

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-57/4 (10. 4. 57)

A. Alberigi, C. Bernardini: CONSIDERAZIONI PRELIMINARI CONCERNENTI LO STUDIO E LA RICERCA DEL FASCIO.

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Sezione Acceleratore

Relazione n°: T 30
10 Aprile 1957.

A. Alberigi-Quaranta e C. Bernardini:
CONSIDERAZIONI PRELIMINARI CONCERNENTI LO STUDIO E LA
RICERCA DEL FASCIO.-

Parte I^a

§ 1 - Se si volesse riassumere in un grafico la storia del fascio, in un sincrotrone, la rappresentazione più efficace sarebbe quella che dà ad un certo istante il numero di particelle circolanti, cioè un grafico intensità - tempo. La forma di un tale diagramma è abbastanza facilmente prevedibile, anche se non è praticamente possibile andare più in là di previsioni qualitative.

Poichè vogliamo ora occuparci delle caratteristiche della macchina piuttosto che dell'uso del fascio in particolari esperienze, intenderemo per fascio quel particolare "corpo di prova" che può dare indicazioni sul funzionamento del sincrotrone. In particolare ci riferiremo a due possibili tipi di fasci (intesi nel senso sopra precisato) e cioè:

- 1) fascio pulsato (abbr. in seguito fp); il fp è quello che si ottiene iniettando per un tempo $<$ del periodo di rotazione ed inoltre limitandone con opportuni accorgimenti lo sparpagliamento angolare e laterale.
- 2) fascio completo (abbr. fc), che è quello che si ottiene iniettando per tutto il tempo utile e senza interporre diaframmi lungo la ciambella.

Questi due tipi di fasci possono avere storie sostanzialmente differenti, che illustreremo tra un momento.

Bisogna precisare che cosa si intende per diagramma intensità-tempo; supporremo di disporre di uno strumento ideale che, posto ad un certo azimut, riveli il numero di particelle che passano per quest'azimut nell'unità di tempo senza assorbirle. Poichè in genere il fascio sarà "bunched", la quantità rivelata dallo strumento avrà delle forti oscillazioni: per il momento ci interessa soltanto l'involuppo del segnale.

Con queste precisazioni possiamo indovinare l'andamento del grafico per un fp e per un fc.

Riportiamo il $\log_{10} I$ (I = Intensità nel senso sopra detto, in unità arbitrarie) in funzione del $\log_{10} \frac{t}{T}$, dove T è il periodo di rotazione (quindi in funzione del \log_{10} del numero dei giri).

In fig. 1 è rappresentata la presunta storia del fascio pulsato; in fig. 2) quella del fascio completo:

- 1) fp - nei giri successivi all'iniezione il segnale si attenua con una certa legge regolare sino all'istante t_1 di accensione della RF₁ (regione I). Tra T_1 e T_2 (regione C) si svolge il transitorio del processo di cattura da parte di RF₁. Oltre t_2 non ha molto senso parlare di fp e comunque l'andamento sarebbe analogo a quello di un fc.
- 2) fc - nei giri successivi all'iniezione il segnale si rinforza a causa dell'accumulo di elettroni iniettati consecutivamente per tutto il tempo t_1 (durata dell'iniezione). Se il rendimento dell'iniezione fosse 1, $\log_{10} I$ aumenterebbe secondo la punteggiata l. In realtà si avrà invece una curva come quella a tratto pieno con un massimo (o forse una cuspidè) per $t = t_1$ quando t_1 è scelto in modo che nessun elettrone giunga alla parete interna della ciambella. Per t_1 maggiori $\log_{10} I$ seguirebbe una curva decrescente come la f (punteggiata). La regione C è quella di cattura da parte di RF₁. La regione S ($t_2 < t < t_3$) è quella in cui l'attenuazione del beam è dovuta al solo scattering nel gas residuo. Tra t_3 e t_4 (regione T) lo scattering non ha più effetti apprezzabili né può esserci una brusca attenuazione dovuta alla transizione RF₁ \rightarrow RF₂. Infine (regione F) gli elettroni vengono accelerati senza inconveniente fino a 1000 McV.

