà probabilmente diffusa perchè, essendo questa bandierina molto vicina alla bocca del deflettore, potranno arrivare su di essa elettroni di energia più bassa dalle pareti del d stesso. Converrà riconoscere eventualmente la parte dovuta a questi elettroni spuri producendoli di proposito con una alterazione delle tensioni e quindi del fuoco del d.

Le dimensioni della sezione del f aumentano lungo il QE sino a raggiungere una superficie di $3,5 \times 3,5 \text{ cm}^2$ sulla BP/QE/5, almeno se lo spread angolare è di $\pm 3/1000 \text{ rad.}$

Si tratta di riconoscere, entro i limiti di questo metodo di osservazione, se i centri delle macchie luminose sono ragionevolmente allineati lungo tutto il quadrante. Un esempio di quello che si dovrebbe vedere in queste condizioni è dato dalla figura II allegata (v. in fondo) che rappresenta l'andamento del f nei vari quadranti per iniezione a $t_0(R)$. Naturalmente la figura rappresenta una situazione ideale e, in questo senso, rappresenta anche le minime dimensioni del f che si pos

sono ottenere con uno spread in uscita di $\pm 3/1000$ rad. Per ottenere il caso d'iniezione^{in r} al tempo $t_0(r)$ basta spostare la figura parallelamente insieme con il d.

Riassumendo, le operazioni da fare sono:

- a) preparare il timing in base alle misure di campo
- b) controllare l'allineamento delle macchie sulle B

Se l'allineamento non si ottenesse, possibili cause d'errore sarebbero:

- 1) timing non corretto
- 2) energia d'iniezione non corretta
- 3) asse del deflettore non parallelo alle orbite di equilibrio (eventualmente a causa di effetti di lente magnetica in ingresso del QE).

Se effettivamente lo spread angolare fosse di $\pm 3/1000$ rad, sarebbe particolarmente opportuno diaframmare il fascio quanto più possibile in prossimità del d. Per questo scopo si può eventualmente disporre in luogo di BT/QE/2 un B_3 , con tre fori distanziati radialmente (+ 5, 0, - 5 cm. p.es., compatibilmente con la posizione fine corsa del d) del diametro di $1/2$ cm.

Infine, iniettando con il chopper a vari $t_0(r)$ si possono fare confronti tra la carica raccolta da ER/L e quella raccolta da ER/I/1, purchè la corrente iniettata sia abbastanza stabile (misure di trasmissione attraverso QE).

2/T/C/B - Comportamento del f tra T2E o T1N.

Il successo dell'operazione di aggiustamento dei campi alle testate T2E e T1N dipende in modo sostanziale dal successo delle operazioni a) e b) descritte in 2/B/C e dalla possibilità di avere un f sottile alla fine del QE.

In queste condizioni di buon funzionamento del QE si può disporre di BP/QE/5, B_3/L e BP/QN/2 per effettuare le seguenti operazioni:

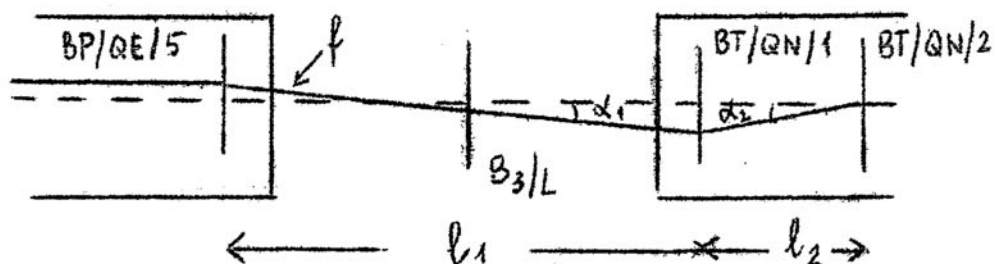
a) si rileva la quota radiale e verticale della macchia luminosa su BP/QE/5. In pratica si fissano queste quote in modo che il fascio punti verso un foro di B_3/L ;

b) si regolano i campi correttivi in T2E in modo che l'intensità di luce proveniente dai bordi del foro prescelto di B_3/L risulti minima;

c) si rileva la quota radiale e verticale della macchia luminosa su BP/QN/2. Si regolano i campi correttivi in T1N in modo da contrare il f nella posizione voluta in BP/QN/2.

Nonostante questi aggiustamenti, il f può ancora avere sensibili errori d'angolo in ingresso del QN. Infatti uno spostamento di un centimetro nella posizione corrispondente alla BT/QN/1 corrisponde ad un angolo in uscita 5×10^{-3} rad (v. figura) ed il successivo aggiustamento di T1N per riguadagnare la giusta quota in BP/QN/2 dà luogo ad un angolo in entrata pari ad

$$\alpha_2 = \frac{l_1}{l_2} \alpha_{1,1}$$



Poichè $l_1 \approx 1.80$, $l_2 \approx 1.20$, per $\alpha_1 \approx 5 \times 10^{-3}$ si ha $\alpha_2 \approx \frac{1}{100}$ rad.

Per ridurre questo inconveniente, dopo aver effettuato le operazioni a) b) e c) si effettua l'operazione seguente.

d) Cercando di tenere fissa la macchia in BP/QN/2 si regolano simultaneamente i campi correttivi in T1N e T2E in modo da allineare la macchia su BT/QN/1 con quelle su BP/QE/5, BP/QN/2 e con il foro di B₃/L.

Questa successione di operazioni è probabilmente più conveniente di altre perchè fatta su un tratto di traiettoria particolarmente lungo ($l_1 + l_2 \approx 3$ metri). Conviene eventualmente avere sulle B in questione dei traguardi con fluorescenza di diverso colore o non fluorescenti per facilitare le operazioni di centraggio; questi traguardi vanno disposti a 5, 0, - 5 cm, sul piano mediano, in corrispondenza dei fori di B₃L.

3/B/C - Traccia del f nei vari quadranti.

Si cerca di effettuare l'allineamento degli archi di orbita di equilibrio nei vari quadranti, nonché l'aggiustamento delle testate.

