

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-59/30 (28. 9. 59)

G. Bologna, G. Diambri, A.S. Figuera, U. Pellegrini, B. Rispoli,
A. Serra, R. Toschi: UNO SPETTROMETRO A COPPIE PER ALTE
ENERGIE (1 - 2 GeV).

I N D I C E

1 - Introduzione	pag.	1
2 - Descrizione del magnete e della camera a vuoto	:	2
3 - Cenno alle proprietà ottiche dello spettrometro	:	6
4 - Misure magnetiche	:	7
a) Generalità		
b) Misure nell'intraferro		
c) Misure esterne al traferro		
5 - Misure con la tecnica del filo	:	13
6 - Apparecchiatura di rivelazione delle coppie di elettroni	:	18
a) Schema a blocchi generale		
b) Descrizione dei rivelatori		
c) Caratteristiche dei dispositivi elettronici		

COMITATO NAZIONALE PER LE RICERCHE NUCLEARI
Laboratori Nazionali di Frascati

Nota interna: n° 17
28 settembre 1959

G. Bologna (°), G. Diambrini (°), A.S. Figuera (°°), U. Pellegrini (°°), B. Rispoli (°°), A. Serra (°°), R. Toschi (°).

UNO SPETTROMETRO A COPPIE PER ALTE ENERGIE (1 + 2 GeV)

(Relazione al XLV Congresso della S.I.F.-Pavia, Ottobre 1959)

1 - INTRODUZIONE

Come è ben noto, il fascio di elettroni dell'elettrosincrotrone di Frascati da 1 GeV produce, urtando contro un bersaglio di tantalio, una radiazione di frenamento sotto forma di un fascio di raggi γ contenente fotoni di tutte le possibili energie fra 0 e 1 GeV. Con lo scopo precipuo di determinare lo spettro energetico di questo fascio è stato costruito uno spettrometro a coppie, con caratteristiche tali da consentire anche esperienze di elettrodinamica di tipo diverso.

Nel progetto non ci si è voluti limitare ad energie di 1 GeV, stabilendo l'energia massima rivelabile a 2 GeV.

Lo spettrometro a coppie si compone essenzialmente delle seguenti parti :

- a) Magnete, per la deflessione delle coppie di elettroni;
- b) Camera a vuoto;
- c) Convertitore, nel quale i raggi γ producono le coppie di elettroni;
- d) Contatori a scintillazione e apparecchiatura elettronica per la rivelazione delle coppie di elettroni.

(°) C.N.R.N. - Laboratori di Frascati

(°°) C.N.R.N. - Divisione elettronica - Roma.

2 - DESCRIZIONE DEL MAGNETE E DELLA CAMERA A VUOTO

Il magnete nel suo insieme è visibile nella foto di fig. 1.

La forma della pianta del traferro è trapezoidale (vedi fig. 2). Il convertitore è posto in prossimità della base minore (punto C), mentre sui lati obliqui del trapezio potranno essere sistemati i rivelatori. Con questa forma del polo conviene risolvere la struttura magnetica con un magnete del tipo a mantello cioè con due ritorni per il flusso nell'intraferro (vedi fig. 2). Tali ritorni sono stati sistemati lateralmente alla direzione del fascio di particelle incidenti, per avere la possibilità di rivelare le particelle all'esterno del magnete nella zona prospiciente alla base maggiore del trapezio (+). La bobina di eccitazione abbraccia il polo seguendo il più possibile la forma.

I dati di partenza del progetto del nucleo magnetico sono stati i seguenti :

- campo magnetico massimo dell'intraferro : 20Kgauss
- altezza intraferro : 100 mm con poli piani e paralleli entro $\pm 0,1$ mm .
- superficie polare di forma trapezoidale : altezza del trapezio 850 mm; angolo fra i lati obliqui compreso fra 50° e 60° .
- peso totale (compresa bobina) minore di 20.000 Kg. Questo limite è imposto dalla portata del carro-ponte installato nella sala delle esperienze.

Il magnete è sistemato su un apposito supporto che ne permette l'allineamento con movimenti in senso verticale e

(+) In realtà rivelatori esterni sono i soli utilizzati per la determinazione dello spettro energetico dei raggi γ dell'elettrosincrotrone. Tali rivelatori in posizione esterna sono comunque necessari ove si vogliano rivelare elettroni di elevato momento (>1000 MeV/c)

trasversale e rotazioni intorno all'asse verticale passante per il centro del convertitore.

Dato l'alto valore dell'induzione richiesta nell'intraferro si devono evitare espansioni polari molto pronunciate, cioè cave per il rame molto più alte dell'intraferro (cfr. fig. 3). Questa esigenza è però in contrasto con l'altra, dovuta anch'essa all'alto valore di B nell'intraferro, di disporre di un alto numero di amperspire. Per conciliare queste due esigenze si è dovuto ricorrere ad alti valori di densità di corrente (circa 15 Amp/mmq.) nei conduttori e quindi a potenze dissipate nelle bobine molto rilevanti e a sistemi di raffreddamento molto spinti.

Il magnete è costituito da due gioghi, collegati fra loro da due colonne distanziatrici (cfr. fig. 3).

Le tolleranze prescritte nelle lavorazioni delle superfici di accoppiamento e delle superfici polari sono tali da garantire l'uniformità dell'altezza dell'intraferro entro $\pm 0,1$ mm. Tale prescrizione sull'altezza dell'intraferro viene rispettata anche a magnete eccitato ed è ottenuta senza lo ausilio di spessori.

Sul giogo superiore si sono eseguiti 36 fori cilindrici passanti (altezza 600 mm.) per il passaggio delle guide di luce necessarie per i contatori a scintillazione da porsi nell'intraferro. Di tali fori sedici (vedi fig.2), aventi diametro di 25 mm. ($C_3, C_4, C_5 \dots \dots \dots C_{18}$), hanno i centri su due semirette partenti da C simmetriche rispetto al piano verticale di simmetria del magnete e formanti tra loro un angolo di $54^\circ 8'$. La distanza del convertitore da tali fori è stata scelta in modo tale da poter effettuare l'analisi di tutto lo spettro degli impulsi degli elettroni e positroni prodotti nel convertitore (da 100 MeV/c, a 1000 MeV/c, a 20 Kgauss).

Altri quattordici fori con diametro di 35 mm. ($C'_3, C'_4 \dots \dots \dots C'_{16}$) hanno i centri su circonferenze passanti per C tangenti all'asse di simmetria OO' e passanti per il centro dei fori corrispondenti della prima fila. I corrispondenti C'_{16} e C'_{17} cadono fuori del polo.

Quattro fori (C1, C2, C1', C2') sono stati tracciati con criteri analoghi a quelli di cui sopra per un impulso di 50 MeV/c a 20 Kgauss.

I fori C₁₉ e C₂₀ sono stati tracciati per impulsi di 600 MeV/c a 16 Kgauss. Tutti i fori possono essere chiusi nel caso non vengano utilizzati, ripristinando la continuità nel ferro, mediante tappi calibrati flangiati in testa e provvisti di guarnizione per la tenuta del vuoto nell'intraferro.

Con 20 Kgauss nell'intraferro, si è calcolato che le Asp assorbite nel ferro siano circa 60.000 e le Asp assorbite nell'intraferro siano circa 160.000.

L'avvolgimento di eccitazione è stato dimensionato per 250.000 Asp conservando così un certo margine rispetto al valore calcolato.

Come già si è detto l'altezza della cava per il rame non può essere molto maggiore di quella dell'intraferro; la sua larghezza deve essere la minima possibile per ridurre il flusso disperso e il peso del magnete compatibilmente con la potenza dissipabile nell'avvolgimento.

Scegliendo un'alta densità di corrente (14,7 A/mm²), le dimensioni della cava per il rame sono risultate 126 x 230 mm² (v. fig. 3). L'avvolgimento di eccitazione, sistemato intorno ai poli, è costituito da quattro bobine a doppio disco, di cui due hanno le testate ripiegate verticalmente verso l'alto e due verso il basso, per lasciare libera la zona corrispondente al traferro.

Esso è raffreddato con circolazione di acqua all'interno del conduttore.

Le due parti in cui è divisa la bobina sono ancorate l'una al giogo superiore e l'altra a quello inferiore.

Il numero totale delle spire è 120.

L'alimentazione della bobina è assicurata da due dinamo stabilizzate in corrente con un sistema di amplificato-

ri magnetici. Di regola viene usata una prima dinamo da 250 Volt, 1000 Amp con stabilità migliore di ± 1 Amp. Per alimentare invece il magnete a completa eccitazione viene usata una seconda dinamo da 200 Volt, 3000 Amp con stabilità di corrente migliore di ± 3 Amp.

Per praticare il vuoto entro l'intraferro si è progettata una struttura a scatola (vedi fig. 4) in acciaio inossidabile costituita essenzialmente da due pareti fra loro collegate con due flange. Tale scatola viene inserita tra le espansioni polari con le pareti entro apposite scanalature praticate attorno ai poli, e viene fissata ai gioghi superiore e inferiore mediante viti. Con l'ausilio di due guarnizioni che corrono intorno al polo si viene a realizzare un accoppiamento a tenuta di vuoto fra detta scatola e le espansioni polari del magnete. Alle due flange vengono applicati: all'ingresso un tubo con gli attacchi per la pompa del vuoto e all'uscita un foglio di mylar dello spessore di 0,2 mm.

Avendo usato le espansioni polari stesse come parete superiore e inferiore della camera, non si perde nulla nella altezza dell'intraferro e nella sua precisione.

TABELLA I

RIASSUNTO DEI DATI RELATIVI ALLO SPETTROMETRO A COPPIE

MAGNETE

- Tipo di ferro	T11S Terni fucinato a basso tenore di carbonio, 30000 Asp/m a 2 Wb/mq
- Altezza intraferro	100 mm \pm 0,5 mm
- Poli	Piani e paralleli entro \pm 0,1 mm a pianta trapezoidale (altezza 850 mm basi 300 e 1100 mm)
- campo massimo nello intraferro	: 20 Kgauss
- Peso del ferro	: 17800 Kg.
- Fori nel giogo superiore per rivelatori	: 20 ϕ 25, 16 ϕ 30 mm

AVVOLGIMENTO DI ECCITAZIONE

- Amper spire totali	:	250.000
- numero di spire	:	8 x 15 = 120
- conduttore	:	quadro rame Wirebars 13,5 x 13,5 mmq con spigoli arrotondati r=1 mm, con foro centrale ϕ 7 mm. Sezione utile 144 mmq.
- resistenza (a 90°C)	:	0,09 ohm
- induttanza	:	57.10 ⁻³ H
- corrente massima	:	2100 A c.c.
- Tensione (a 90°C)	:	185 V c.c.
- densità di corrente	:	14,7 A/mmq
- raffreddamento	:	Ad acqua in circuito chiuso; - portata : 1,3 lt/sec.
- Sovratemperatura dell'acqua di raffreddam.:	:	70°C
- Pressione dell'acqua di raffreddamento	:	3 Atm
- Peso dell'avvolgimento:	:	750 Kg.
- Isolamento	:	L'isolamento della bobina è in classe B

3 - CENNO ALLE PROPRIETA' OTTICHE DELLO SPETTROMETRO -

Nell'ipotesi che il campo B abbia valore costante nell'intraferro ed abbia valore nullo all'esterno, si ricava facilmente il valore della dispersione :

$$D = \frac{dx}{dp}$$

essendo dp la variazione del momento delle particelle che cadono in un intervallo dx perpendicolare alla traiettoria di impulso p.

Indicando con r il raggio di curvatura della traiettoria, con ϕ l'angolo di deflessione, con α l'angolo che la traiettoria forma con la normale al bordo dello spettrometro,

e con l la distanza del rivelatore (esterno) dal bordo dello spettrometro (cfr. fig. 2) risulta $\sqrt{l^2}$

$$D = \frac{l}{p} \sqrt{r(1 - \cos \phi) \left(1 + \frac{l}{r} \operatorname{tg} \alpha\right) + l \sin \phi} \quad (1)$$

Ad esempio per la determinazione dello spettro energetico dei raggi γ viene usato un sol canale formato da due telescopi di contatori esterni che rivelano coppie simmetriche (cfr. n° 5).

Per essi si ha

$$r \approx 167 \text{ cm}$$

$$\phi \approx 26^\circ$$

$$l \approx 100 \text{ cm}$$

$$\alpha \approx 22^\circ$$

e quindi per la (1) :

$$\frac{1}{pD} = \frac{\frac{dp}{p}}{dx} \approx 1,5\%/cm$$

4 - MISURE MAGNETICHE -

a) Generalità

Sul magnete dello spettrometro a coppie sono state effettuate misure atte a rilevare la mappa del campo magnetico internamente ed esternamente al traferro.

Le informazioni ottenute sono in corso di elaborazione da parte di una calcolatrice elettronica, che ci fornirà lo spettro delle traiettorie elettroniche alle varie energie. Tali traiettorie verranno confrontate con quelle determinate sperimentalmente con la tecnica del filo (cfr. n° 6),

Un programma completo di misure comprenderebbe :

α) Misura della componente del campo perpendicolare alla superficie polare (che chiameremo componente 'verticale'), sia internamente che esternamente al traferro.

β) Misura della componente del campo parallela alle dette superfici (che chiameremo componente 'orizzontale'), sia internamente che esternamente all'intraferro.

γ) Determinazione della superficie magnetica mediana, cioè del luogo dei punti in cui si annulla la componente orizzontale del campo.

Le misure α) e β) dovrebbero venir eseguite su vari piani paralleli alle superfici polari ed aventi da queste distanze diverse.