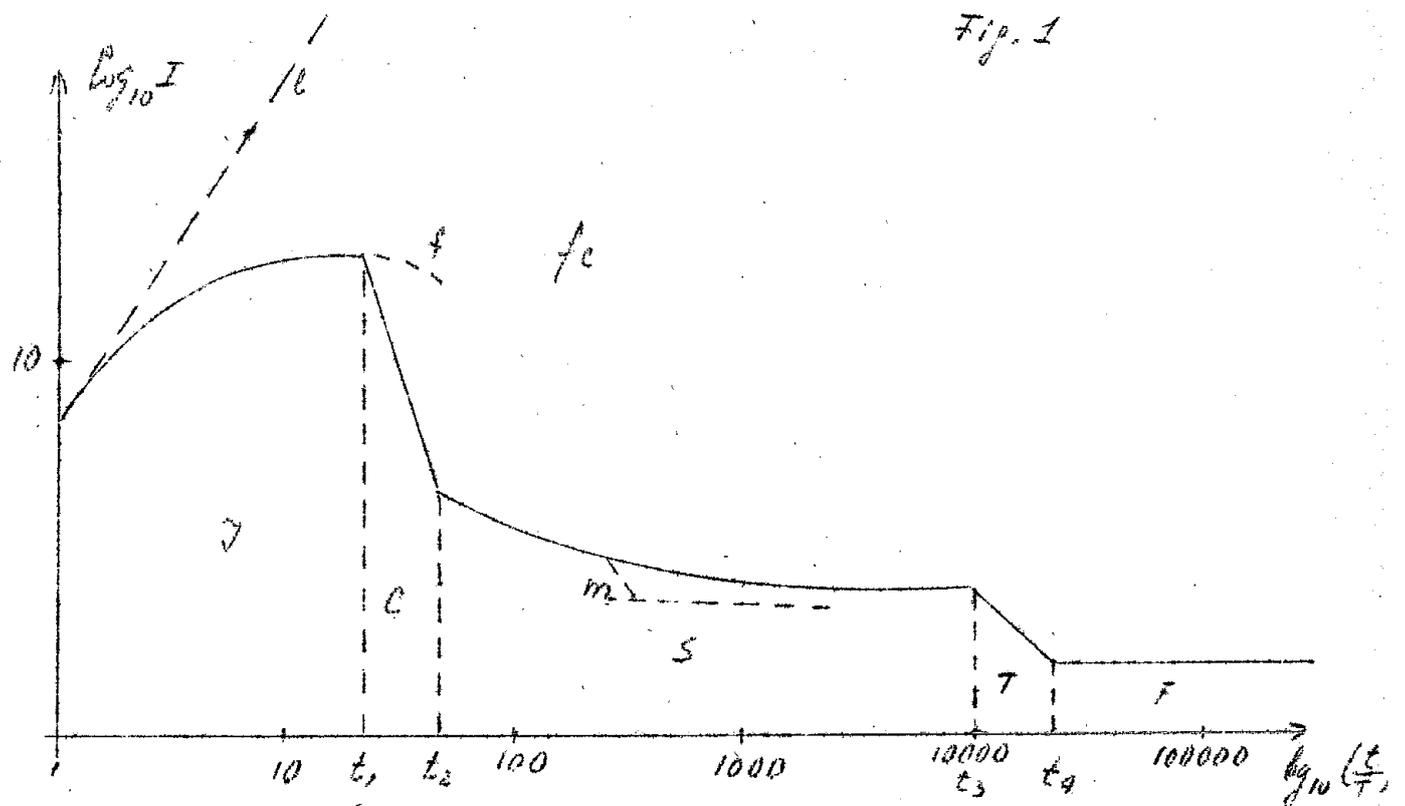
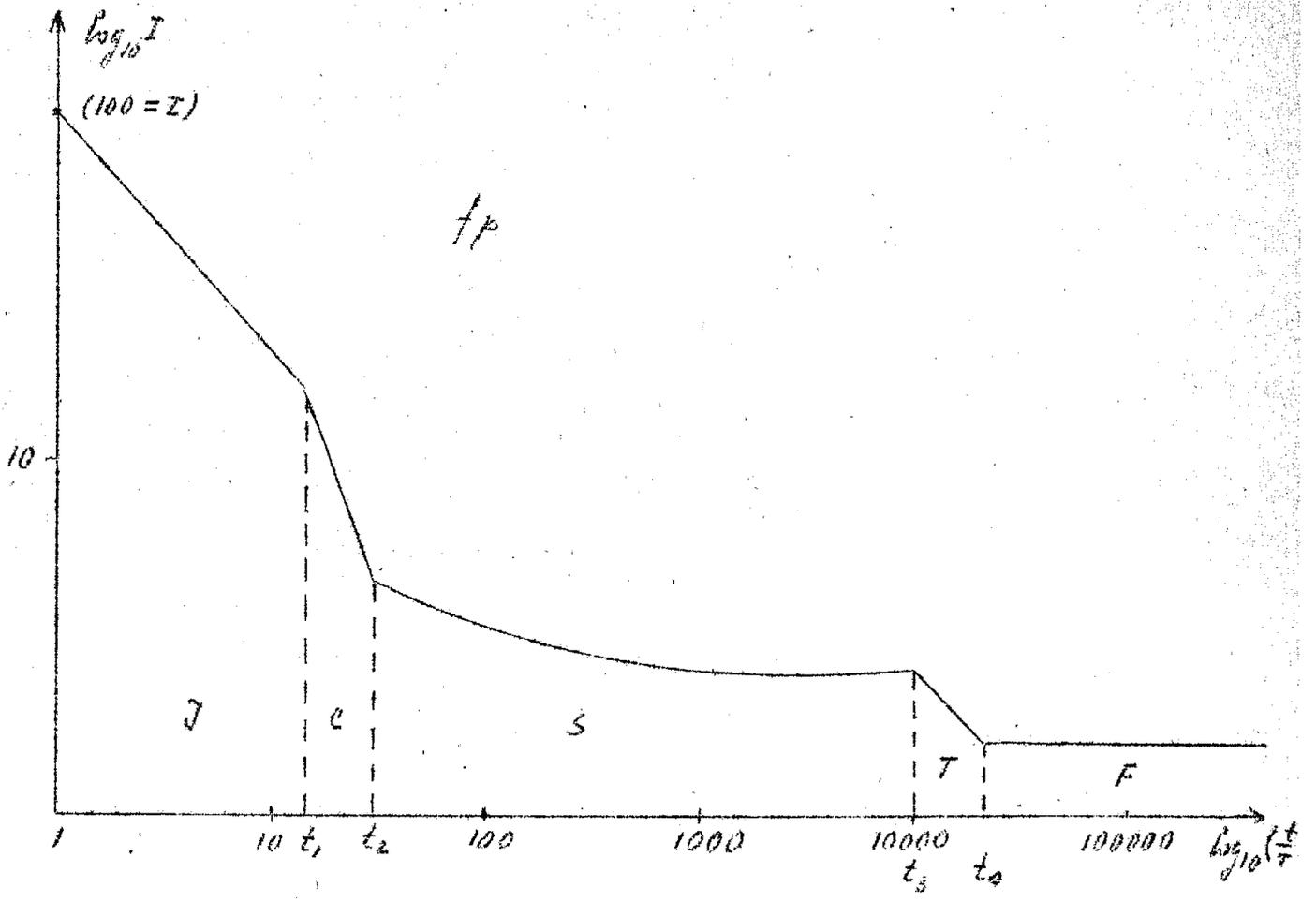
Naturalmente questo schema rappresenta la storia di un beam normale (come la storia dell'invecchiamento di un uomo tranquillo in un paese di igienisti e di pacifisti).