Si ripetono sostanzialmente le operazioni descritte in 2/B/C e 2/B/C/T per ogni quadrante consecutivamente. Se il campo magnetico sull'orbita principale differisce di δB tra due quadranti consecutivi, lo spostamento dell'orbita d'equilibrio è di

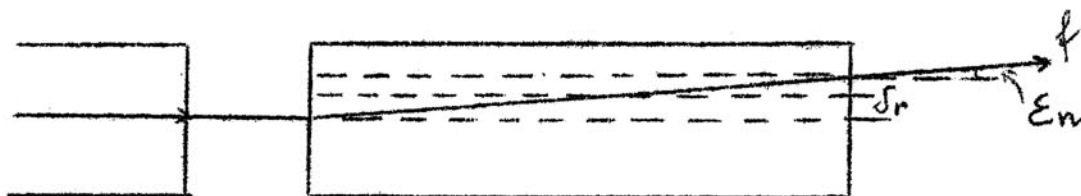
$$\delta r = \frac{R}{1 - n} \frac{\delta B}{B}$$

Essendo $B =$ campo d'iniezione ≈ 23 Gs, si ha

$$\delta r \approx 40 \delta B \quad \begin{array}{l} \delta r \text{ in cm} \\ \delta B \text{ in Gs} \end{array}$$

Inoltre, l'angolo delle traiettorie in uscita di un quadrante il cui campo sull'orbita principale differisce di B da quello precedente vale (v. fig.)

$$\epsilon_n = + 0,055 \delta B \quad \begin{array}{l} \epsilon_n \text{ in rad.} \\ \delta B \text{ in Gs} \end{array}$$



A titolo di esempio, uno spostamento δz del piano mediano provoca un'ampiezza di β -trone di δz ed un angolo in uscita di

$$\epsilon_n = + 2 \times 10^{-3} \delta z \quad \begin{array}{l} \delta z \text{ in cm} \\ \epsilon_n \text{ in rad} \end{array}$$

In queste operazioni bisognerà impiegare gli avvolgimenti correttivi polari per ricondurre il campo nel Q in esame a quello del Q di riferimento (QE, per ovvie ragioni, tra

cui, principale, il raccordo con l'iniettore); cioè in pratica per ottenere l'allineamento delle macchie sulle bandierine lungo il quadrante e, naturalmente l'allineamento di esse con quelle del Q precedente.

E' indispensabile il diaframma nel QE per limitare le dimensioni laterali del fascio. Tutte queste operazioni si intendono effettuate con il chopper.

Quando il f è centrato in un Q si procede alla misura di trasmissione con l'ER della sezione diritta che segue il Q.

Riassumendo, si devono effettuare le seguenti operazioni

- 1) Si rileva la posizione del f con le bandierine 3^a, 4^a e 5^a del Q in esame.

- 2) Si cerca di allineare le macchie luminose su tutt'e cinque le bandierine del Q agendo sugli avvolgimenti correttivi polari.

- 3) Si effettua l'aggiustamento delle testate successive al Q.

- 4) Si ripete l'operazione con un raggio diverso (consentito dal foro del diaframma).

- 5) Si effettuano misure di trasmissione ai vari raggi.

3/n/B/C - Misura di n con bandierine.

Supponendo che da ogni punto della bocca del d escano elettroni con uno spread angolare simmetrico attorno all'asse del d in un certo intervallo $\pm \alpha$ di angoli, il fascio raggiunge le sue minime dimensioni radiali a circa 75° dall'ingresso del Q0 e le minime dimensioni verticali a circa 10° dall'ingresso del Q0. Se il valore di n invece di essere 0.61 è $0.61 + \delta n$ questi punti di minime dimensioni (per brevità, immaginiamo) si spostano di

$$\begin{aligned}\delta s_{\text{orizz.}} &= + 3500 \delta n && \text{con } \delta s \text{ in cm} \\ \delta s_{\text{vert.}} &= - 2500 \delta n\end{aligned}$$

dove $\delta s_{\text{orizz.}}$ e $\delta s_{\text{vert.}}$ sono gli spostamenti azimutali delle immagini radiale e verticale rispettivamente.

Le distanze tra due bandierine consecutive sono dell'ordine di 1,5 metri, così che questo metodo può in linea di principio fornire una determinazione del valore di n (mediato su QE, QN e parte di Q0) con una precisione di $\sim \pm 5/100$ (cioè al 10%).

Si dispone il d con asse parallelo all'orbita principale (ma non è necessario che sia accuratamente parallelo) e si inietta a $t_0(r)$. Si rilevano le dimensioni delle macchie luminose sulle bandierine in prossimità dei punti indicati (75° dall'ingresso del Q0; 10° dall'ingresso del Q0).

Quanto più grosso è lo spread del fascio iniettato tanto maggiore è la possibilità di individuare accuratamente la posizione dell'immagine: infatti, uno spread di $\pm 3/1000$ di rad da luogo ad una macchia di dimensioni $\pm 0,6$ cm. ad un metro dall'immagine (supposta puntiforme). Poichè in realtà l'immagine avrà le dimensioni del f in uscita del d, cioè circa 1 cm (o meno), si può dire che riconoscere il raddoppiare delle dimensioni lineari del f (sempre per uno spread di $\pm 3/1000$ di rad) equivale a misurare una distanza di due metri. Ma questa distanza è proprio dell'ordine di quella tra due bandierine, quindi la misura di n a $\pm 5/100$ di n deve essere possibile in queste condizioni.

Anche se l'iniezione avviene al tempo $t_0(r) + \Delta t$ la situazione non cambia sostanzialmente: infatti le minime dimensioni si raggiungono ancora nelle stesse posizioni, salvo il fatto che la quota radiale delle macchie sarà inferiore a quella dell'asse del d di

$$\Delta r = 10 \Delta t \quad \begin{array}{l} \Delta r \text{ in cm} \\ \Delta t \text{ in } \mu\text{s} \end{array}$$

Analoghe considerazioni valgono per i movimenti verticali.

Riassumendo:

- a) si dispone il d con l'asse parallelo all'orb.princ. e si inietta a $t_0(r)$ (senza necessità di grande accuratezza);
- b) si rileva la posizione della macchia luminosa di minime dimensioni radiali e verticali rispettivamente (v. fig.II traccia f).

E' necessario avere un'idea grossolana della distribuzione degli elettroni nel f per poter correttamente interpretare questa misura di n. Quest'idea è probabilmente già implicita nelle operazioni precedenti 3/n/B/C.

A causa delle dimensioni del f, anche con l'uso del diaframma, il rilevamento dei fuochi delle osc. di β trono è praticamente impossibile.

4/d/Er/C - f di ritorno sul d.