Inoltre tutte le misure dovrebbero venir ripetute con varie correnti di eccitazione. Il programma è stato compiuto per ora solo in parte, per i punti che si ritengono veramente essenziali in base alle seguenti considerazioni :

i) Poichè la relazione fra campo e corrente di eccitazione è lineare, almeno fino a 10 Kgauss (con una costante di $15,09 \pm 0,04$ gauss/amp), il rapporto fra il campo nelle varie posizioni e quello in una posizione di riferimento (interna al traferro) non dipende dal valore della corrente di eccitazione. Perciò, almeno fra 1 e 10 Kgauss è sufficiente effettuare le misure solo quando il campo nella posizione di riferimento ha il valore di 10 Kgauss.

ii) Nell'intraferro, fin dove non si fa sentire l'effetto di bordo dei poli, la componente orizzontale del campo è trascurabile rispetto a quella verticale (il rapporto di queste componenti è di $\approx 10^{-4}$, dato che la tolleranza sul parallelismo dei poli è di $\pm 0,1$ mm, cifra questa da confrontarsi con le dimensioni dei poli stessi (cfr. n° 2)).

Ne segue che nella regione suddetta dell'intraferro la superficie magnetica mediana è indeterminata.

Per la regione esterna al traferro è ragionevole pensare che tale superficie (data la buona geometria di tutto il magnete) non si discosti più di 1 mm dal piano geometrico mediano (= piano di simmetria dei poli, parallelo a questi ultimi).

iii) Poichè si possono trascurare le componenti radiali del campo, nell'intraferro è lecito effettuare le misure solo sul piano geometrico mediano, tralasciando quelle su altri piani.

Fino ad ora il programma è stato completato solo per quanto riguarda il punto α); anche esternamente al traferro le misure sono state eseguite solo sul piano geometrico mediano. Tutto questo perchè interessava avere dei dati per il calcolo delle traiettorie degli elettroni da confrontarsi con quelle ottenute sperimentalmente con la tecnica di filo. Nel caso che le traiettorie calcolate si discostino da quelle misurate oltre gli errori sperimentali di queste ultime, verranno effettuate le misure anche per quanto riguarda il punto β).

b) Misure nell'intraferro

Nelle misure effettuate nell'intraferro si rileva con metodo flussometrico la differenza relativa di campo magnetico:

$$\xi = \frac{B - B_c}{B_c} \quad (2)$$

essendo B il campo (coincidente con la sua componente verticale B_z) esistente in una certa posizione e $B_c = 10$ Kgauss il campo esistente al centro del convertitore.

Le misure sono effettuate sul piano geometrico mediano e con corrente di eccitazione stabile entro $\pm 1\%$.

Per rilevare il valore di ξ si fa uso di una bobina e di un flussometro elettronico del tipo di Dicke [2]. La bobina ha il diametro di 1,2 cm e l'altezza di 2 cm. La sua area-
spire è $\approx 500 \text{ cm}^2$. Le sue dimensioni sono giustificate dalla

omogeneità del campo (cfr. in seguito); il suo centro scorre sul piano geometrico mediano.

Si misurano separatamente le variazioni di flusso relative a $(B - B_c)$ ed a B_c , spostando la bobina fra le due posizioni corrispondenti a B e B_c , rispettivamente, ruotando la stessa di 180° nella posizione corrispondente a B_c .

Lo spostamento avviene su una giacitura parallela ai poli entro un angolo di $\pm 30'$; anche la rotazione ha un errore di $\pm 30'$, ciò che assicura un errore largamente minore di $\pm 0,5\%$ nella misura delle intere componenti verticali.

Poichè $B_c \gg (B - B_c)$, per la misura di B_c si preleva mediante un partitore resistivo solo una frazione opportuna (nota con un errore di $\pm 1\%$) della tensione indotta ai capi della bobina, in modo che le due letture flussometriche relative a B_c e $(B - B_c)$ abbiano valori confrontabili. In questo modo si può far uso di una sola bobina, con che ne risulta avvantaggiata la precisione.

Si deve tener presente che $(B - B_c)$ è dell'ordine o più grande delle fluttuazioni di B_c dovute all'instabilità della corrente di eccitazione. Si devono quindi compensare queste fluttuazioni con l'uso di una bobina fissa posta in serie a quella mobile e di area-spire circa uguale, in modo tale che la tensione indotta ai capi di una di queste dalle fluttuazioni del campo si opponga a quella dell'altra. In questo modo si riesce a contenere l'errore di $(B - B_c)$ entro ± 1 gauss. Questa causa di errore prepondera su tutte le altre, per cui l'errore nella determinazione di \mathfrak{Z} è :

$$\delta \mathfrak{Z} = \pm 0,0001$$

Per individuare con precisione le posizioni nelle quali vengono effettuate le misure si è fatto uso di due piastre di plexiglass adattabili con esattezza al polo inferiore dello spettrometro, del quale ne ripetevano la sagoma; in una piastra

è praticato un reticolato di fori i centri dei quali si trovano su rette intersecantesi perpendicolarmente ed equidistanti di 1 cm.

Questo reticolato serve da riferimento cartesiano per le varie posizioni della bobina, il sostegno della quale è adattabile a ciascun foro.

Nell'altra piastra sono invece praticati dei fori lungo le traiettorie circolari tracciate in fig. 2; in questo modo si determina l'andamento del campo nei dintorni di quei fori mancanti dei tappi cilindrici di ferro che rendono continuo il polo, come è il caso di C_3 e C'_3 .

I risultati sperimentali sono riassunti brevemente in fig. 5, nella quale sono visibili le regioni del traferro in cui ξ è compreso fra i valori segnati in figura. Si vede chiaramente l'effetto dei due fori aperti C_3 e C'_3 .

c) - Misure esterne al traferro

In queste misure si rileva con una sonda ad effetto Hall l'andamento della componente verticale B_z del campo magnetico a partire dall'interno del traferro, dove il campo ha circa il valore nominale $B_c = 10$ Kgauss, arrivando fin dove esso è circa nullo.

Le misure sono effettuate sul piano geometrico mediano facendo scorrere la sonda di Hall lungo le perpendicolari al bordo dello spettrometro

Queste traiettorie sono state scelte per ragioni di semplicità sperimentale, in quanto per far muovere la sonda si è fatto uso di uno dei carrelli mobili visibili in fig. 1, e destinati al sostegno dei telescopi di contatori. Tali carrelli sono dotati di due gradi di libertà, uno azimutale, per il quale essi descrivono circonferenze concentriche allo spigolo dei poli, ed uno radiale, per il quale descrivono appunto i raggi di dette circonferenze. La sonda di Hall è

trasportata da un braccio fissato ad un montante applicato ad uno dei carrelli. Per individuare la direzione radiale secondo la quale si vuole effettuare la misura, si applica al polo una delle piastre già menzionate, dipoi si aggiusta il braccio che porta la sonda di Hall in modo che nello spostamento una punta ad esso applicata segua la traiettoria voluta, che risulta incisa su detta piastra.

La scelta del metodo di misura è caduta sull'effetto Hall, soprattutto per il piccolo volume della sonda: solamente $11 \times 3 \times 1 \text{ mm}^3$ (Sonda Siemens - tipo FA 22). Questa è una condizione essenziale da soddisfare dato che la derivata seconda del campo rispetto allo spostamento è diversa da zero.

Un altro vantaggio dell'uso della sonda di Hall è la maggior rapidità consentita nelle misure.

La sonda viene alimentata da una corrente di 150 mA, stabile a $\pm 1\%$, inviata ad una coppia di elettrodi: l'altra coppia viene chiusa su una resistenza di carico di 1,72 ohm, avente lo scopo di linearizzare al più possibile la caratteristica della sonda. La tensione di Hall viene prelevata ai capi di questa resistenza e misurata con un potenziometro ad opposizione Leeds e Northrup tipo K 3.

Si determina la direzione perpendicolare al campo magnetico del traferro ruotando la sonda intorno ad un'asse orizzontale finchè si trova il massimo della tensione di Hall.

L'effetto della variazione della costante di Hall dovuta a variazioni di temperatura viene minimizzato effettuando tutta una misura radiale nel più breve tempo possibile, e per avere la possibilità di confrontare le varie misure, anzichè tener conto del solo campo B_z , si calcola il valore del rapporto $\eta = B_z / B_c$.

Tenuto conto dell'instabilità della corrente di eccitazione del magnete ($\pm 1\%$), dell'inevitabile effetto di temperatura sulla costante di Hall ($\pm 1\%$), e degli errori di misura e di lettura del potenziometro (1%), possiamo assumere per η un errore relativo.

$$\frac{\delta \eta}{\eta} = \pm 3\%$$

Nella figura 6 sono rappresentati i risultati di una misura radiale relativa alla traiettorie centrale Oy. Nella fig. 7 è rappresentato invece l'andamento azimutale di η relativamente a varie posizioni radiali.

5 - MISURE CON LA TECNICA DEL FILO

Le misure con la tecnica del filo (+) sono state effettuate con lo scopo di determinare sperimentalmente la posizione da assegnare ai telescopi di contatori per la rivelazione degli elettroni.

Essendo i la corrente che passa nel filo ed F la forza che lo tende, la configurazione di equilibrio assunta dal filo nel campo magnetico ha la forma della traiettoria di un elettrone di impulso

$$p = \frac{eF}{i} \quad (3)$$

essendo e la sua carica.

I dati di partenza sono stati i seguenti :

- campo massimo : $B = 10$ Kgauss.
- impulso massimo: $p = 500$ MeV/c (per ciascun elettrone di una coppia)

(+) Per il principio del metodo cfr. bibl., [1], [3] e bibliografia ivi citata.

- diametro del filo (di rame) : 0,08 mm.
- tensione da applicare al filo : $F = 30$ gr-peso.

La corrente che deve passare nel filo è allora :

$$i = 2939 \frac{F}{p} \frac{(\text{gr-peso})}{(\text{MeV/c})} = \frac{88170}{p} \text{ mA}$$

avendo assunto come valore dell'accelerazione di gravità :

$$g = 9,803 \text{ m/sec.}^2$$

Si vede quindi che il valore minimo della corrente i , corrispondente all'impulso massimo di 500 MeV/c, è di 176,3 mA.

I valori del diametro del filo, della tensione F e della corrente i sono appunto un compromesso fra le esigenze di diminuire il peso del filo, aumentare la tensione e non farlo scaldare fino alla rottura.

Le misure si compiono con l'ausilio dei dispositivi delle visibili nelle figg. 8 e 9.

Il filo viene introdotto in un foro della ruota orizzontale di fig. 8 ed ivi fissato. La ruota, del diametro di 24 mm, è costruita in araldite ed ha i raggi di ottone; il suo asse, pure di ottone, termina con punte di tungsteno, in sede di ottone.

All'asse sono incollati due specchietti, di cui solo quello posteriore è utilizzato mentre quello anteriore serve per ristabilire l'equilibrio. La ruota verticale, anch'essa in araldite, ha perni di acciaio inossidabile e ruota intorno ad un asse perpendicolare a quello dell'altra. Di per se tutto il sistema è in equilibrio indifferente e si squilibra già applicandovi il peso di 1 mgr. Il sistema di queste due ruote consente dunque al filo di orientarsi liberamente sia in senso orizzontale che verticale. Il resto del dispositivo è costruito in ottone. Esso è bloccabile fra le espansioni polari dello spettrometro, in modo che il capo del filo fissato alla ruota vada ad occupare la posizione destinata al centro del convertitore.

Dalla parte opposta, esternamente al magnete, distante più di 1 m dal bordo di esso, viene posto invece il dispositivo di fig. 9 che è un sistema a carrucola costruito con criteri simili ai precedenti.

La ruota, del diametro di 28 mm., possiede una gola nella quale si fa passare il filo, che viene successivamente teso con il peso voluto; l'estremità libera del filo viene connessa ad un polo del generatore che invia la corrente; per alimentarlo non si può connettere direttamente un conduttore all'altra estremità, perchè questa si trova immersa nel campo magnetico; il filo di adduzione solleciterebbe tale estremità con una forza troppo grande.

All'estremità del filo vengono allora saldati due fili di argento del diametro di 0,02 mm., e lunghi circa 1 cm., giusto da permettere la necessaria rotazione della ruota; le estremità libere di questi vengono connesse ai due terminali verticali di fig. 8, ai quali si invia corrente. I due fili d'argento, della stessa lunghezza, sono percorsi in senso inverso dalla stessa corrente, perciò la risultante delle forze sull'estremo del filo di rame è in buona approssimazione nulla.

Mantenendo nulla la corrente del filo e facendo passare il campo da zero a 10 Kgauss si ha uno spostamento angolare della ruota esterna di fig. 8 di $2 \cdot 10^{-3}$ radianti, dovuta alle piccole impurità ferromagnetiche contenute nell'asse di ottone e nelle punte di tungsteno della ruota interna. Non si ha invece nessun effetto che sposti il filo orizzontalmente.

Muovendo il filo verticalmente ed orizzontalmente mediante il dispositivo di fig. 9 e riportandolo al punto di partenza, la ruota interna di fig. 8 ritorna nella propria posizione con un errore di $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ rad., a causa dei residui attriti dei dispositivi e della rigidità del filo. Questo errore si potrebbe eliminare se si potesse tendere il filo con un peso maggiore di 30 gr. Ciò si è tentato di fare andando

però incontro a continue rotture dovute anche all'accresciuto valore della corrente.

L'effetto del peso del filo è invece trascurabile.

La corrente del filo viene misurata con uno shunt e con il potenziometro ad opposizione tipo K 3 già citato con un errore di $\pm 0,5\%$.