Se il nostro strumento ideale segnalasse qualcosa come la punteggiata m nella regione S (fig. 2), questa sarebbe una chiara indicazione di qualche disfunzionamento, cioè di un difetto di costruzione della macchina.

Inoltre, le fig. 1 e 2 si devono pensare disegnate per una particolare scelta dei parametri aggiustabili della macchina (coordinate nel deflettore, correcting-coils, etc.; la scelta di t_1 di cui si è detto sopra è anch'essa un esempio di questo tipo).

I compiti di chi controlla il beam saranno, per quanto si è appena detto:

- a) fare misure relative d'intensità in funzione dei parametri aggiustabili nelle varie regioni del diagramma (particolarmente I, C, T)



b) fare misure assolute d'intensità a vari tempi, molto distanziati ed assicurarsi che siano tra loro compatibili, nel senso che escludino situazioni impreviste come, per es., la situazione indicata dalla punteggiatura in S (fig. 2). Per esempio l'attenuazione del beam tra 20 MeV e 500 MeV deve essere trascurabile e deve perciò essere possibile verificare questa circostanza.

§ 2) A questo punto bisogna fare un quadro dei tipi di rivelatori di cui effettivamente si dispone rinunciando alla finzione del rivelatore ideale dell'intensità. Senza ancora andare in dettagli, possiamo limitarci a considerare due classi di rivelatori:

D) "Distruttivi", cioè che rivelano l'intensità del fascio assorbendolo.

ND) "non distruttivi" cioè che rivelano l'intensità del fascio tramite qualche azione a distanza del fascio stesso.

I metodi D possono probabilmente rivelare fasci molto più deboli di quanto non sia consentito ai ND. E' evidente però che il beam può essere intercettato in condizioni ideali, cioè sulla sua orbita effettiva, solo al primo giro. Nei giri successivi è necessario deflettere il beam sul rivelatore e questa è un'ulteriore complicazione. Tra i metodi D di rivelazione vanno inclusi anche quelli che non distruggono immediatamente il beam ma hanno un certo coefficiente di trasmissione compreso tra 0 e 1.

Il seguente quadro riassuntivo si riferisce alla possibilità e non alla convenienza dell'uso di un certo metodo e si mantiene abbastanza sulle generali per poter essere ritenuto completo per quelle che sono le idee attualmente in circolazione. Questo vuol dire che gli interrogativi e le caselle vuote possono essere rimpiazzate da nuove idee sui metodi di rivelazione. Il quadro è il seguente:

		I	C	S	T	F
fp	D	si	si	?	no	no
	ND	si	si	no	no	no
fc	D	si	?			no
	ND	si	si	si	si	si

La sua lettura è immediata, basta farne un esempio per maggior chiarezza: se numeriamo le caselle come gli elementi di una matrice, la casella 23 contiene un no per l'impiego di metodi non distruttivi per un fp nella regione S del diagramma I (t) e così via.

Per definire questa introduzione, si può accennare al fatto che potrebbe convenire in qualche caso l'uso del beam in modo insolito; p. esempio; sospettando l'esistenza di una risonanza (dovuta a distorsione delle Sup. magnetiche) pericolosa, che agisce su tempi lunghi, si potrebbe pensare di verificarla con un bp che circoli a campo costante. Ma questa possibilità non va per il momento presa molto sul serio ed i risultati di metodi come questo sarebbero certamente di difficile interpretazione.

§ 3). Il primo dispositivo necessario per lo studio del fascio è quello che permette il fp; questo dispositivo, che chiameremo d'ora in avanti chopper, deve agire sul cammino del fascio prima dell'ingresso del deflettore.

Esso ha la funzione di lasciar passare il fascio tra l'iniettore ed il deflettore per un tempo assegnato che nel nostro caso dev'essere $\approx 0,1 \mu\text{sec}$. Per di più l'istante in cui il chopper funziona deve essere comandabile, nel senso che si deve poter regolare il ritardo tra l'istante in cui il campo B sull'orbita principale (centro ciambella) ha un valore fissato e l'istante in cui agisce il chopper; il B si suppone naturalmente noto. Se si conosce anche il valore dell'energia degli elettroni immessi a quell'istante, le ampiezze radiali di betatrone risultano perfettamente determinate, entro i limiti definiti dallo spread del fascio rispetto all'asse del deflettore ed all'uscita di esso.

La rivelazione del fp al primo giro si può fare in vari modi, e cioè:

Modi D:

- 1) bandierine fluorescenti
- 2) reticelle fluorescenti
- 3) elettrodi raccoglitori

Modi ND: non convenienti per un solo giro. Tuttavia i modi ND per molti giri possono essere tarati con le informazioni dei rivelatori D di cui sopra.

Le bandierine e le reticelle indicano se c'è un beam ed in più lo localizzano. Gli elettrodi raccoglitori servono soprattutto a valutarne l'intensità; ma in particolare possono essere utili:

3a) un elettrodo raccoglitore collocato dietro l'uscita del deflettore ed all'altezza della bocca di questo per segnalare le particelle che non lo superano nelle condizioni in cui sono state iniettate.

3b) un elettrodo (o uno scintillatore) sulla parete esterna della ciambella (entro di essa) ad 1 o 2 metri davanti al deflettore per segnalare la posizione dell'orbita istantanea di equilibrio (centro delle oscillazioni), quando questa non ha ancora oltrepassato il deflettore..