Si misura con $Er/I/3$ qual'è la percentuale di carico del fascio che non riesce a superare il d nei giri successivi al primo.

Disponendo il d con l'asse parallelo all'orbita principale, si inietta a vari tempi a partire da $t_0(r)$ (dove r è il raggio corrispondente alla posizione scelta) in modo da immettere nella ciambella particelle con varie ampiezze di betatrone. L'ampiezza A del segnale su $Er/I/3$, sarà una funzione del ritardo Δt tra l'istante d'iniezione e $t_0(r)$.

Ci si deve aspettare che per $\Delta t \rightarrow 0$ il segnale in $Er/I/3$ sia particolarmente grande in quanto le piccole ampiezze di betatrone non hanno molte probabilità di sopravvivere. Viceversa l'iniezione di grandi ampiezze di betatrone può addirittura ritardare di tre giri la comparsa dell'impulso su $Er/I/3$, essendo le particelle con grande ampiezza in grado di scavalcare il d nel primo e secondo giro.

La forma di questi impulsi dà un'idea delle perdite causate dal d e può fornire informazioni sull'opportunità di variare il B; bisogna però badare al fatto che un giudizio completo sul rendimento d'iniezione richiede un'analisi della cattura da parte della RF, per la quale la situazione è rovesciata. Infatti nella cattura da parte della RF sono le grandi ampiezze di betatrone che vengono eliminate mentre le piccole sono accettate.

Se contemporaneamente a questa misura con $Er/I/3$ si esegue una misura della carica Q_4 raccolta da $Er/I/4$, (nella posizione interna estrema), si può controllare se la principale causa di perdite del f è il d: infatti, se tutte le cariche iniettate, Q_1 salvo quelle che ritornano sul deflettore, Q_3 , raggiungono la parete interna (cioè $Er/I/4$), dev'essere

$$Q_1 = Q_3 + Q_4$$

Se vi sono perdite in altri punti della macchina invece

$$Q_3 + Q_4 < Q_1$$

Q_4 è una funzione di Δt , cioè dell'ampiezza di betatrone (vedi sopra); in ogni caso il rapporto

$$\frac{Q_4(\Delta t)}{Q_1} = \rho(A)$$

misura il rendimento differenziale d'iniezione. Se questo metodo fornisce risultati soddisfacenti si può pensare di prelevare il segnale anche dagli EI che risultano così tarati con il f circolante.

Riassumendo:

a) Si dispone il d con asse parallelo all'orbita principale, p.es. a 7 cm. da essa.

b) Si misura la carica iniettata Q_1 con $E_r/I/1$.

Questa operazione si ripete periodicamente per controllare la stabilità della corrente iniettata.

c) Si toglie $E_r/I/1$ e si misura la carica raccolta da $E_r/I/3$, $E_r/I/4$ iniettando con diverse ampiezze di betatrone (cioè a tempi $\geq t_0(r)$).

d) Si prelevano i segnali dagli EI

4/Er/CC' - Misura dei tempi di sopravvivenza.

Si cerca di effettuare una misura del tempo impiegato da un fascio iniettato (con l'aiuto del chopper) a spiralizzare fino alla parete interna della ciambella.

Se la massima dimensione radiale del f è A, la distanza tra il d e l'Er/I/4 situato sulla parete interna della ciambella è ϱ , e l'iniezione avviene al tempo $t_0(r) + \Delta t$, allora il tempo impiegato dal f per raggiungere Er/I/4 è

$$\tau \approx \frac{2\varrho - A}{2\sigma} T_r - 2\Delta t$$

P.es., facendo $\varrho = 14.5$ cm, $\frac{A}{2} = 1.5$ cm, $\sigma = 0.5$ cm, $\Delta t = 0$ si ha

$$\tau \approx 26 T_r \approx 2.6 \mu\text{sec}$$

Errori (si suppone $\frac{A}{2} \ll \frac{\varrho}{2}$ e $\Delta t \ll \tau$)

$$\frac{\Delta\tau}{\tau} = \frac{\Delta t}{\tau} + \frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{1}{2} \frac{\Delta A}{\varrho} + \frac{\Delta\sigma}{\sigma}$$

$\alpha)$ Δt è l'errore sul timing del chopper, supponiamo che sia $\leq 0.05 \mu\text{sec.} = \frac{1}{2} T_r$

$\beta)$ $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ Si può ritenere trascurabile in confronto agli altri termini.

$\gamma)$ ΔA è l'errore che deriva da un'inesatta valutazione dello spread del fascio iniettato o dallo sparpagliamento del fascio spiralizzante. Supponiamo che sia $\Delta A = 2$ cm.

Segue che dalla misura di τ si può stimare la differenza tra σ_{vero} e $\sigma_{\text{calcolato}}$:

$$\frac{\sigma_{\text{vero}} - \sigma_{\text{calcolato}}}{\sigma_{\text{calc}}} = \frac{\sigma_{\text{misur.}} - \sigma_{\text{calc.}}}{\sigma_{\text{calc}}}$$

cioè

$$\frac{\sigma_v - \sigma_c}{\sigma_c} = - \frac{\tau_{\text{mis}} - \tau_{\text{calc}}}{\tau_{\text{mis}}} \pm \frac{2.5}{N}$$

dove N è $= \frac{\varrho}{\sigma} = \frac{\tau}{T_r}$ il numero di giri durante i quali il f spiralizza. Con $\varrho = 14.5$ cm. e $\sigma = 0.5$ cm. si ha $N \approx 30$ e l'or

rore nella stima di $\sigma_v - \sigma_c$ è circa il 10% ^{di σ} . Questo corrisponde ad un errore su n , p.es., di circa 0,05; ovvero con questo metodo si può vedere se il valore di n mediato su 30 giri attraverso una regione radiale larga 14,5 cm. è compreso tra 0,55 e 0,65 circa. Questi numeri sono riportati a titolo d'esempio.

Le operazioni da effettuare sono:

- a) si dispone il d con asse parallelo all'orbita principale e molto distante dall'asse della ciambella
- b) si dispone $E_r/I/4$ in una posizione interna estrema in modo da fare $\varnothing$ quanto più grande possibile.
- c) si inietta al tempo $t_0(r)$
- d) si rileva la forma dei segnali su $E_r/I/4$ e si cerca di interpretarli.