Per effettuare le misure si indirizza il filo secondo la traiettoria 00' di fig. 5, sul piano geometrico mediano, mantenendo nulla la corrente nel filo; con un proiettore dotato di reticolo si invia un fascio di raggi luminosi sullo specchietto posteriore di fig. 8. L'immagine del reticolo viene raccolta su uno schermo e se ne nota la posizione.

Indi si alimenta il filo con una corrente opportuna; esso, nel campo magnetico fissato, assume una certa configurazione. Si sposta allora il dispositivo di fig. 9 sia in direzione orizzontale che verticale finchè l'immagine del reticolo non sia ritornata nella vecchia posizione. In queste condizioni siamo sicuri che il filo esce tangente alla traiettoria 00' dalla posizione corrispondente al convertitore.

Poichè il filo simula gli elettroni od il fascio γ secondochè sia alimentato o no, si può dire di avere determinato la traiettoria di un elettrone che esce dal convertitore con angolo nullo rispetto alla direzione del fotone incidente e con impulso p dato dalla (3).

Fatto questo rimane solo da prender nota con precisione della direzione che ha il filo là dove il campo è ormai nullo. Su tale traiettoria andrà posto il telescopio dei contatori per rivelare gli elettroni.

Nei riguardi della sensibilità possiamo dire che il minimo peso che bisogna aggiungere ai 30 gr. perchè si veda spostarsi la macchia luminosa sullo schermo è di 60 mgr., dato che è in accordo con l'errore $2 \cdot 10^{-3}$ radianti nella riproducibilità di detta macchia.

Riportiamo ora come esempio i dati di una misura effettuata.

Con campo di 10 Kgauss, tensione di 30 gr. e corrente nel filo di 176,3 mA., si è determinata la posizione assunta dal dispositivo di fig. 9, corrispondente ad elettroni con impulso di 500 MeV/c. Indi si è variata la corrente del filo ed in concomitanza il campo magnetico, in modo che la macchia luminosa mantenga sempre la stessa posizione.

I risultati sono raccolti nella seguente tabella.

Tabella II° - Risultati di una misura effettuata con la tecnica del filo (F = 30 gr. peso)

Impulso p (MeV/c)	Corrente nel filo <u>i</u> (mA)	Campo B (gauss)	$\frac{B \text{ (gauss)}}{p \text{ (MeV/c)}}$
500	176,3	10.000	20,00
450	195,9	8.961	19,91
400	220,4	7.989	19,97
350	251,9	6.997	20,00
300	293,9	5.993	19,98
250	352,7	4.984	19,94
			<u>19,97</u> Media

Nell'ultima colonna è calcolato il rapporto tra campo ed impulso.

Tenuto conto della sensibilità del dispositivo di misura e dell'instabilità della corrente di eccitazione del magnete, possiamo ritenere che l'errore con il quale viene determinato l'impulso p è:

$$\frac{\delta p}{p} = \pm 3\%$$

6 - APPARECCHIATURA DI RIVELAZIONE DELLE COPPIE DI ELETTRONIa) Schema a blocchi generale

Come è già stato detto al n° 3, per la rivelazione delle coppie di elettroni di una data energia, è stato realizzato un unico canale con i rivelatori posti all'esterno del campo magnetico.

Lo schema a blocchi dei rivelatori e di tutta l'apparecchiatura elettronica è riportato in fig. 10.

Il canale è costituito da due telescopi di contatori a scintillazione posti sulle traiettorie di due elettroni, uno positivo ed uno negativo, aventi la stessa energia (coppie simmetriche). Ogni telescopio è composto di tre contatori il primo dei quali è situato a circa 1 metro dal bordo del magnete: questa distanza è determinata dalle condizioni stabilite per il potere risolutivo dello spettrometro ed inoltre è sufficiente perchè il guadagno dei fotomoltiplicatori (F.M.), completi di schermo magnetico, non sia influenzato dalle variazioni del campo magnetico dello spettrometro.

I segnali di uscita dei fotomoltiplicatori sono prelevati sia dall'anodo che dall'ultimo dinodo e inviati separatamente a due diverse catene elettroniche.

Le uscite anodiche dei F.M. di ciascun telescopio sono collegate alle entrate di una coincidenza tripla. Le due coincidenze triple comandano un circuito di coincidenze doppie che ha due uscite: dalla prima si prelevano le coincidenze simultanee e dalla seconda le coincidenze ritardate. Il numero delle ritardate è dato dalla somma delle coincidenze casuali e delle coincidenze spurie dovute a coppie di elettroni asimmetriche relative ad una energia dei fotoni diversa da quella che si vuol misurare.

Perciò facendo la differenza fra le coincidenze simultanee e quelle ritardate si ha il corretto numero delle coincidenze dovute a coppie di elettroni simmetriche

della determinata energia. Il fatto di misurare contemporaneamente e non in tempi successivi sia il numero delle coincidenze simultanee, che quelle delle ritardate, offre il grande vantaggio di avere informazioni relative alla stessa condizione sperimentale e quindi indipendenti dall'intensità istantanea del fascio γ , e dai livelli di polarizzazione dei circuiti elettronici.

Le uscite dei dinodi sono invece inviate ad una seconda catena elettronica che permette di controllare il corretto funzionamento dei rivelatori durante la misura.

Un cavo coassiale della lunghezza di 30 m, con impedenza di 75 ohm, collega l'uscita dei dinodi dei F.M. situati nella sala esperienze con due pannelli di controllo situati nella sala di misura.

Su tali pannelli, uno per ogni telescopio, si può variare la tensione di alimentazione di ciascun F.M., controllare la corrente del partitore, e prelevare gli impulsi del dinodo. Questi impulsi possono poi essere inviati ad una catena rapida composta di un'amplificatore distribuito, di un discriminatore rapido con tempo morto di 100ns, di un demoltiplicatore rapido con potere risolutivo di 50ns, e di un contatore lento.

b) - Descrizione dei rivelatori

Ciascun contatore è costituito dall'insieme scintillatore plastico-guida di luce-fotomoltiplicatore (fig.11). Le dimensioni degli scintillatori plastici imposte dalla risoluzione in impulso richiesta ($dp/p \approx 2,5\%$) e dallo scattering degli elettroni di bassa energia (≈ 50 MeV), sono le seguenti:

Scintillatori n. 1 - 4 (che determinano la risoluzione in energia) : $18 \times 54 \times 1$ mm³.

Scintillatori n. 2 - 5 : $40 \times 76 \times 1$ mm³.

Scintillatori n. 3 - 6 : $72 \times 106 \times 1$ mm³.

Lavorare con scintillatori sottili presenta il

grave inconveniente di avere all'uscita del F.M. impulsi di tensione di ampiezza piccola e notevolmente variabile a causa delle forti fluttuazioni statistiche nell'emissione dei fotoni. Le variazioni di ampiezza sono inoltre accentuate dal diverso cammino ottico che percorre la luce prima di raggiungere il fotocatodo nel caso di scintillatori a grande area quali per esempio il n. 3 e il n. 6. D'altronde per un corretto funzionamento dei nostri circuiti di coincidenza sono necessari segnali maggiori od uguali di 3 V ed inoltre per avere un tempo di risoluzione ben definito bisogna in generale che non vi siano forti variazioni di ampiezza nei segnali di comando. E' stato perciò opportuno studiare un sistema di raccolta della luce di scintillazione che permetta di collimare sul fotocatodo il massimo numero di fotoni e che contemporaneamente realizzi la migliore uniformità di risposta dello scintillatore. I dispositivi studiati sono quelli di figg. 12a e 12b dove OA rappresenta lo scintillatore plastico, BC e CD due specchietti di alluminio di spessore $3,5 \times 10^{-3}$ gr/cm² ed E la traiettoria della particella incidente. Le misure sono state effettuate esplorando con un fascetto collimato di elettroni (Sr^{89} , $E_{\beta} = 1,4$ MeV) lo scintillatore e misurando per ogni punto la corrente anodica del F.M.. I risultati delle misure sono riportati in fig. 13. In ordinate vi è la corrente anodica media del fototubo in unità arbitrarie e in ascissa la distanza fra il punto di incidenza degli elettroni sullo scintillatore ed il bordo dello scintillatore a contatto con la guida di luce.

La curva I si riferisce alla geometria di fig.12a

La curva II - si riferisce alla geometria di fig.12b.

La disposizione geometrica del sistema b permette di realizzare, rispetto a quella di a una maggiore uniformità di risposta dello scintillatore associata ad una più elevata efficienza ottica.

La migliore uniformità di risposta è dovuta al

fatto che il cammino ottico dei raggi luminosi incidenti sugli specchietti è nel sistema b praticamente indipendente dai punti di incidenza dell'elettrone sullo scintillatore. La efficienza più elevata è causata dal minor numero di rifrazioni e di riflessioni e quindi dalla minore attenuazione che i raggi subiscono nel sistema b.

La curva III di fig. 13 si riferisce alla geometria b in cui però gli specchi sono stati sostituiti da un sottile cartoncino nero opaco in modo da raccogliere solo la luce collimata per riflessione interna nello scintillatore.

In questo caso la luce viene fortemente attenuata dall'assorbimento da parte dello scintillatore ed inoltre il cammino ottico che percorre prima di raggiungere la guida dipende notevolmente dal punto dello scintillatore attraversato dalla particella. Se si rende opaca la faccia dello scintillatore a contatto con la guida e si raccoglie solo la luce riflessa dagli specchi, si ha una efficienza molto più uniforme proprio perchè i cammini ottici sono abbastanza indipendenti dal punto di emissione della luce (curva IV della fig. 13).

Desiderando raggiungere una discreta uniformità di risposta e la migliore raccolta di luce, abbiamo adottato il sistema b ponendo lo scintillatore a contatto ottico con la guida di luce.

Le guide di luce di raccordo tra scintillatore e F.M. sono state realizzate in plexiglass ed hanno la forma geometrica di fig. 14.

I fotomoltiplicatori usati sono del tipo R.C.A. 6810A. La tensione di alimentazione e la ripartizione dei potenziali sui dinodi e sulle griglie focalizzatrice ed acceleratrice sono state studiate in modo tale che i 6 F.M. dei due telescopi abbiano lo stesso guadagno. Nelle condizioni sperimentali di misura i vari canali di coincidenza

vengono comandati tutti con segnali di ampiezza compresa fra 3 e 5 V.

Gli schermi magnetici sono costituiti da due cilindri; quello interno in μ -metal e quello esterno in ferro dolce dello spessore di 0,5 cm.

c) Caratteristiche dei dispositivi elettronici

Le coincidenze triple sono del tipo a linea a costanti distribuite, già descritte in un precedente articolo [4]. Il loro tempo risolutivo è stato fissato a 6ns. Nella fig. 15 è riportata la caratteristica relativa al canale di doppia 1-2 della tripla.

In fig. 16 è riportato l'andamento del numero di eventi contati in funzione del taglio del discriminatore interno alla coincidenza.

L'esistenza di un largo pianerottolo ci permette di evitare fluttuazioni casuali del numero di conteggio dovute alle variazioni dei potenziali continui di discriminazione.

La coincidenza CRS94 è costituita dall'insieme di due coincidenze doppie a linea. I due segnali di comando, viaggiando lungo due linee di ritardo comandano la prima coincidenza dopo aver attraversato lo stesso numero di sezioni e la seconda dopo essere stati sfasati nel tempo di 50 ns. Dall'uscita della prima si prelevano le coincidenze simultanee, mentre contemporaneamente dall'uscita della seconda si prelevano le ritardate.

Le caratteristiche di coincidenza riportate in fig. 17 e in fig. 18 hanno lo stesso andamento per i due circuiti di doppia.

Affinchè i conteggi delle ritardate possano essere sottratte ai conteggi delle simultanee, occorre mettersi nelle seguenti condizioni:

- α) le due doppie abbiano lo stesso potere risolutivo;
- β) i tagli di discriminazione siano regolati in modo tale

che le coincidenze diano lo stesso numero di impulsi quando vengono comandate con due sorgenti di impulsi casuali.

Abbiamo trovato, durante le misure, che anche le uscite delle coincidenze doppie CRS94 devono essere rapide per evitare fenomeni di integrazione che falsano il conteggio. Tali fenomeni sono dovuti alla elevata frequenza di ripetizione degli impulsi provenienti dalle coincidenze triple. Si è reso quindi necessario porre anche all'uscita del CRS94 degli amplificatori distribuiti seguiti da circuiti di scatto con l'entrata sensibile ad impulsi rapidi della durata dell'ordine di 20 ns.

Le scale che seguono i discriminatori sono del tipo convenzionale con 1 μ s di tempo risolutivo.