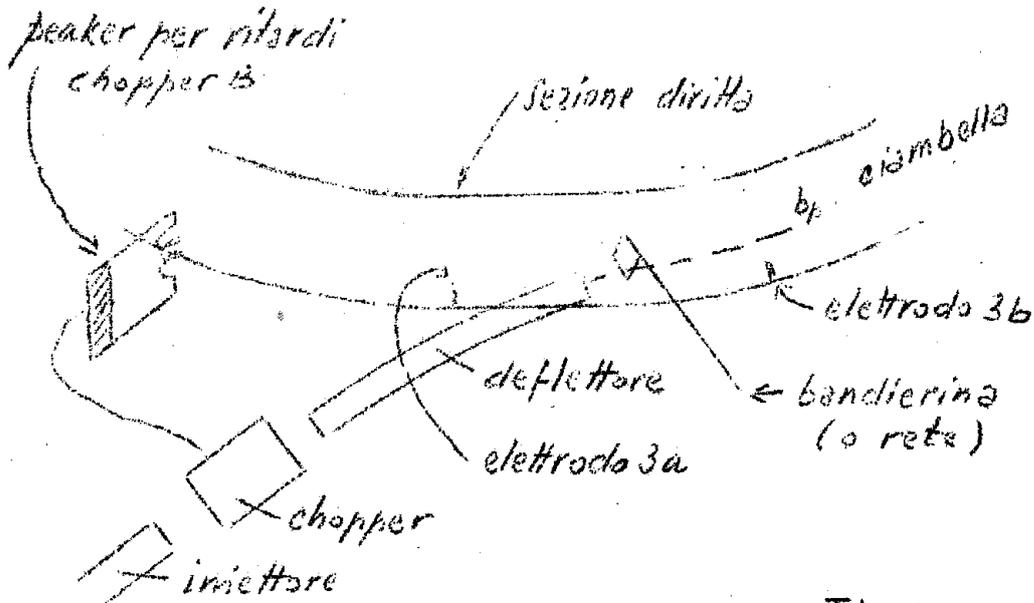


Fig. 3

Le funzioni di questi rivelatori si sovrappongono almeno in parte. Essi non sono tutti necessari simultaneamente.

Lo studio dell'iniezione si può fare in vari modi che ci limitiamo ad elencare con la relativa bibliografia:

- 1) Studio dei "tempi di sopravvivenza" (t di S) (1)
 - 1 α) t di s con fp (Blewett 53) (1)
 - 1 β) t di s con fc (Ramm 56, Cohe 56)
- 2) Studio delle orbite
 - 2 α) entro il primo giro, con fp e bandierine (lettera Amman; Sacerdoti appunti Salvini 1953)
 - 2 β) per molti giri, con fp ed elettrodi ad induzione (Blewett 53, Swartz 53, Riddiford 53, Lo Caine 53, lettere Sacerdoti)

Per "tempo di sopravvivenza" (survival time) s'intende la durata dell'intervallo, tra l'istante in cui l'elettrone viene iniettato e l'istante in cui esso viene assorbito da un rivelatore posto sulla parete interna della ciambella. Il t dis. evidentemente è massimo per una particella iniettata sull'orbita di equilibrio (istantanea) ed è = 0 per una particella iniettata con il momento proprio dell'orbita principale all'istante di iniezione. Se il t di s è molto minore del previsto (in base alla spiralizzazione ed alla ampiezza iniziale delle oscillazioni β -trone, cioè all'istante d'iniezione per un iniettore a energia costante) vi è una grande probabilità che questo accorciamento sia dovuto ad una imperfezione che innosca rapidamente oscillazioni di grande ampiezza (si perde cioè memoria della ampiezza

(1) Vedi in fondo l'esatta citazione.

iniziale in pochi giri). Se invece è poco minore o poco più lungo si deve ritenere che la spiralizzazione e quindi l'indice del campo siano diversi dal previsto o che ancora le ampiezze iniziali si modificano durante l'iniezione ma lentamente.

Lo studio delle orbite è invece lo studio delle posizioni in cui passa un beam attraverso una certa sezione della ciambella ad un certo azimuth; in sostanza si tratta di verificare che le oscillazioni di β -trone hanno nodi e ventri compatibili con il valore noto dell' n , e questo si può fare con il beam pulsato e le bandierine entro il primo giro. Oppure si tratta di controllare l'andamento dell'ampiezza di oscillazione e della spiralizzazione in molti giri mediante elettrodi ad induzione.

Quest'uso degli elettrodi ad induzione non è probabilmente molto pratico in confronto all'uso di metodi D per ottenere i tempi di sopravvivenza che (salvo lo studio del primo giro) danno informazioni equivalenti.

- § 4) Quando il fascio ha superato i numeri di ostacoli che intralciano l'iniezione e la cattura, quello che resta da fare è di sorvegliarne la corsa sino all'energia massima. Resta cioè da controllare che l'attenuazione, dopo la cattura, sia contenuta entro limiti ragionevoli, specialmente durante la transazione $RF_1 \rightarrow RF_2$.

I rivelatori d'intensità (e quindi dell'attenuazione dell'intensità) per questa parte della storia del fascio, anche quando vedono il miglior fascio producibile devono avere una sensibilità notevolmente più grande di quelle richieste all'iniezione. Essi sono sostanzialmente ancora elettrodi ad induzione almeno fino ad energie dell'ordine di 100 MeV. a 100 MeV ogni elettrone irradia (radiazione di sincrotrone) circa 4×10^{-12} Watt e quindi con un numero ragionevole di elettroni (per es. 10^{10}) e con un rivelatore che converta buona parte dello spettro irradiato si dovrebbe poter fare una misura di intensità del fascio, a partire dalla luce che proviene da esso in una certa direzione tangente alle orbite.