Si può poi provare a ripetere queste misure, iniettando senza il chopper e rilevando la forma dei segnali su $E_r/I/4$; però l'esito di queste prove senza chopper sarà certamente meno soddisfacente a causa delle perdite sulle pareti della ciambella che modificano in modo imprevedibile la prima parte del segnale (cioè quella corrispondente alle più grosse ampiezze iniettate, che in genere saranno anche della semiapertura della ciambella).

5/Er/EI - Ricerca dell'istante optimum di accensione della RF₁

Se il tempo di salita della RF₁ fosse estremamente rapido, l'istante optimum di accensione sarebbe praticamente quello in cui cominciano a perdersi elettroni sulla parete interna della ciambella (almeno se la corrente iniettata si mantiene costante urante l'iniezione e se l'impulso d'iniezione dura di più del tempo utile di spiralizzazione). Poichè però la RF₁ sale in un tempo finito ($\sim 1 \mu\text{sec.}$) con un fronte d'onda che non è quello ideale, l'istante optimum di iniezione varierà attorno a quello definito sopra.

Si effettuano le seguenti operazioni: si inietta senza chopper e si stima, in base alla forma del segnale su Er/I/4 in posizione interna estrema, l'istante ideale di accensione in prossimità di quello ideale e si preleva il segnale di EI/L. Si studia l'ampiezza del segnale di EI/L in funzione dell'istante d'accensione della RF₁, cercando infine in quali condizioni questo segnale ha ampiezza massima.

Raccolta di formule e tabelle di uso comune.

- 1) Numero di elettroni iniettati N in funzione della corrente I e della durata τ dell'impulso di iniezione:

$$N = 6.25 \times 10^9 I_{mA} \tau_{\mu sec}$$

$I_{mA} \backslash \tau_{\mu sec}$	0.5	1	1.5	2	2.5	3
0.1	0.31	0.625	0.94	1.25	1.56	1.87
1	3.10	6.25	9.4	12.5	15.6	18.7
5	15.6	31.2	46.9	62.5	78.1	94
10	31.2	62.5	94	125	156	187
50	156	312	469	625	781	940

Tabella di
 $N \times 10^{-9}$

E' allegato un grafico di $N \times 10^{-9}$ in funzione di I_{mA} per vari valori di τ . (grafico n°1)

- 2) Spiralizzazione σ in funzione del raggio della macchina R , dell'indice n , del campo d'iniezione B_i , della derivata del campo all'iniezione $\dot{B}_i$, della velocità all'iniezione βc

$$\sigma = \frac{2\pi R^2}{(1-n)\beta c} \frac{\dot{B}_i}{B_i}$$

Per $R = 360$ cm, $n = 0.61$, $B_i = 22.7$ Gs, $\beta = 0.9789$

$$\sigma_{cm} = 3.74 \dot{B}_{Gs/\mu sec}$$

(v. Grafico n°2)

- 3) Campo d'iniezione B_i in funzione dell'energia cinetica W_i degli elettroni iniettati per R (raggio della macchina) = 360 cm

$$B_{i, \text{Gs}} = 9.26 W_{i, \text{MeV}} \left(1 + \frac{1.022}{W_{i, \text{MeV}}} \right)^{1/2}$$

E' allegato un grafico di B_i , in funzione di W_i ; inoltre, nello stesso grafico è data la velocità $\beta = \frac{v}{c}$ in funzione di W_i - (Grafico n°3)

- 4) Le oscillazioni di betatrone sono con buona approssimazione sinusoidali con una lunghezza d'onda effettiva λ^* che per effetto dei tratti dritti è poco diversa da quella corrispondente ad un sincrotrone circolare:

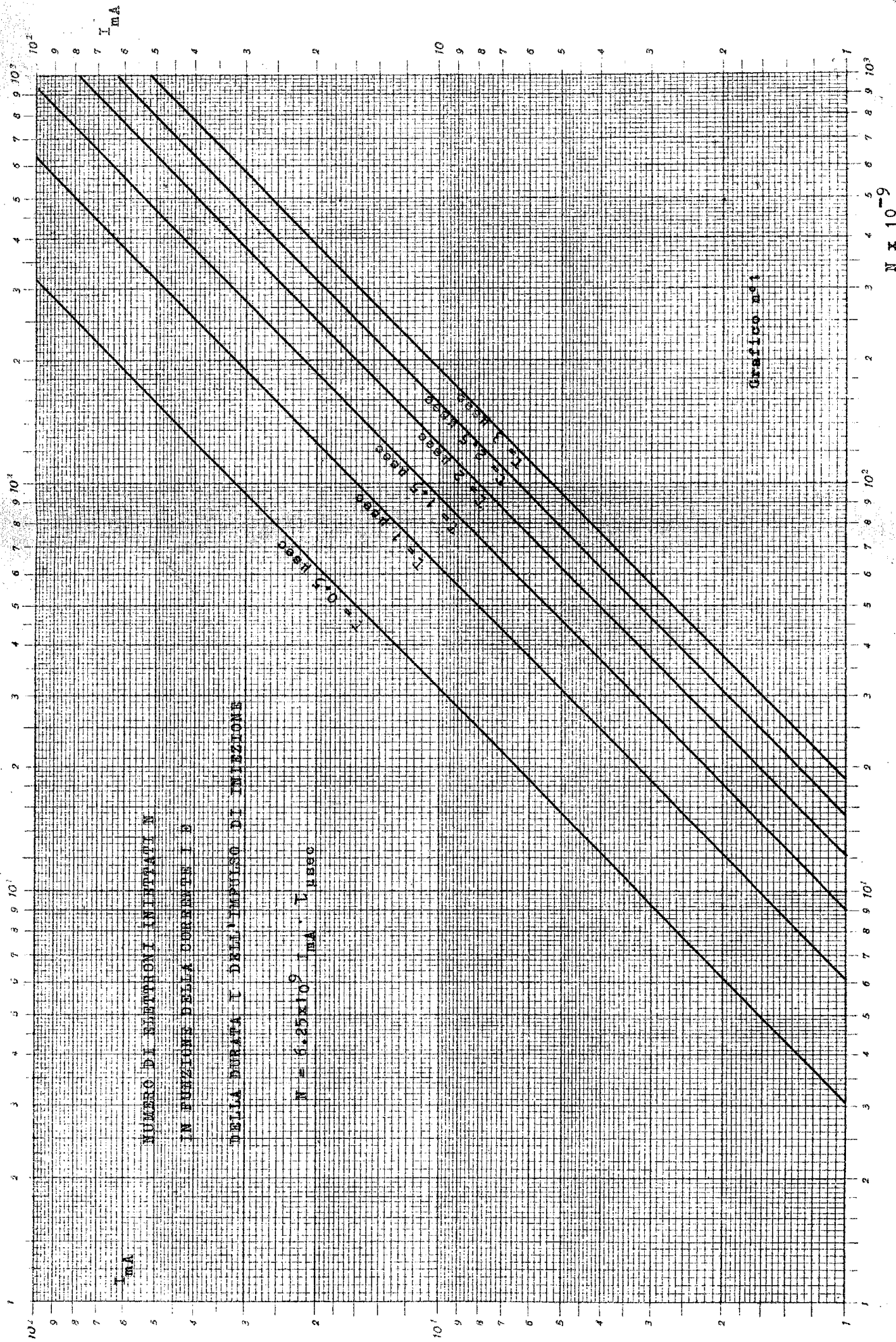
oscillaz. orizzontali: $\lambda_{\text{or}}^* = 1.100 \frac{2\pi R}{\sqrt{1-n}} = \frac{2488}{\sqrt{1-n}} \text{ cm}$