B i b l i o g r a f i a

- [1] - P.G. Sona - Ottica degli analizzatori magnetici nell'approssimazione di Gauss. Applicazioni ad un analizzatore da 1000 MeV/c. Considerazioni sull'uso della tecnica del filo per la taratura. - Nota interna n. 3, (15.9.1958) - Laboratori di Frascati del C.N.R.N.
- [2] - G. Ghigo - Flussometro elettronico modello M-02 - INFN Sezione Acceleratore.
- [3] - J.L. Symonds : Methods of measuring strong magnetic field. Rep. Progr. Phys. 18, 83 (1955).
- [4] - U. Pellegrini, B. Rispoli, A. Serra, Nuovo Cimento 9, 171 (1958)

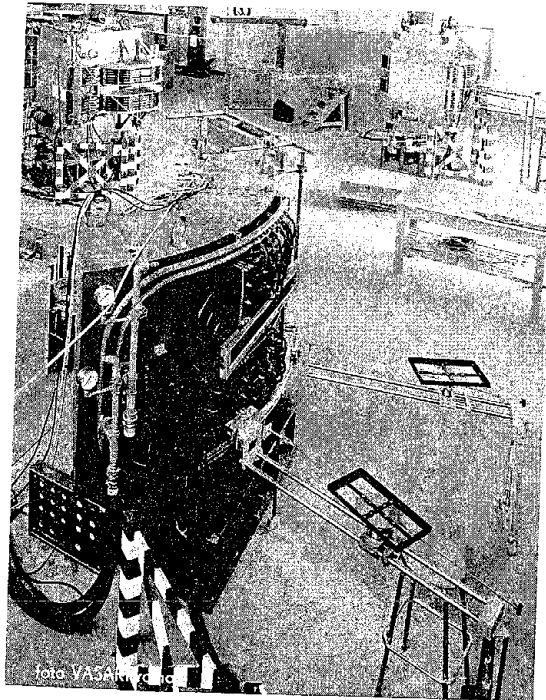
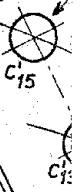