E' necessario impostare ed eseguire con notevole anticipo di tempo i calcoli numerici relativi alla risposta del rivelatore di luce allo spettro onesso. (Tonbouliau 56, Sewinger 49).

E' in ogni caso desiderabile avere simultaneamente, le indicazioni degli elettrodi pick-up e quelle della luce per poter eseguire delle misure di attenuazione che abbiano senso.

Infine, per poter studiare i movimenti del beam alla fine del ciclo di accelerazione, sia durante l'avvicinamento della targhetta per bremsstrahlung, sia nell'eventualità dell'estrazione degli elettroni è necessario rivelare la luce con un sistema ottico tale che ad uno spostamento del beam corrisponda binivocamente uno spostamento della sua immagi-

ne (Cargon 53). A 1000 MeV ogni elettrone irradia circa 4×10^{-8} Watt e quindi un beam di $10^9 - 10^{10}$ particelle rappresenta una sorgente piuttosto intensa anche se osservata soltanto nel visibile. La taratura di un tale dispositivo si fa stabilendo una corrispondenza tra le posizioni delle immagini e le posizioni del bordo di una targhetta che intercetta il beam.

Parte II°

§ 1) Al fine di facilitare la stesura di un programma definito per la ricerca e lo studio del fascio nel nostro Elettrosincrotrone, discuteremo ora i dispositivi sperimentali che si possono eventualmente utilizzare per questo scopo.

Seguendo la classificazione adottata esamineremo nell'ordine:

- a) Strumenti distruttivi
- b) " non "
- c) " per pulsare il fascio (Chopper)

§ 2)

- a) Strumenti distruttivi.

Ricordiamo che per strumenti distruttivi si intendono quelli che forniscono informazioni su qualche caratteristica del fascio (per es. posizione, intensità) ma che operano al tempo stesso una forte diminuzione o una completa distruzione del fascio. Gli strumenti distruttivi che intendiamo esaminare sono i seguenti:

- I) Bandierine fluorescenti;
- II) Elettrodi raccoglitori (pozzo di Faraday)
- III) Reticella-scattering e contatore a scintillazione.

I) Bandierine fluorescenti (B.F.)

Questi dispositivi consistono di reticelle alquanto fitte di fili metallici (Sacardoti 56 N) o anche (Blewett 53) piastrine metalliche ricoperte di sostanze fluorescenti. Tali sostanze (per es. Zn S attivato) possono venire mescolate con vernici e spalmate in strato sottile sui fili e sulla piastrina. La posizione di incidenza del fascio sulla (B.F.) viene rivelata dalla luminosità prodotta dal fascio nel punto di incidenza. In genere le B.F. hanno una superficie piccola rispetto alla sezione della ciambella e vengono sostenute da un'asta metallica manovrabile dall'esterno della ciambella, in modo da poter sondare con la B.F. tutta la sezione della ciambella.

Ovviamente questa manovra viene eseguita, quando nella ciambella è fatto il vuoto; le eventuali piccole fughe prodotte da questa manovra della B.F. non ostacolano sensibilmente il funzionamento della macchina durante la fase di messa a punto del primo giro durante il quale vengono in genere impiegate le B.F.

Nel caso in cui le pareti della ciambella non siano trasparenti occorre prevedere la costruzione di opportune finestre trasparenti attraverso le quali sia possibile osservare la luminosità prodotta dal fascio sulla B.F. Nella B.F., specialmente che siano costituite da piastrelle metalliche, è opportuno prevedere una efficiente messa a terra di ogni zona della B.F. per impedire l'accumulo delle cariche raccolte.

Le B.F. vengono in genere disposte in numero di 3-4 per ogni quadrante.

In alcuni casi (Blowett 53) la parte metallica della B.F. è stata utilizzata come elettrodo raccoglitore.

Occorre ricordare che le B.F. possono non distruggere completamente il fascio quando il supporto della sostanza fluorescente sia costituito da una reticella metallica. Per avere una chiara indicazione della posizione del fascio, occorre tuttavia disporre di una reticella metallica abbastanza fitta, per la quale il fattore di trasmissione del fascio difficilmente supera il valore $0,5 + 0,6$.

II Elettrodi raccoglitori (E.R.)

Gli elettrodi raccoglitori vengono impiegati per determinare la carica totale contenuta nel fascio e in una parte di esso che incida sull'elettrodo stesso. La struttura geometrica di questi elettrodi metallici deve essere tale da permettere la completa raccolta delle cariche incidenti; evitando altresì l'emissione dall'elettrodo di cariche secondarie prodotte dalle particelle incidenti (vedi fig. 4)

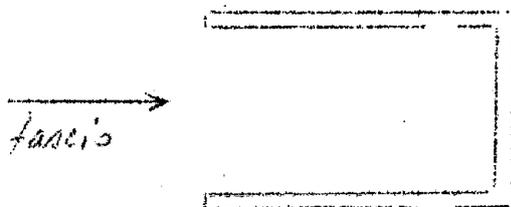


Fig. 4

Lo schema elettrico equivalente dell'E.R. è mostrato in fig. 5, ove C è la capacità verso massa dell'elettrodo, R è la resistenza con cui è posto a massa l'E.R., e q

rappresenta il fascio considerato come sorgente impulsiva di cariche. Osserviamo che questo schema è sostanzialmente identico a

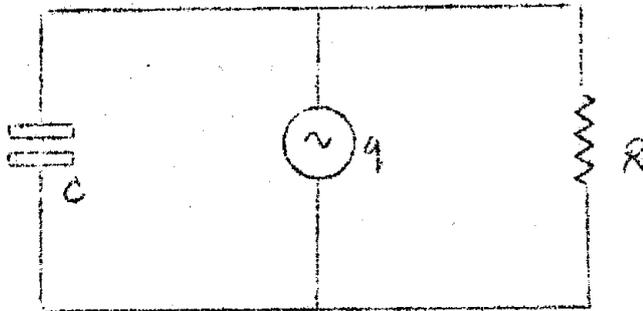


Fig. 5

quello di una camera a ionizzazione.