oscillaz. verticali: $\lambda_{\text{vert}}^* = 1.099 \frac{2\pi R}{\sqrt{n}} = \frac{2486}{\sqrt{n}} \text{ cm}$

(v.grafico n°4)

Per altri dati si rimanda alla relazione T 16; inoltre verrà tra breve completata una raccolta dettagliata contenente tutti i dati numerici e le formule che conviene avere a portata di mano.

o o o
o o o



SPIRALIZZAZIONE G IN FUNZIONE

DI n E β PER

$R = 360 \text{ cm}$

$B_1 = 22.7 \text{ Gs}$

$G \text{ cm}$

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.05

0.1

0.15

0.2

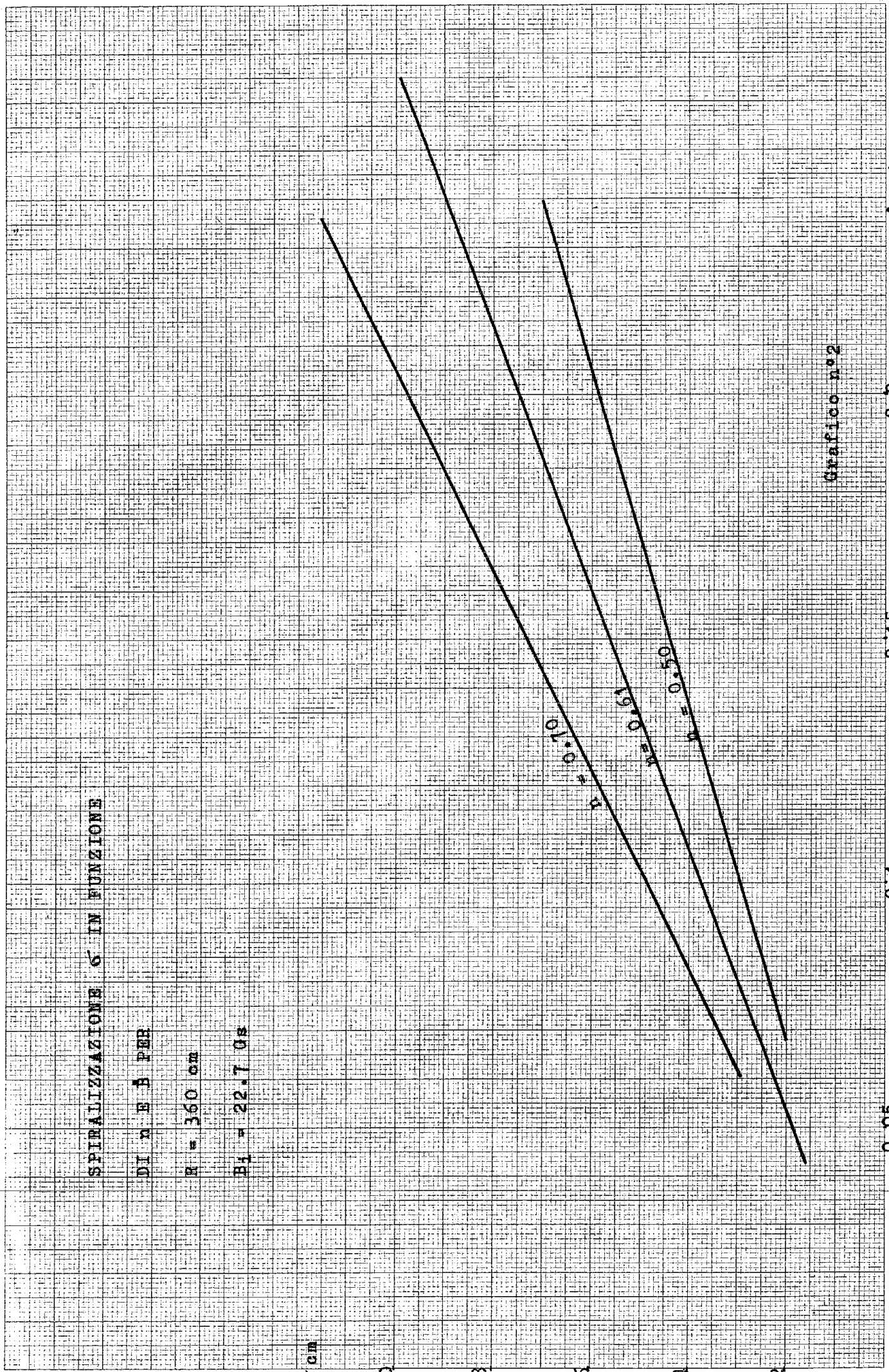
$B_0 \text{ Gs}/\mu\text{sec}$

Grafico n°2

$n = 0.10$

$n = 0.61$

$n = 0.50$



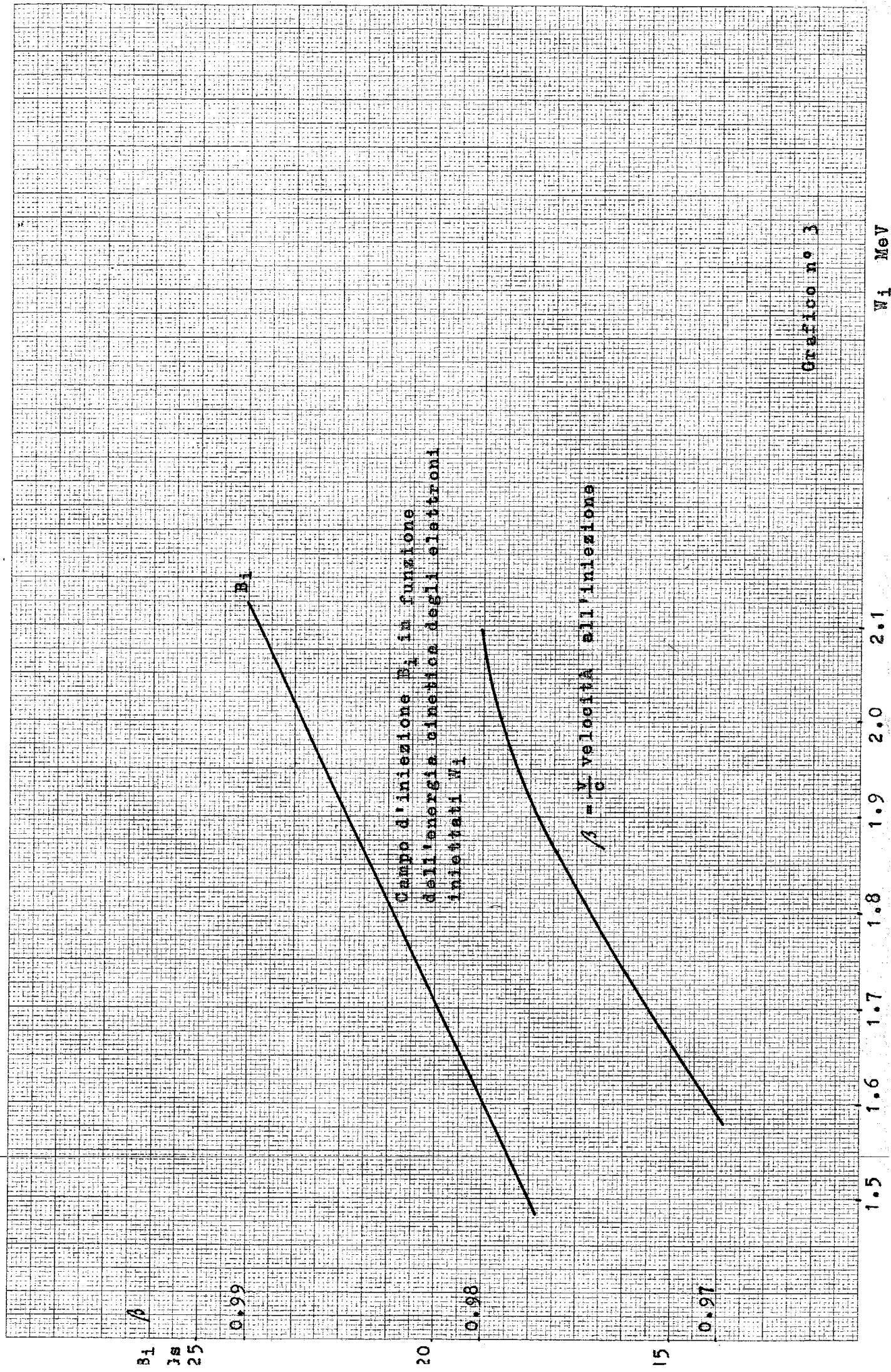


Grafico n° 3

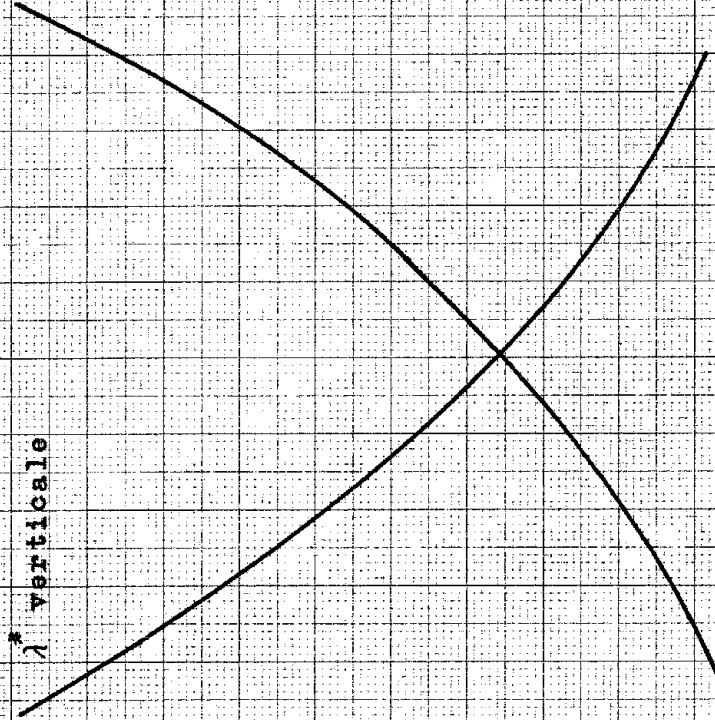
λ^* cm
5000

4000

3000

λ^* verticale

λ^* orizzontale



Lunghezza d'onda della sinusoida che
approssima le oscillazioni di β -trone
in funzione di n , per $R=360$ cm
 $L = \text{lungh. nomin. tratti dritti} =$
 $= 120.6$ cm