FIG. 1

Spettrometro a coppie: il magnete

FOR

230

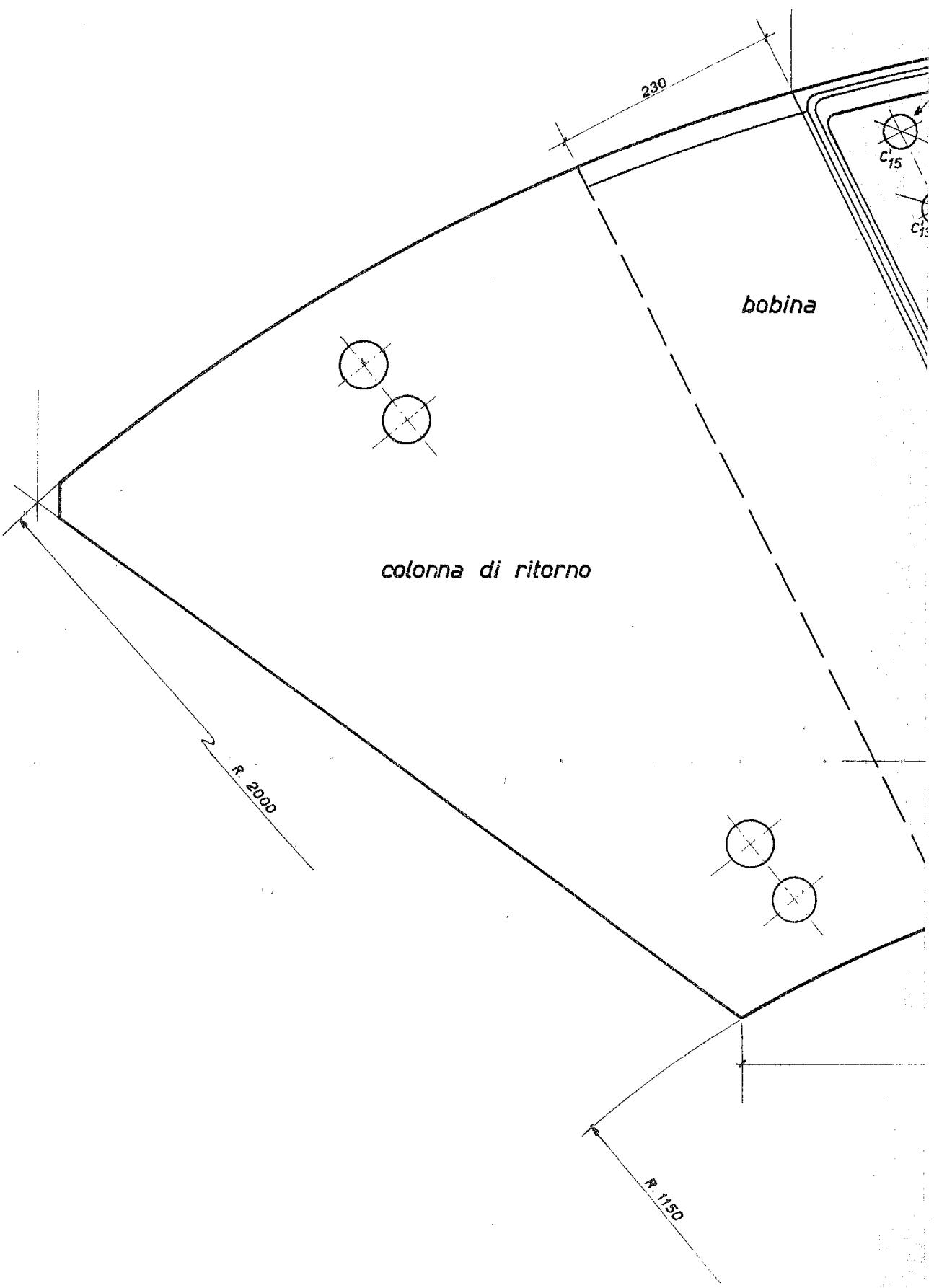


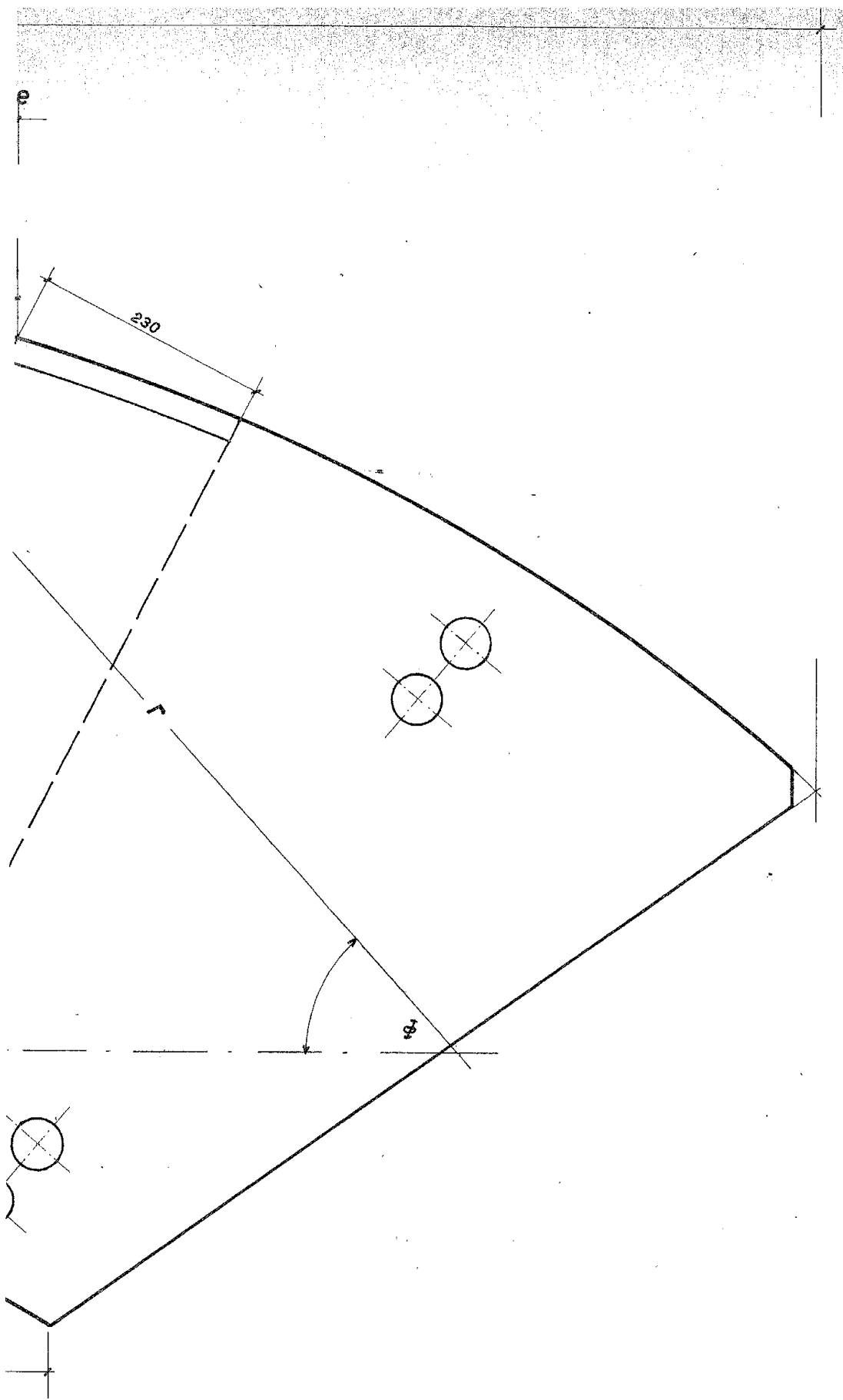
bobina

colonna di ritorno

R. 2000

R. 1150





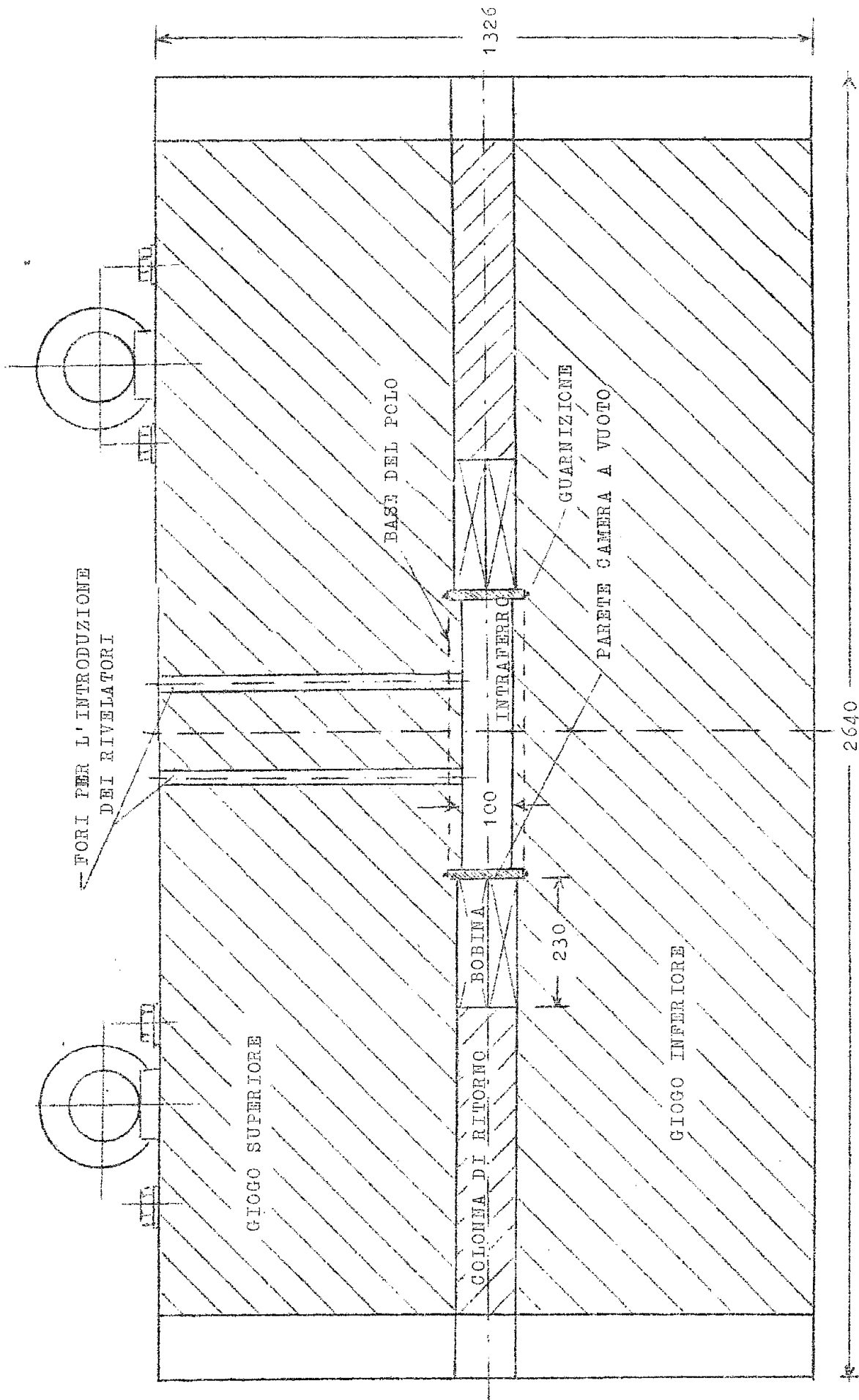


FIG.3 - SEZIONE DEL MAGNETE CON UN PIANO VERTICALE

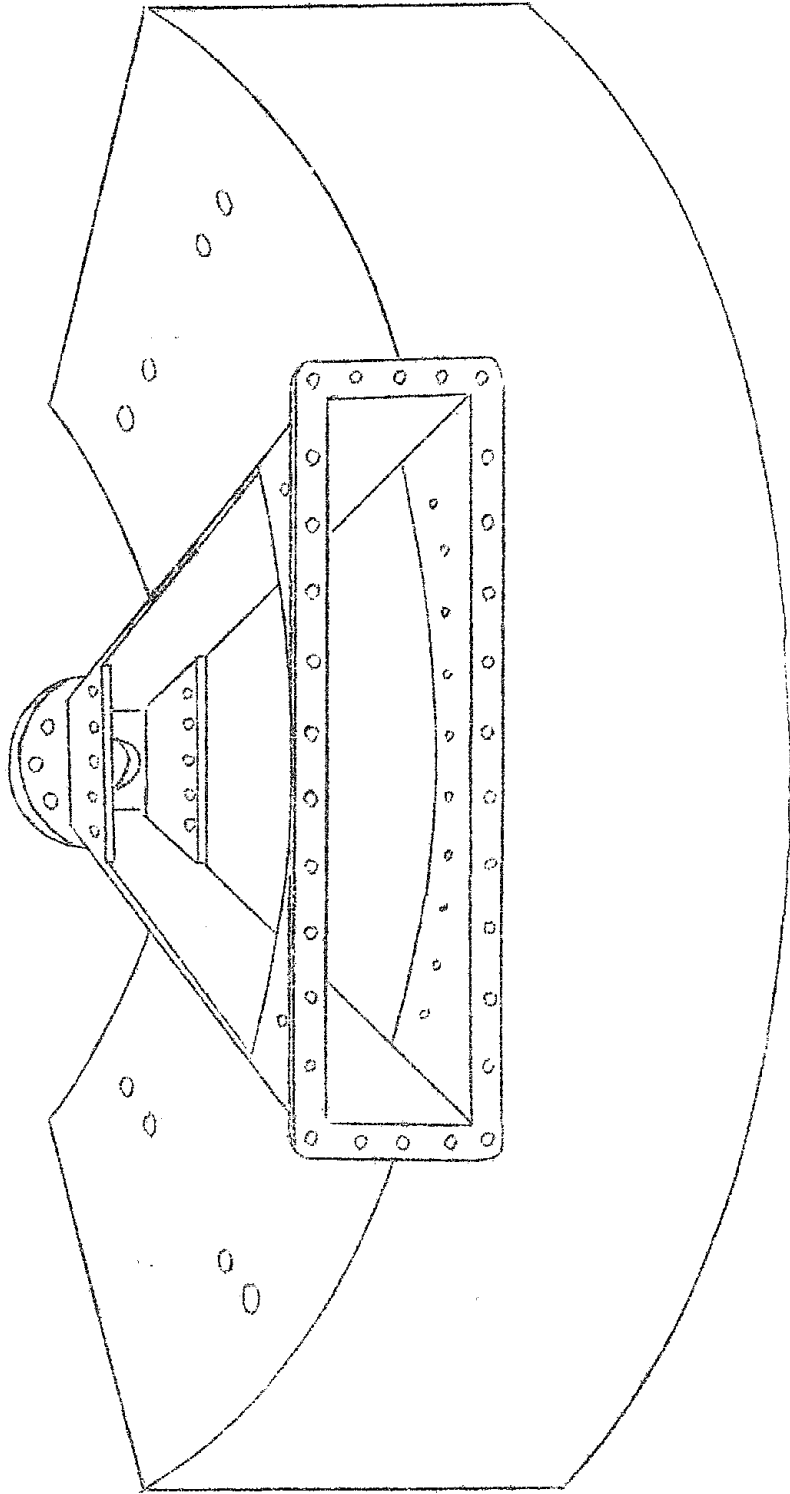


FIG. 4 - CAMERA A VUOTO SUL GIGGO INFERIORE

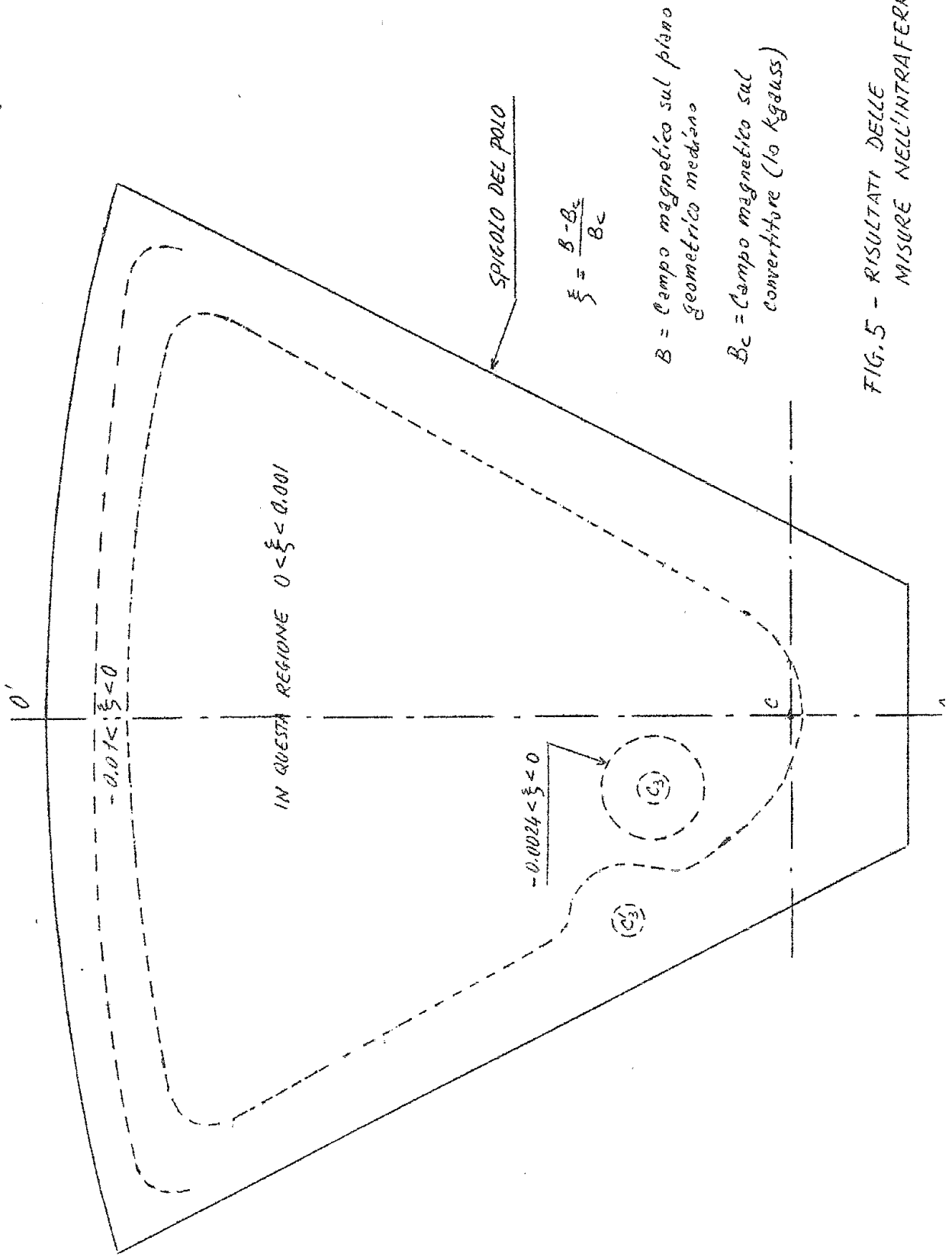


FIG. 5 - RISULTATI DELLE MISURE NELL'INTRAFFERRO

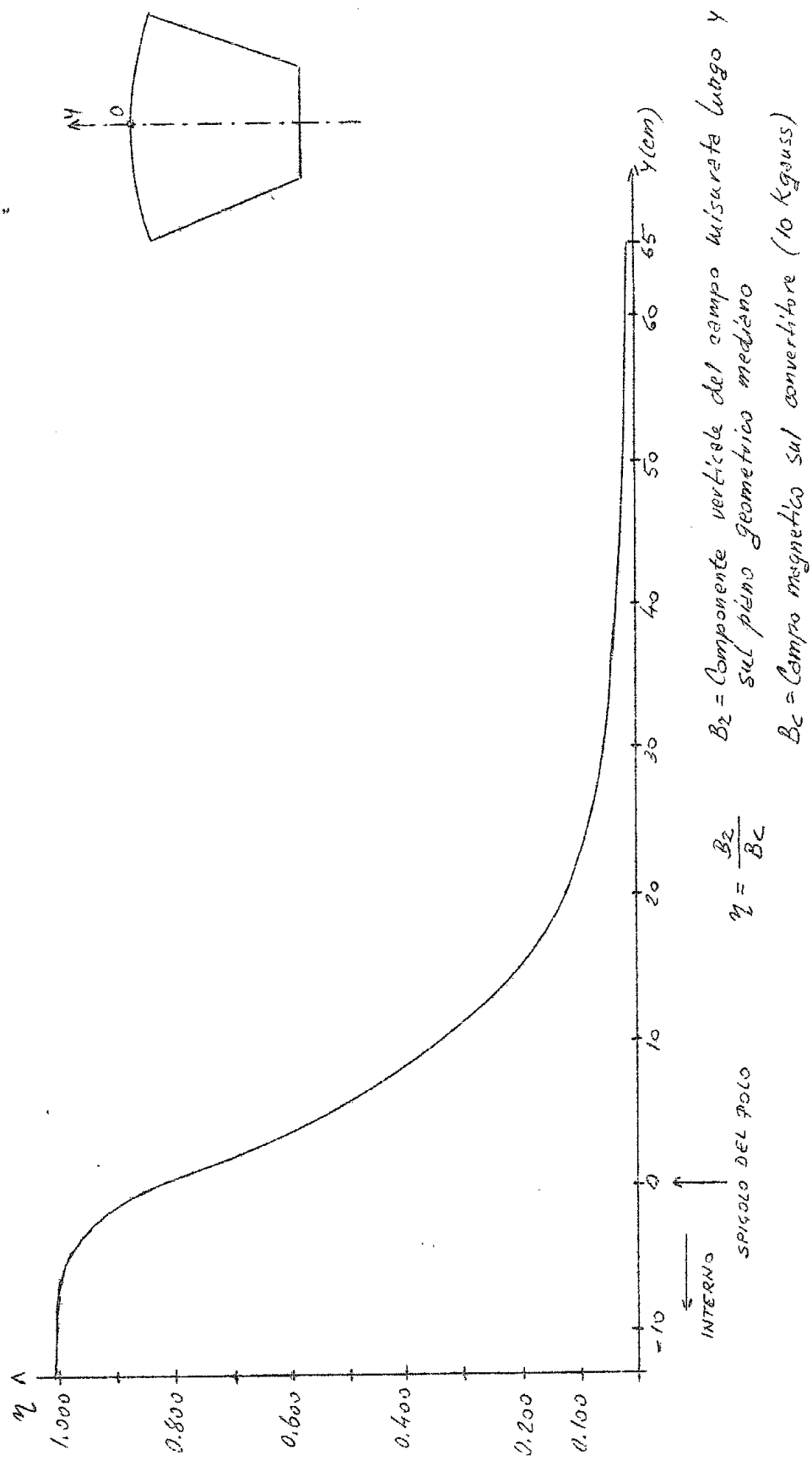
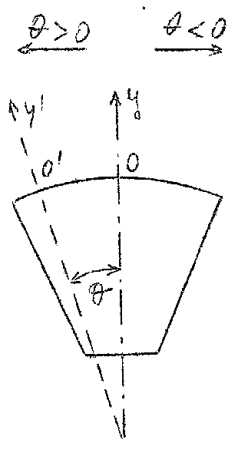
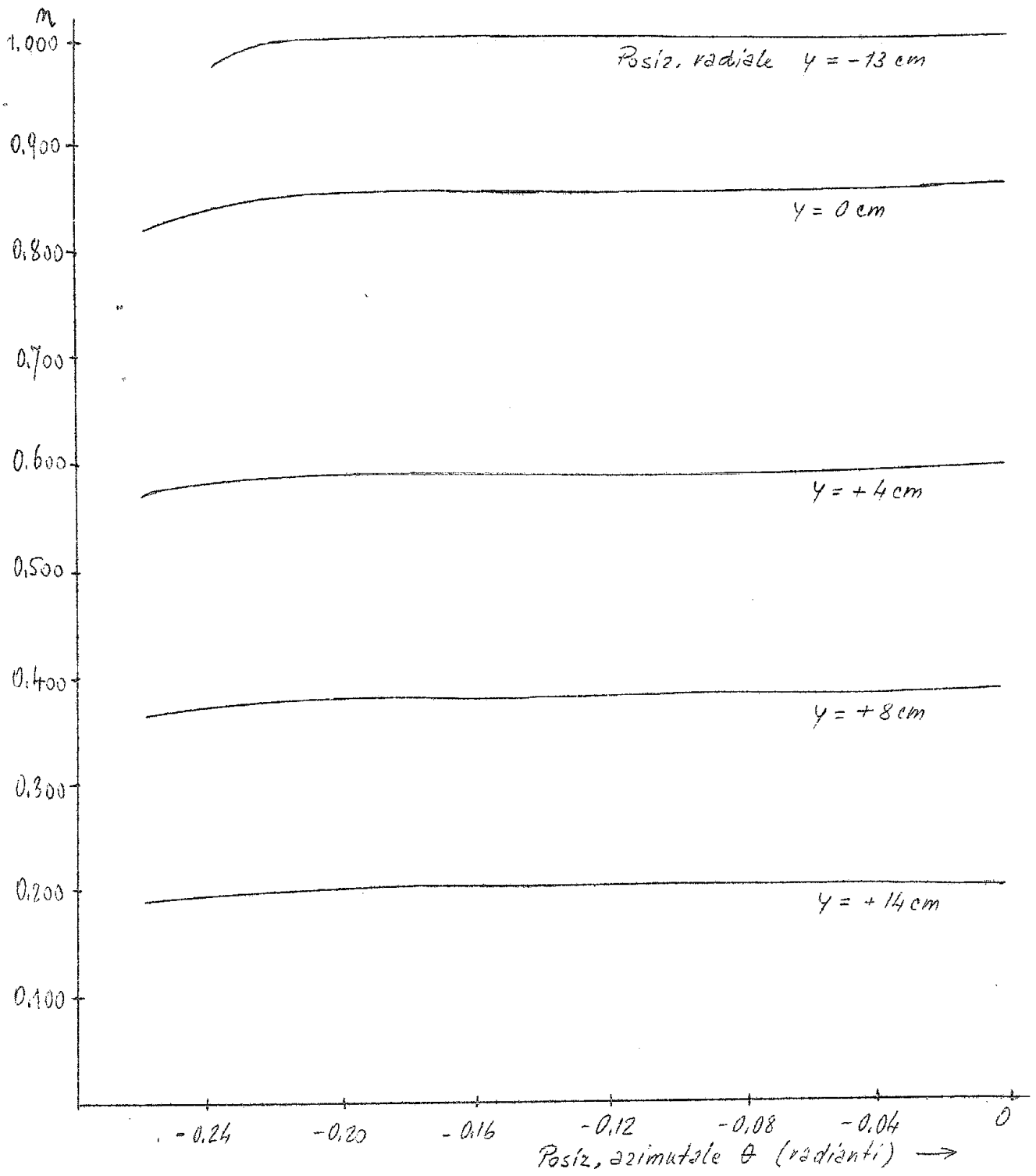