L'impulso di tensione V_u che si ha ai capi di R quando sull'elettrodo si accumula una carica Q, ha evidentemente ampiezza massima pari a

$$V_{\max} = \frac{Q}{C}$$

e andamento nel tempo dipendente sia dal tempo ΔT im-

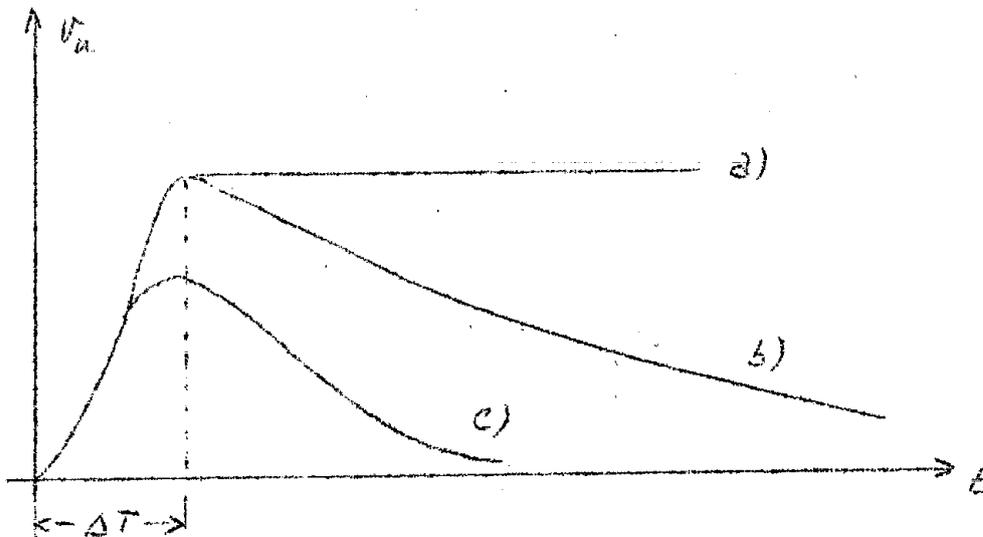


Fig. 6

piegato dalle cariche ad accumularsi su l'E.R., che dal valore della costante di tempo R.C. In fig. 6 è mostrato l'andamento di V_u per R.C. $\gg \Delta T$ (curva a)), per R.C. $> \Delta T$ (curva b)), R.C. $< \Delta T$ (curva c)). Essendo la capacità di C determinata dalla struttura dell'E.R. e dalla sua posizione, ci si può porre in uno dei casi a), b), c) semplicemente variando il valore di R.

Dalla semplice considerazione dell'osservazione di V_{max} non è difficile rendersi conto che, lavorando con intensità modeste all'iniezione ($N = 10^6 + 10^8$ elettroni) l'ampiezza di V_{max} per un E.R. di capacità dell'ordine di 100 + 200 pf può variare tra 1 centesimo di Volt e 1 Volt.

Gli impulsi prodotti dagli E.R. vanno quindi amplificati prima di poter essere osservati mediante un oscillografo o altro dispositivo elettronico. Il guadagno degli amplificatori da impiegarsi a tale scopo deve essere compreso tra 10^2 e 10^4 mentre il loro tempo di salita va scelto a seconda dell'impiego.

Se infatti sull'E.R. si raccolgono ad ogni giro successivamente frazioni del fascio (per es. nel caso si voglia sapere la frazione del fascio che ad ogni giro vanno ad urtare contro la parete posteriore dell'iniettore) occorre impiegare un amplificatore con tempo di salita molto breve, alquanto inferiore al tempo impiegato dal pacchetto di elettroni (supponendo di lavorare con fascio pulsato) a percorrere un giro (0,1 μs).

In questo caso occorre però scegliere R abbastanza piccolo in modo che RC sia anch'esso dell'ordine di grandezza di circa 0,1 μs per impedire che all'arrivo di un pacchetto di cariche sull'E.R., vi sia ancora su di esso una frazione apprezzabile delle cariche raccolte nel giro precedente. Conviene allora scegliere anche la costante di discesa dell'amplificatore non molto elevata (1 + 2 μs) per diminuire il rumore di fondo dell'amplificatore, restringendone cioè la banda passante.

Nel caso in cui si voglia invece valutare soltanto la carica dell'elettrodo senza conoscere con precisione l'istante di raccolta occorre solamente che il tempo di salita dell'amplificatore sia alquanto inferiore (per es. di un fattore 10) alla costante di tempo RC dell'elettrodo. Non conviene tuttavia che né RC, né il tempo di discesa dell'amplificatore siano troppo lunghi per non aumentare troppo il rumore di fondo dell'amplificatore. A titolo di esempio si potrebbe scegliere per l'amplificatore e RC i valori

Tempo di salita 1 μs
Tempo di discesa 20 μs
Costante di tempo R.C. 20 μs .