Grafico n°4

$n = - \frac{r}{B_z(r)} \frac{\partial B_z}{\partial r}$

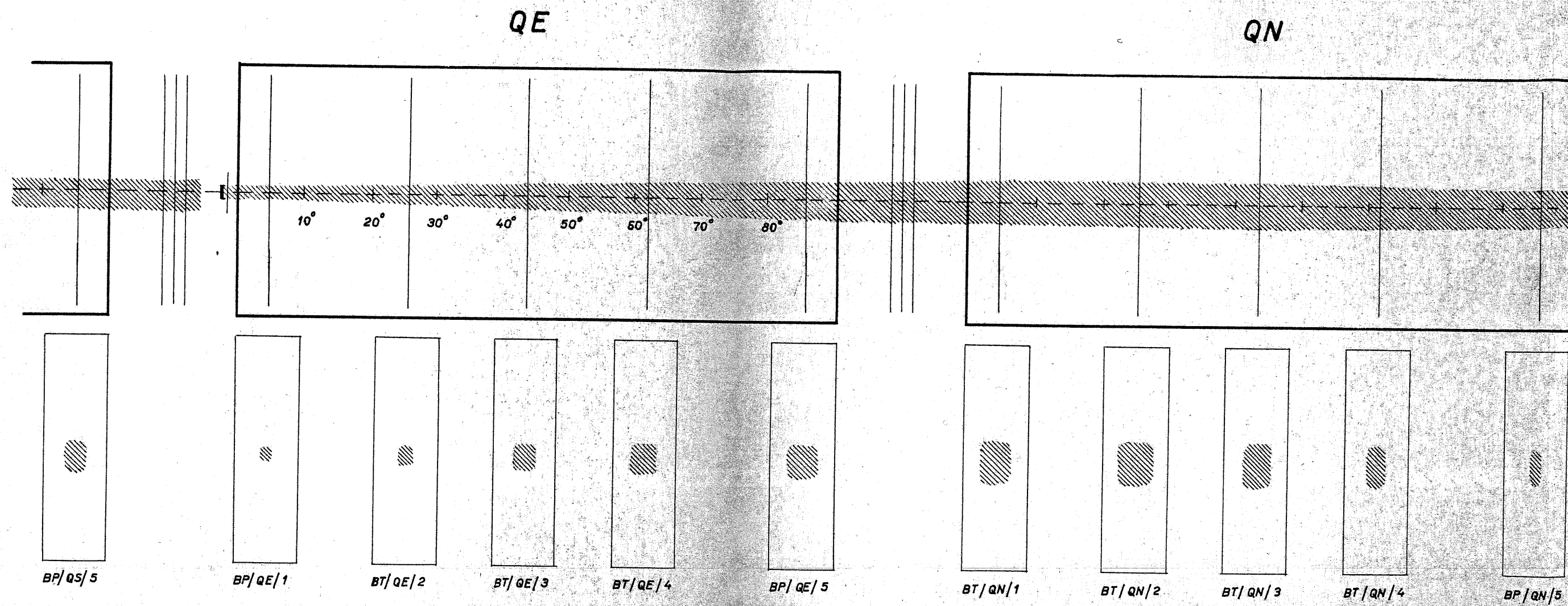
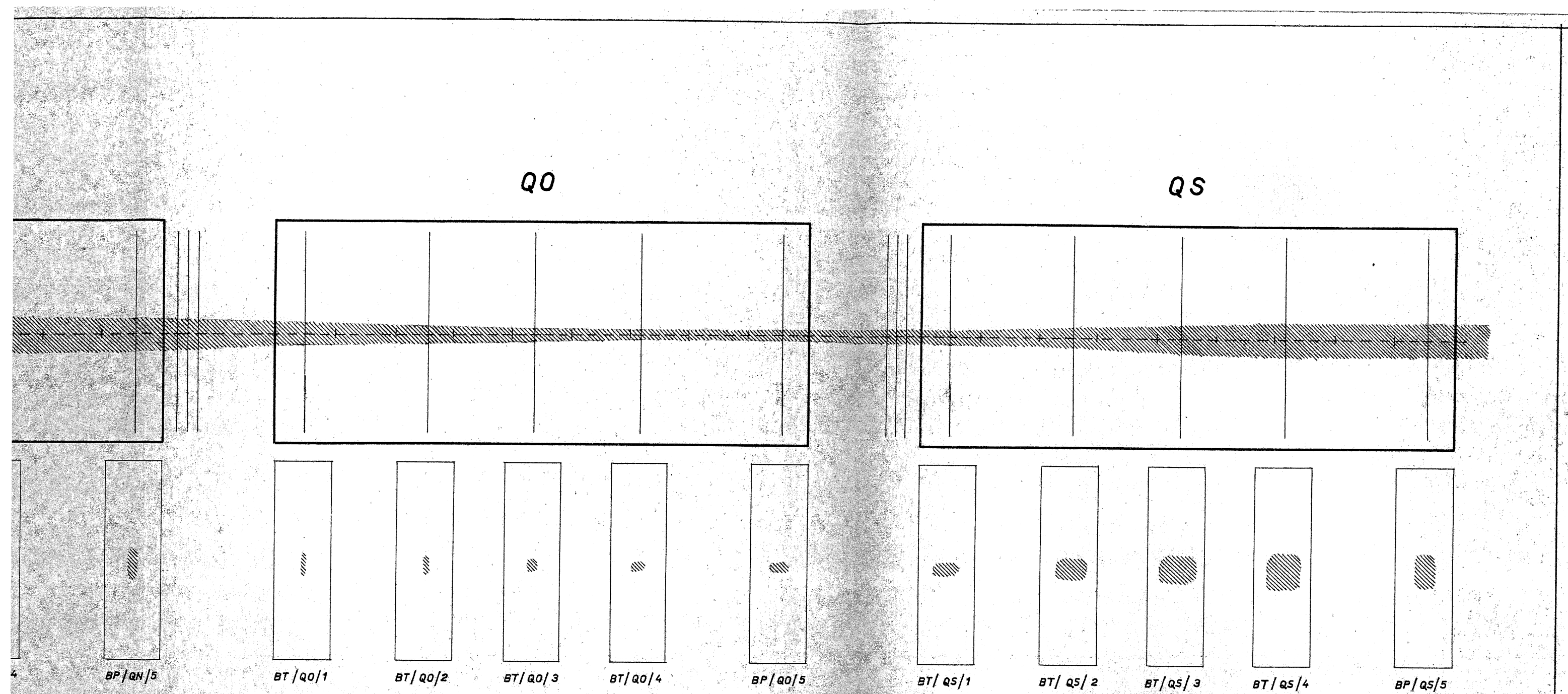