FIG. 6 - RISULTATI DI UNA MISURA RADIALE



$$\eta = \frac{B_z}{B_c}$$

B_z = componente verticale del campo misurata lungo y sul piano geometrico mediano

B_c = Campo magnetico sul convertitore

FIG. 7 - ANDAMENTO AZIMUTALE DI η RELATIVAMENTE A VARIE POSIZIONI RADIALI

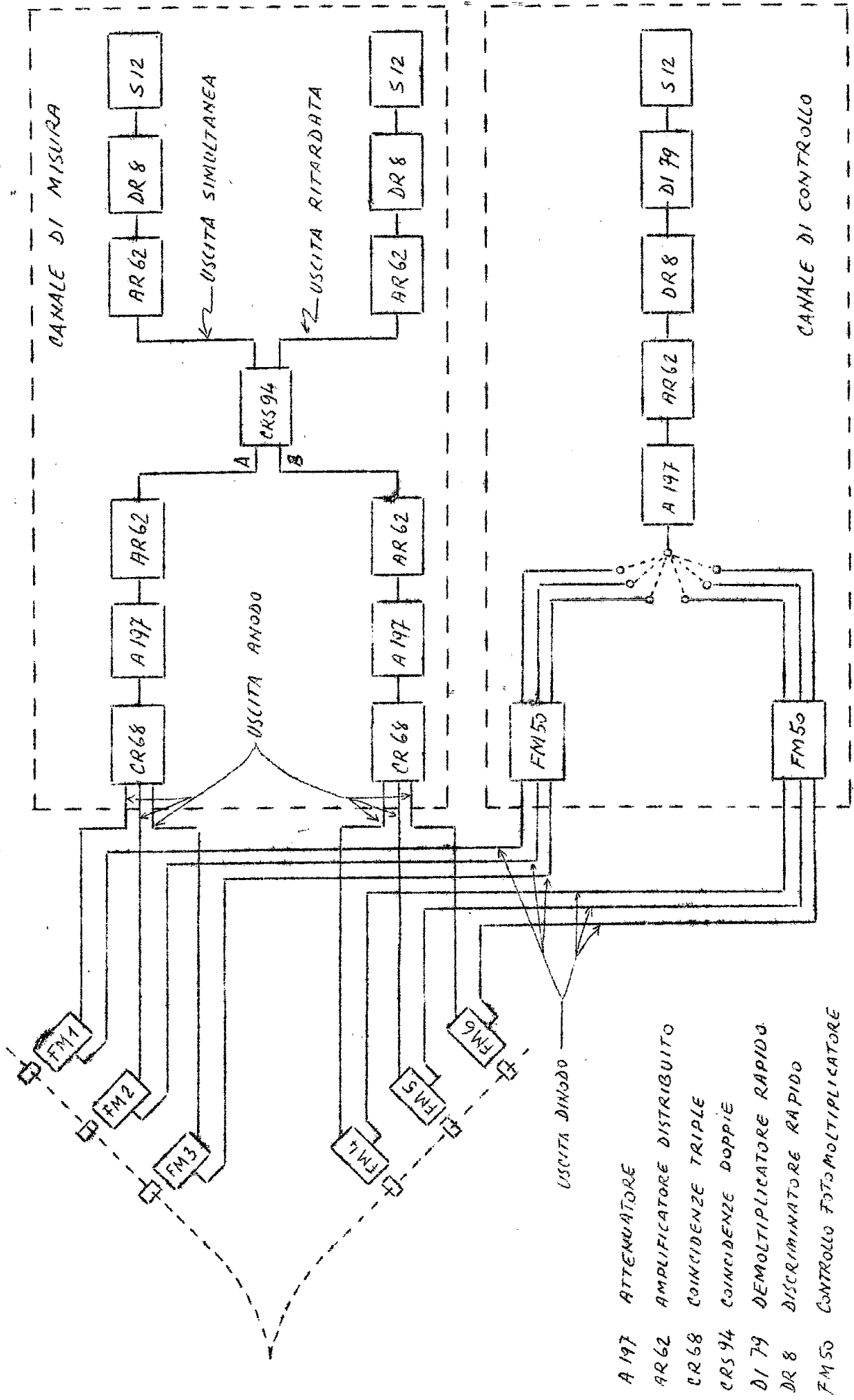


Fig. 10 - Schema a blocchi dei rivelatori e dell'apparecchiatura elettronica

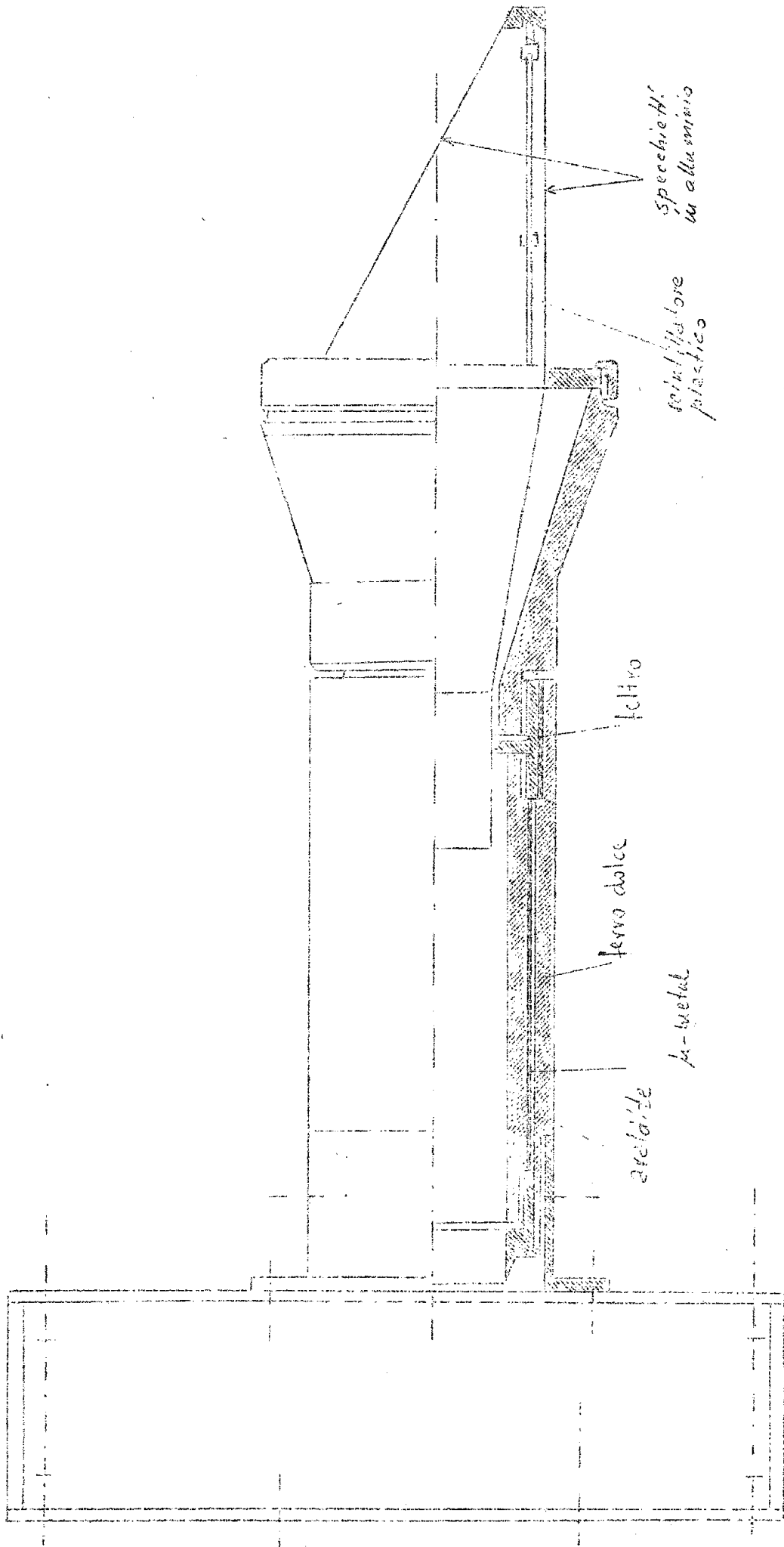
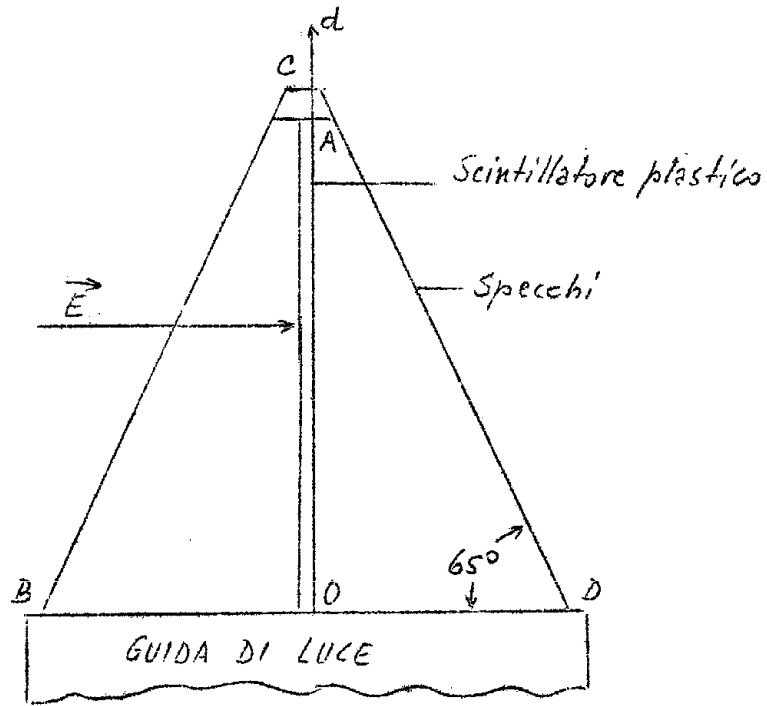
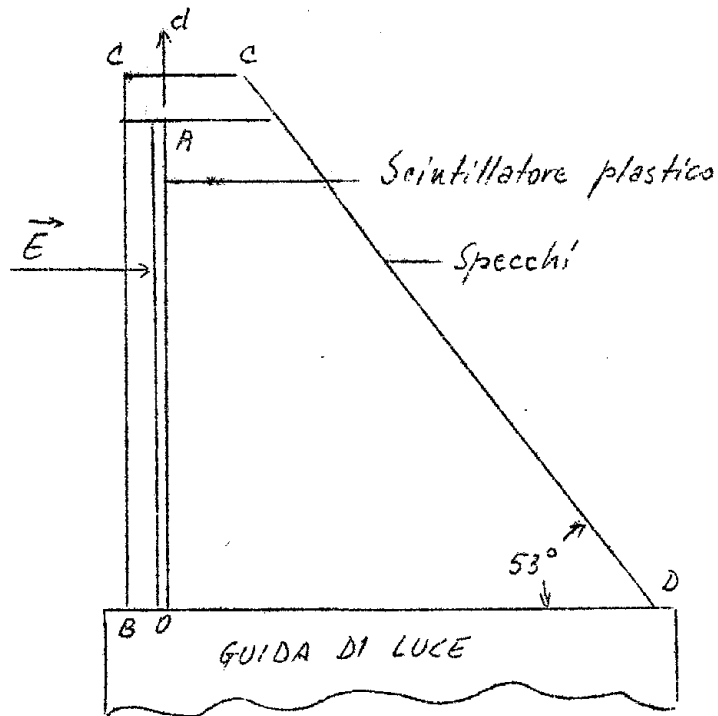


FIG. 11 - CONTATORE A SCINTILLAZIONE
 Schema generale di montaggio



a)



b)