Per quanto riguarda la costruzione degli E.R. va tenuto presente che la parete su cui vanno ad incidere gli elettroni deve avere uno spessore sufficiente per arrestare tutti gli elettroni incidenti. Tenendo conto che, nelle circo -

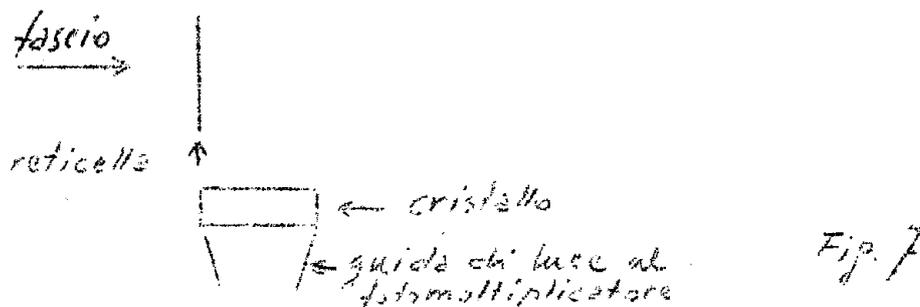
stanze in cui si usano gli E.R. (zona I e C delle curve in fig. 1,2) l'energia cinetica degli elettroni è poco superiore all'energia di iniezione, sono largamente sufficiente pochi g/cm² di materiale, possibilmente a Z elevato.

Nel caso in cui gli elettrodi siano posti entro i tratti curvi e quindi immersi in campo magnetico è opportuno che essi non siano costruiti con materiali ferro-magnetico.

Per le ragioni ora dette sembra ragionevole scegliere come materiale per la costruzione degli E.R. il piombo, che associa una resistenza non troppo bassa (22 $\mu\Omega$ /cm) a una elevata densità (11,35 g/cm²) e a un alto numero atomico.

III Reticella - Scattering e contatore a scintillazione.

Questo dispositivo usato a Cornell (Sacchetti 56.0eP) consiste in una reticella di fili metallici (Nickel) di diametro molto sottile (0,05 mm.) posta sul cammino del fascio (fig. 7) e di un contatore a scintillazione. Una



frazione degli elettroni incidenti viene scatterata dalla reticella e una parte di essi viene registrata dal contatore a scintillazione. Supponendo ragionevolmente che la percentuale di elettroni scatterati e registrati sia indipendente dall'intensità del fascio, si può ritenere che il numero di elettroni registrati, e quindi l'ampiezza dell'impulso in uscita al contatore dia un'indicazione relativa dell'intensità del fascio.

Confrontando infatti l'ampiezza massima degli impulsi forniti dal contatore a scintillazione per due successivi attraversamenti della reticella da parte di un pacchetto di elettroni (fascio pulsato) si può risalire, tenendo conto del fattore di trasmissione della reticella, all'attenuazione del fascio durante uno o più giri.

Occorre tuttavia conoscere con sufficiente precisione il fattore di trasmissione della reticella (il cui valore si aggira intorno al 95%) per non confondere l'attenuazione prodotta dalla reticella, con l'attenuazione del fascio prodotta dalle altre cause che si desiderano studiare.

Non è però difficile studiare un metodo di misura abbastanza preciso del fattore di trasmissione utilizzando un E.R. e alcune di queste reticelle.

I vantaggi di questo dispositivo rispetto ai precedenti consistono nella possibilità di avere una indicazione

temporalmente accurata ($\sim 10^{-8}$ s.) dell'istante di attraversamento del fascio, e nella non completa distruzione del fascio, a causa dell'elevato valore del fattore di trasmissione della reticella, che permette di studiare il comportamento del fascio per qualche decina di giri.

§ 3) Gli strumenti non distruttivi per lo studio del fascio possono riunirsi in due categorie.

1) Elettrodi ad induzione (E.I.)

II) Misuratori di luce irraggiata dal fascio di elettroni.

I) Elettrodi ad induzione. (E.I.)

Il funzionamento degli E.I. si basa sulla semplice induzione elettrostatica. Quando infatti una carica Q si trova in presenza di un conduttore su quest'ultimo viene indotta una carica e quindi un potenziale V

$$V = F(x, y, z, Q)$$

che è funzione della posizione e del valore della carica inducente.

In casi particolarmente semplici, ossia con elettrodi di forma opportuna, può risultare possibile conoscere il valore di Q o x,y,z misurando V e conoscendo x,y,z e Q rispettivamente.

Se in particolare riusciamo a costruire un elettrodo per cui V sia indipendente da x,y,z e dipenda solo da Q, si può ottenere il valore di Q misurando semplicemente V.

Ottenuto questo valore è possibile con un altro elettrodo di forma conveniente ottenere x,y,z noto Q e misurando V. (Le Caine 51)

Per quanto riguarda gli E.I. il problema è ulteriormente complicato dal fatto che le cariche inducenti, sono elettroni che viaggiano con velocità praticamente coincidente con quella della luce e quindi i potenziali V indotti sono in questo caso impulsi di tensione di durata dell'ordine dei tempi di transito dei pacchetti di elettroni nella vicinanza degli elettrodi. Si vede allora che la durata di questi impulsi è dell'ordine di 10^{-8} S.

Premesse queste brevi considerazioni esaminiamo ora alcuni possibili tipi di E.I. che ci forniscono indicazioni sul numero di elettroni circolanti nella ciambella e sulla posizione radiale e verticale del fascio stesso.

Supponiamo a questo scopo di disporre di un elettrodo consistente in una scatola metallica parallelepipedica (fig.8) priva delle basi ABCD e EFGH che possa essere attraversata dal fascio lungo la direzione del suo asse maggiore. È stata scelta questa struttura perchè meglio si adatta ad essere posta entro la ciambella. Cerchiamo ora di prevedere quale impulso di tensione si può ottenere sulla parete esterna dell'elettrodo quando esso sia traversato lungo la dire-

zione Z da un pacchetto di elettroni di lunghezza L superiore a b. Questo è infatti il caso nostro poiché sia nel caso di fascio pulsato, sia nel caso di fascio non pulsato nelle zone S, T, F del ciclo di accelerazione i pacchetti di elettroni avranno uno sviluppo azimutale, ossia una lunghezza, variabile da qualche metro ad un minimo di 50 cm. e un elettrodo che contenga totalmente tali pacchetti è difficilmente realizzabile.