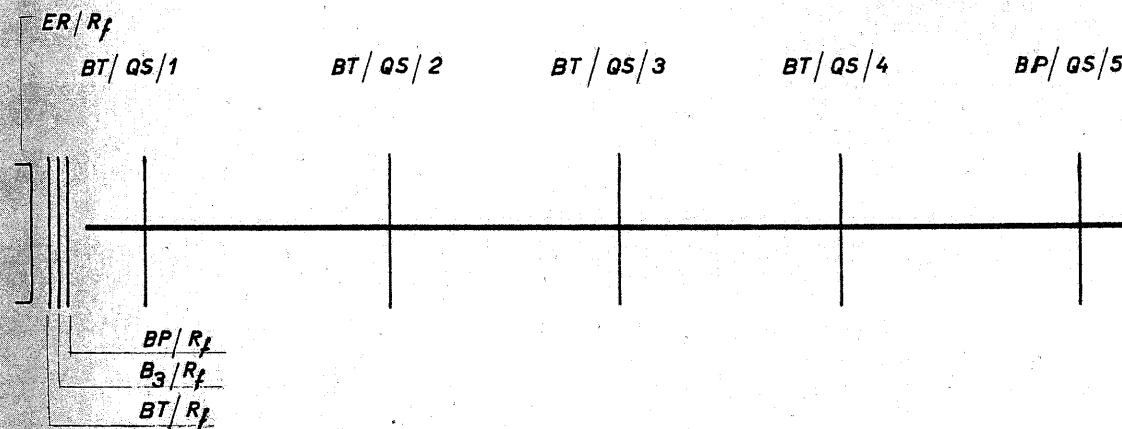
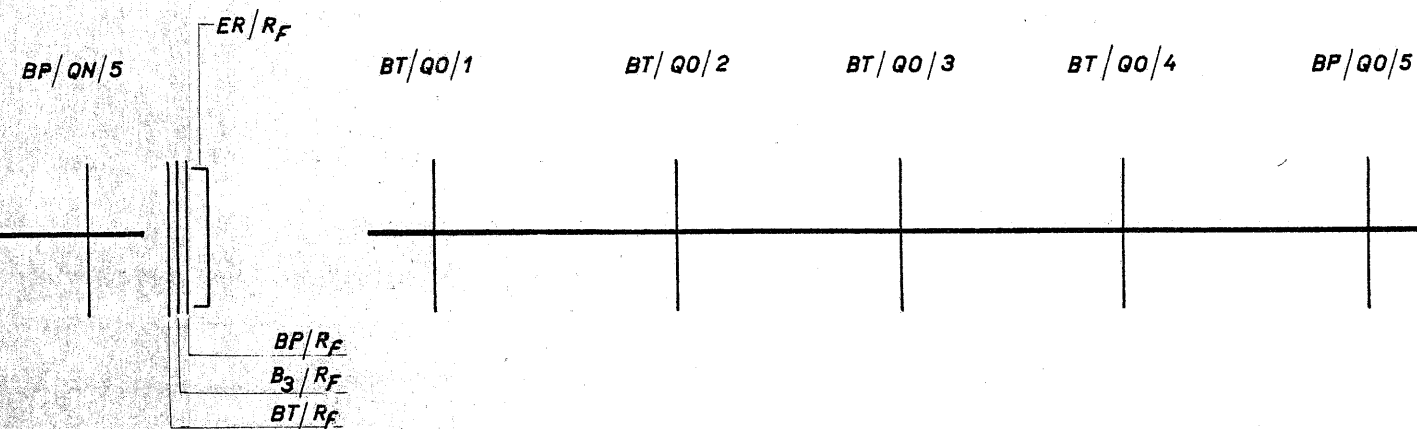
Figura allegata II: TRACC
scala



ata II: TRACCIA DEL FASCIO SULL'ORBITA PRINCIPALE; APERT. ANGOLARE ALL'INIEZIONE $\pm 3/1000$ rad
 scala orizzontale 1:40 - scala radiale 1:4

Q 0

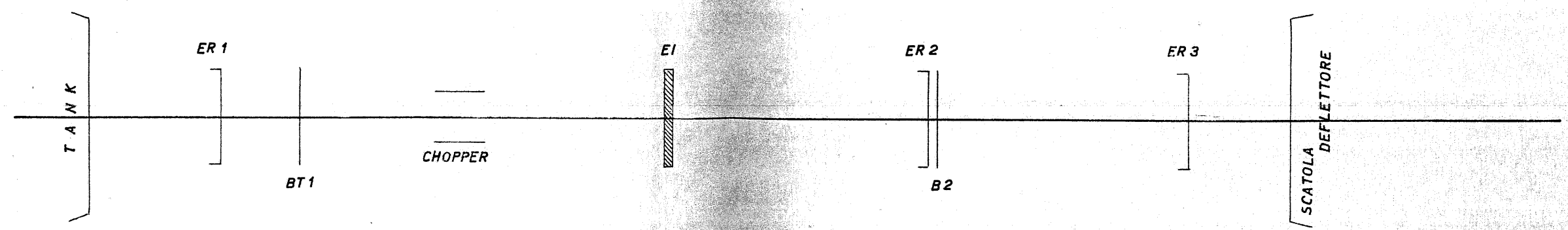
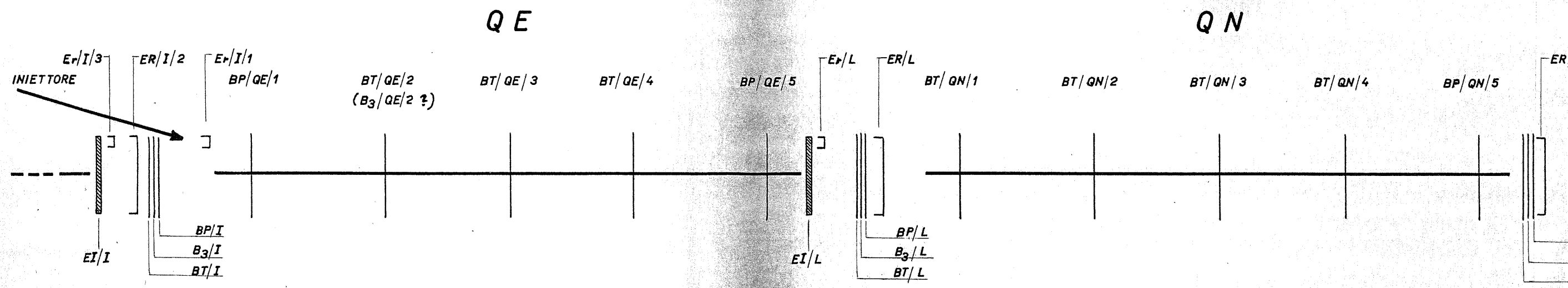
Q S



RIVELATORI NEI QUADRANTI - SCALA 1:40 (ORIZZONTALI)

DISPOSIZIONE DEI RIVELATORI PER LA RICERCA DEL FASCIO

NTALI)



RIVELATORI NEL RACCORDO INIETTORE - DEFLETTORE - SCALA 1:10 (ORIZZONTALI)