FIG. 12 - DISPOSITIVI PER LA RACCOLTA DELLA LUCE DAGLI SCINTILLATORI

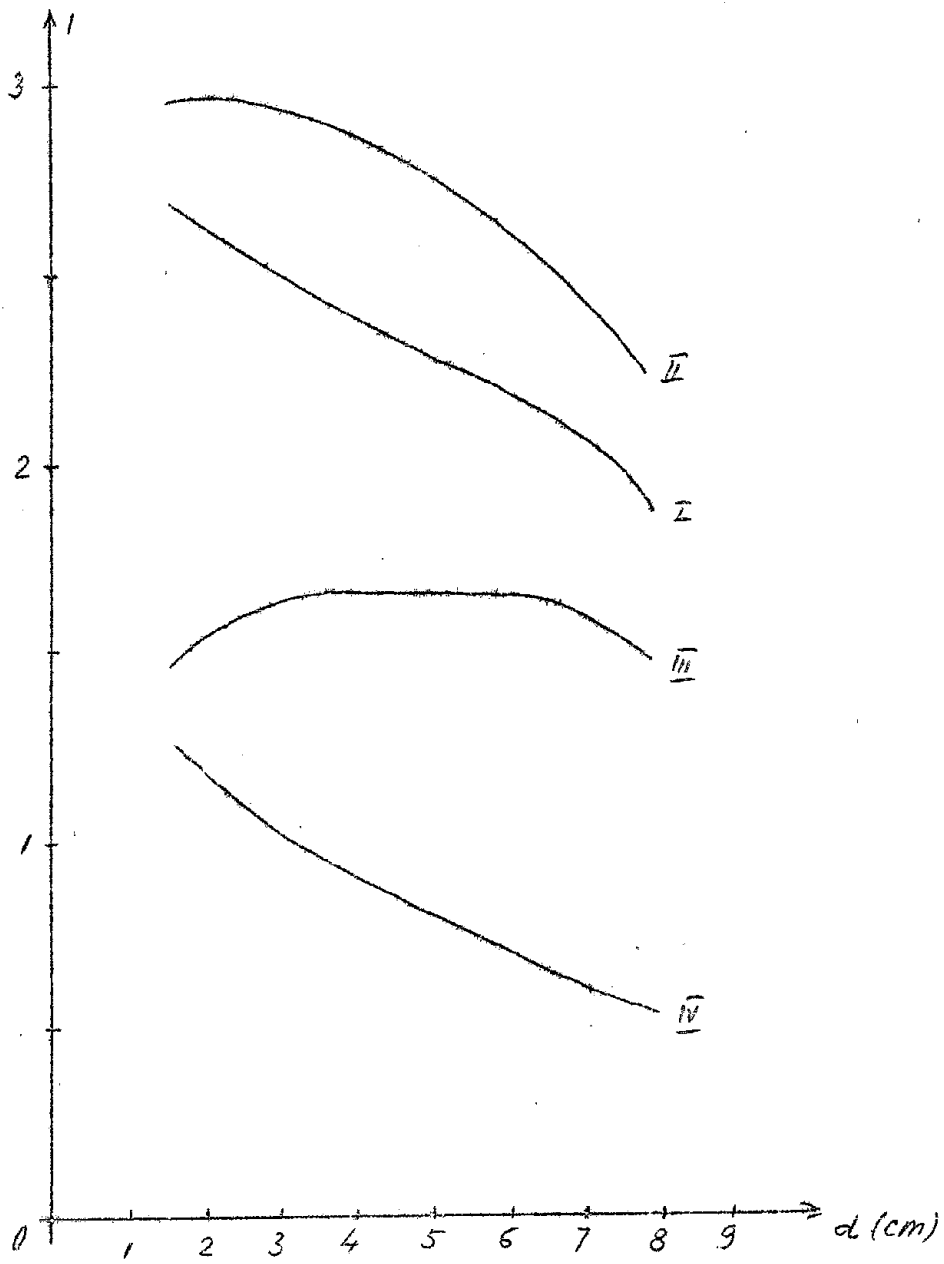


FIG. 13 - ANDAMENTO DELLA CORRENTE ANODICA DEL F.M. IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DEL FASCETTO INCIDENTE DAL BORDO DELLO SCINTILLATORE, -

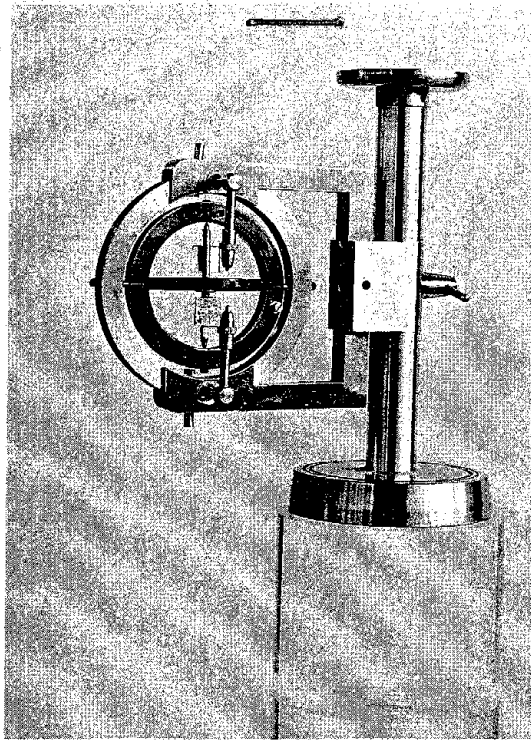


FIG. 8

Dispositivo impiegato per le misure con la tecnica del fi
lo: parte da introdursi nel campo magnetico

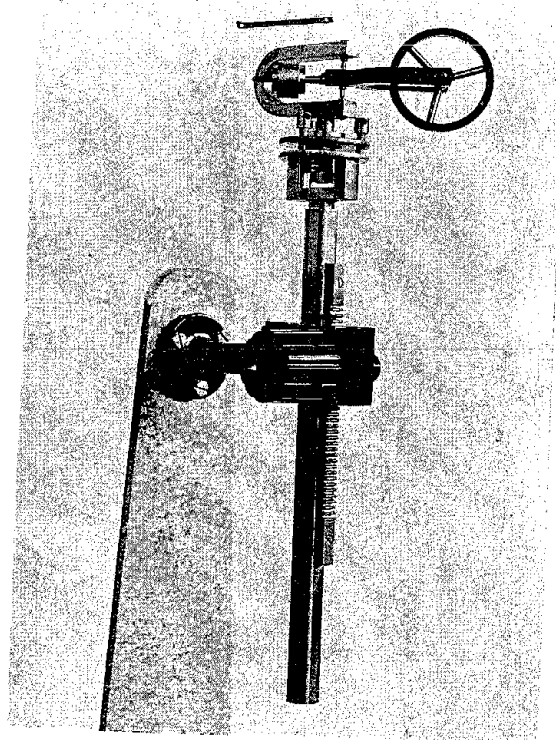
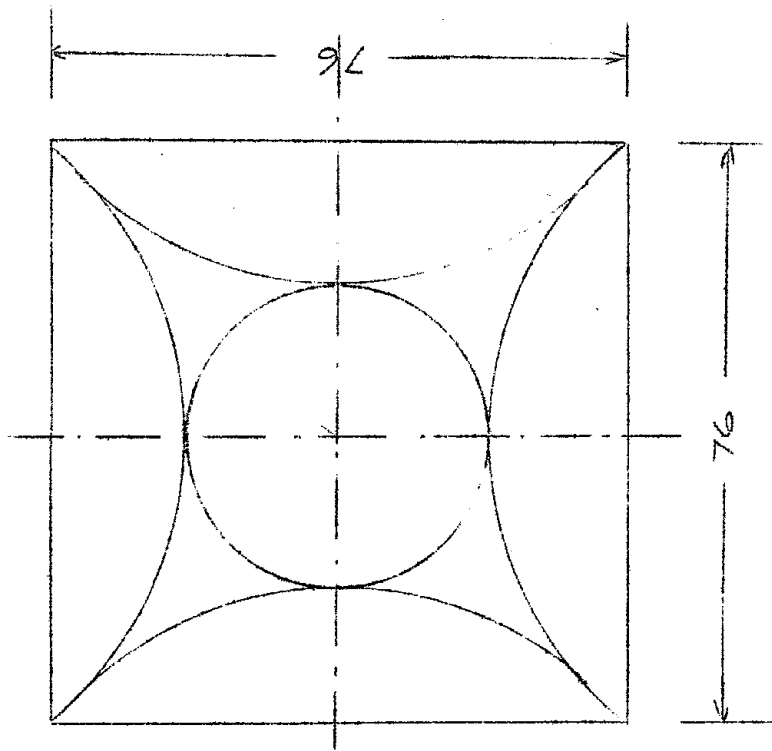


FIG. 9

Dispositivo impiegato per le misure con la tecnica del
filo: parte esterna al campo.

PROSPETTO



PROFILO

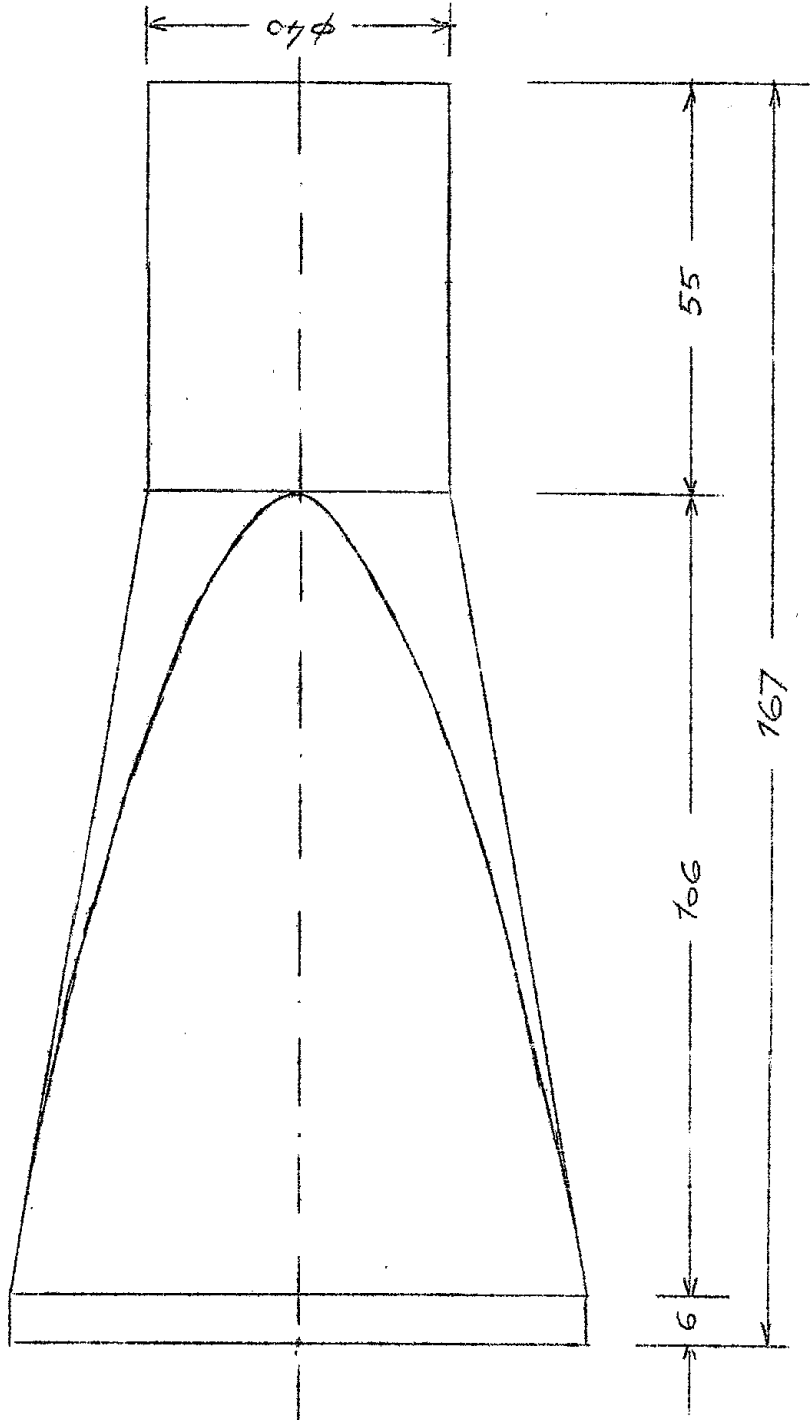


FIG. 14 - SEZIONI DELLA GUIDA DI LUCE

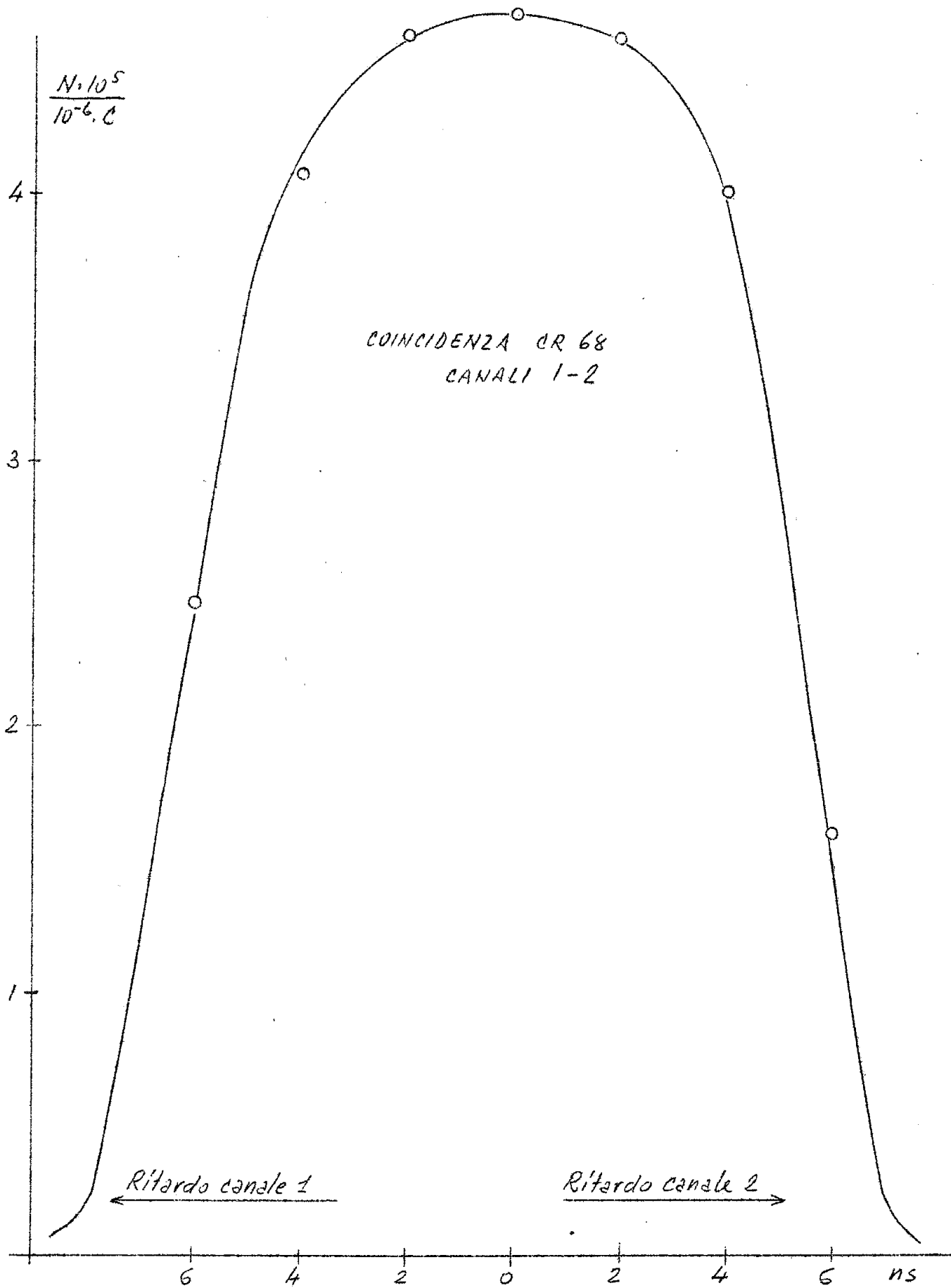


FIG. 15 - CARATTERISTICA DEL CANALE^{di} DOPPIA 1-2
 DELLA COINCIDENZA TRIPLA 1-2-3

COINCIDENZA TRIPLA CR 68

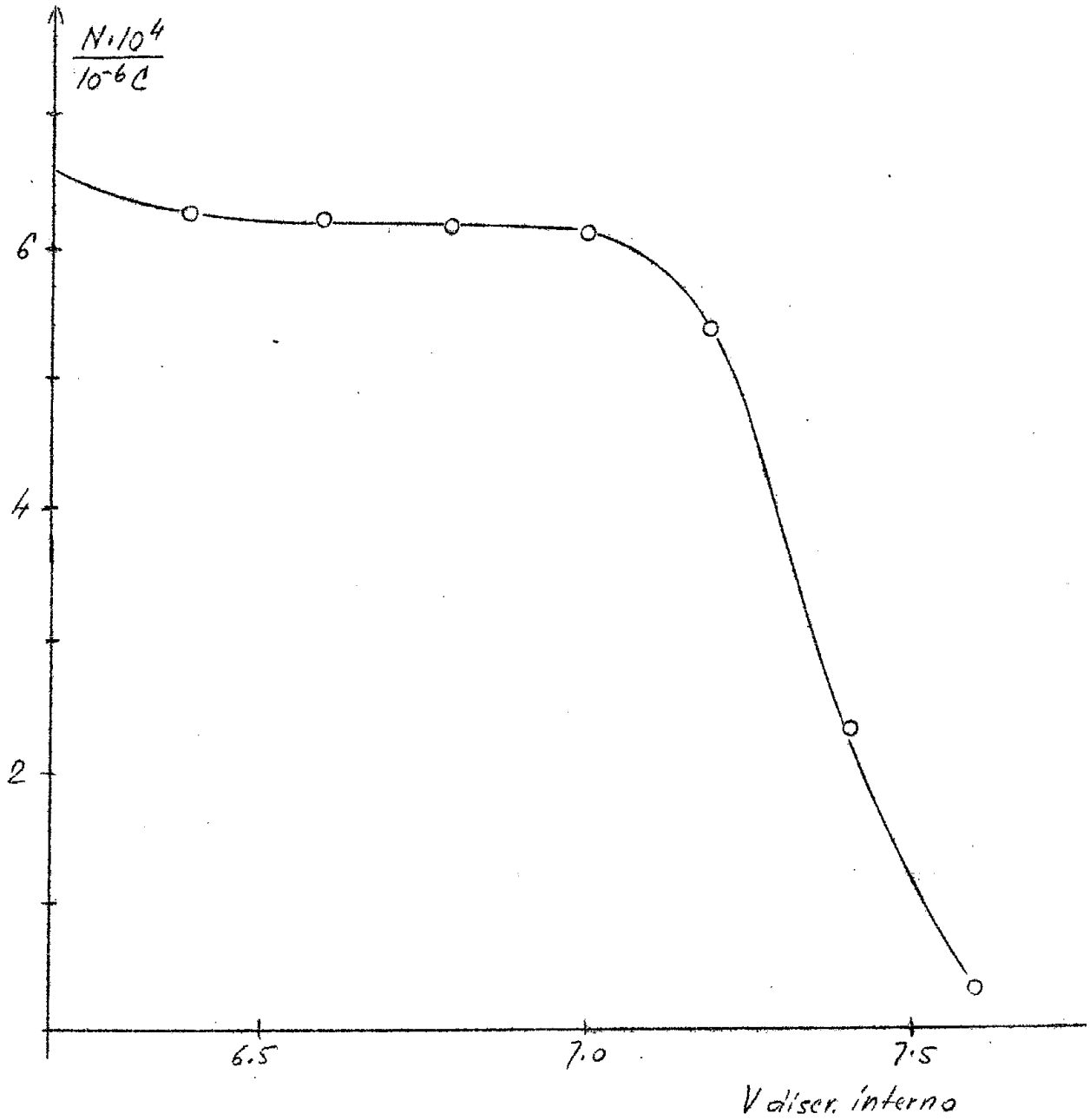


FIG. 16 - ANDAMENTO DEL NUMERO DI EVENTI IN FUNZIONE DEL TAGLIO DEL DISCRIMINATORE

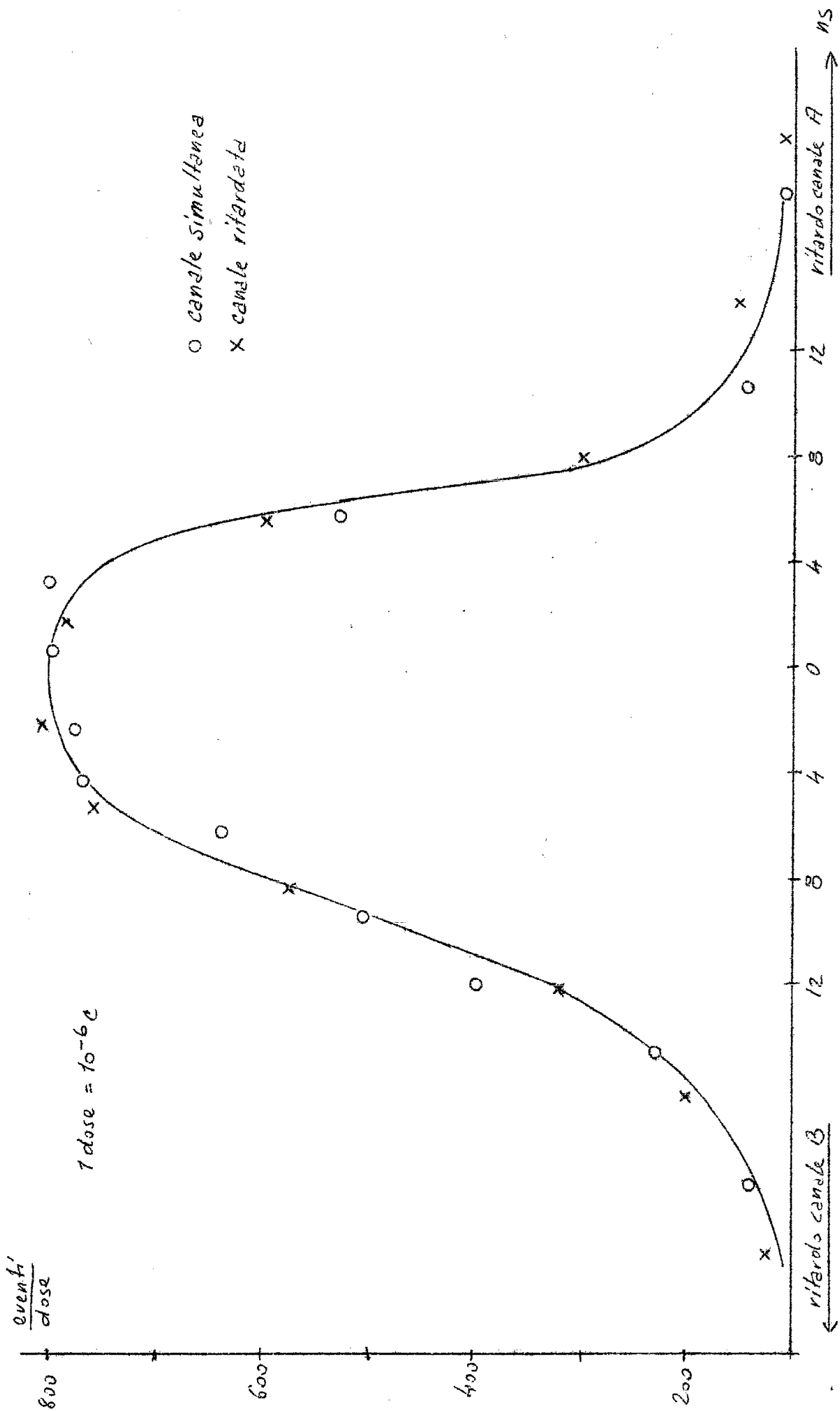


FIG. 17 - CARATTERISTICA DEL CANALE DI COINCIDENZA DOPPIA A-B

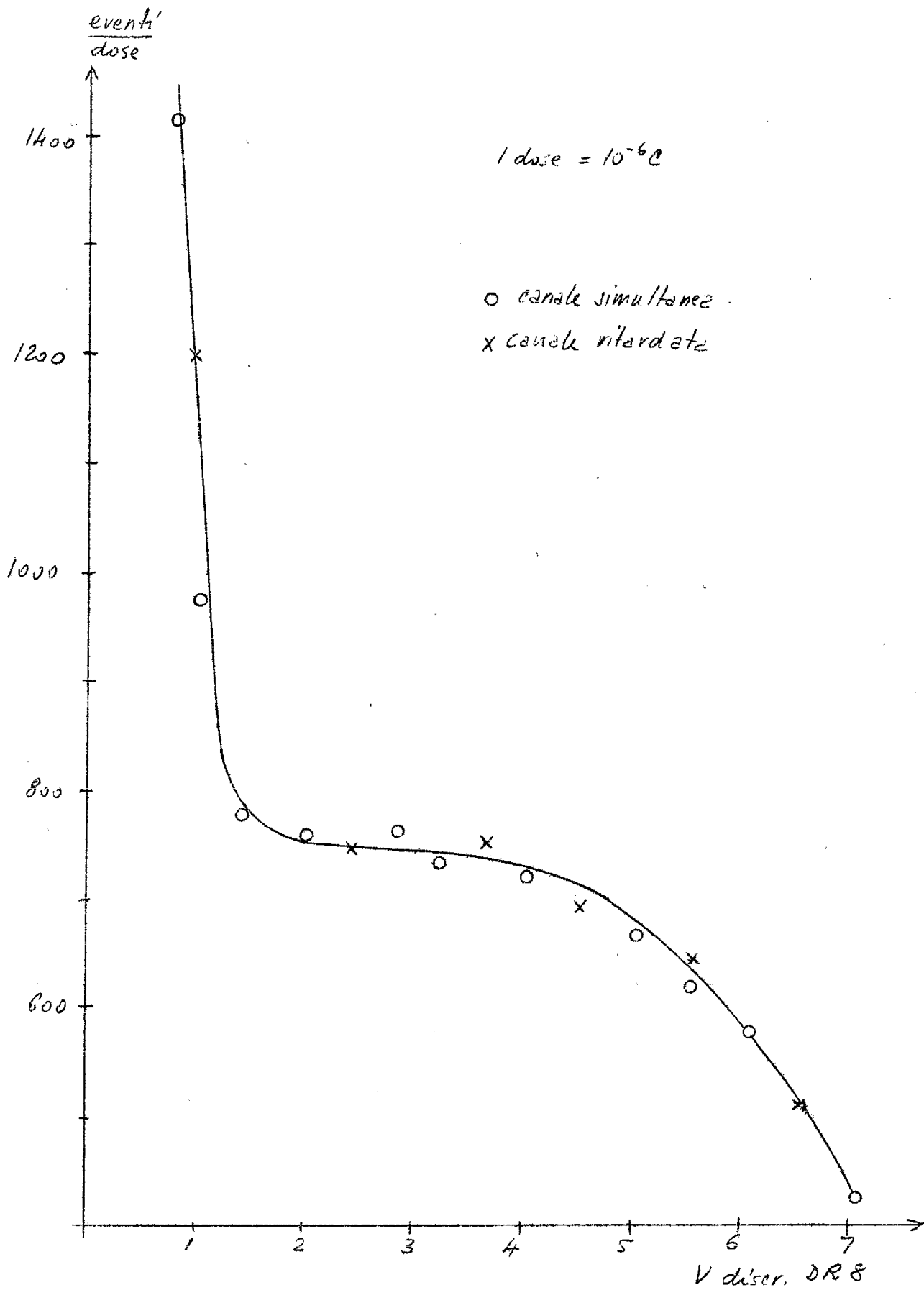


FIG. 18 - ANDAMENTO DEL NUMERO DI EVENTI DI COINCIDENZA DOPPIA A-B IN FUNZIONE DEL TAGLIO DEL DISCRIMINATORE