Supponendo inoltre che la densità longitudinale di carica q_1 nel pacchetto sia costante si vede subito che l'andamento nel tempo dell'impulso di tensione sull'elettrodo è quello mostrato in fig. 9 ove T, T_1 , V_0 hanno i seguenti valori

$$V_0 = \frac{Q_1 b}{C} \quad T = \frac{b}{c} \quad T_1 = \frac{L - 2b}{c} \quad \text{ove } C \text{ è la capacità verso massa dell'elettrodo e } c \text{ è la velocità della luce.}$$

L'ampiezza dell'impulso non dipende dalla posizione delle cariche inducenti, dipende soltanto dalla carica dell'intero dell'E.I.

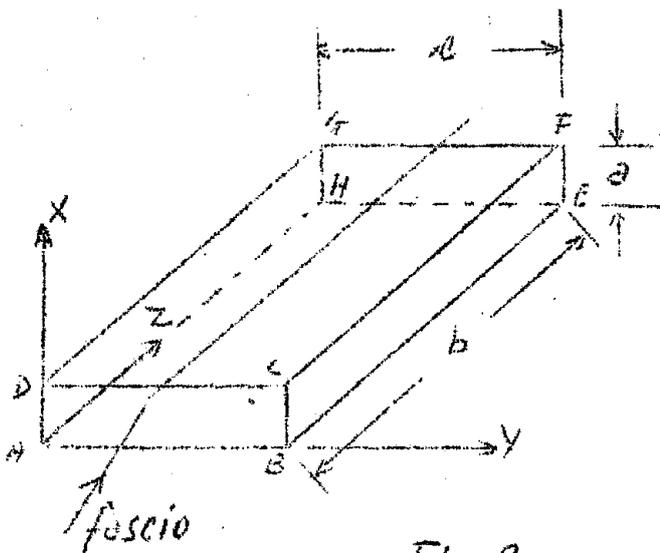


Fig. 8

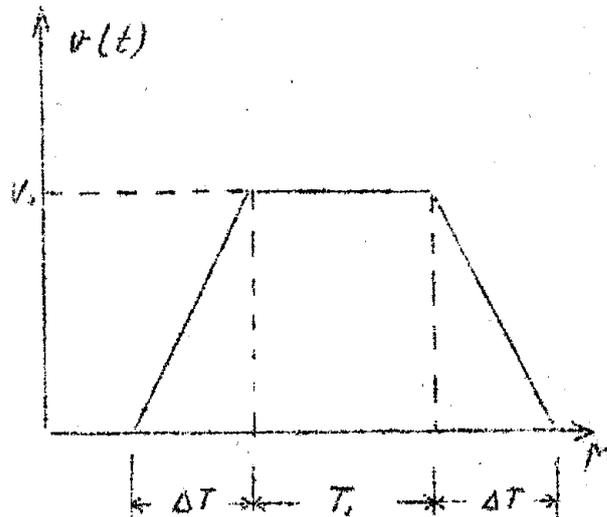


Fig. 9

Da queste espressioni è possibile ricavare informazioni sulle caratteristiche del pacchetto. Occorre però tenere presente a questo proposito che l'unica grandezza che si può misurare senza grosse difficoltà è V_0 mentre ΔT e T_1 sono molto difficili da determinare. Se infatti assumiamo $L =$ metri 2, $b =$ cm. 30, $q_1 = 10^{-12}$ coulomb/m, $C = 100$ pf si ottiene

$$V = 3 \text{ mV} \quad T = 3 \cdot 10^{-9} \text{ s} \quad T_1 \approx 6 \cdot 10^{-9} \text{ s.}$$

Osservando la diminuzione di V_0 in funzione del tempo, e supponendo q_1 variabile lentamente, si può così ottenere un'informazione sull'attenuazione del fascio per ogni giro.

E' inoltre evidente come sia desiderabile ridurre quanto più è possibile il valore di C.

Dato il valore dell'ampiezza di questi impulsi occorre che essi siano fortemente amplificati (almeno di un fattore 10^4) per poter essere osservati. Per avere una idea dei circuiti elettronici da impiegare occorre considerare il circuito equivalente di un elettrodo ad induzione mostrato in fig. 10 ove $v(t)$ rappresenta la sorgente

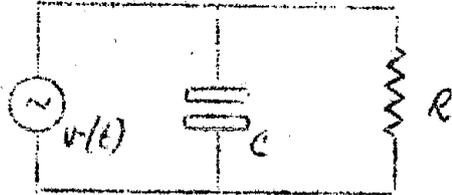
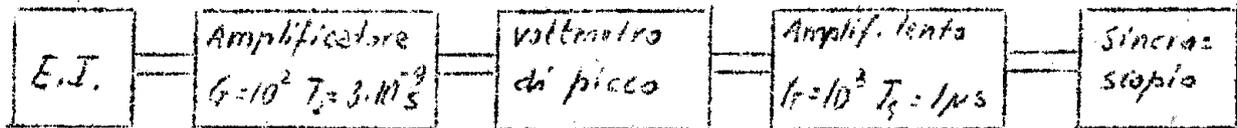


Fig. 10

di impulsi di tensione dovuti al fascio, C la capacità dell'elettrodo verso massa, R la sua resistenza verso massa. Si vede dalla espressione di V , ΔT , e T_1 come esse non dipendano da R ; questo è però vero fino a che $RC \gg \Delta T$ e $RC \gg T_1$, condizioni queste che è necessario soddisfare.

Per quanto riguarda l'amplificazione di questi impulsi occorre utilizzare amplificatori con tempo di salita dello stesso ordine di grandezza di $\Delta T + T_1$ il che non è facile tenendo conto dell'elevato guadagno richiesto.

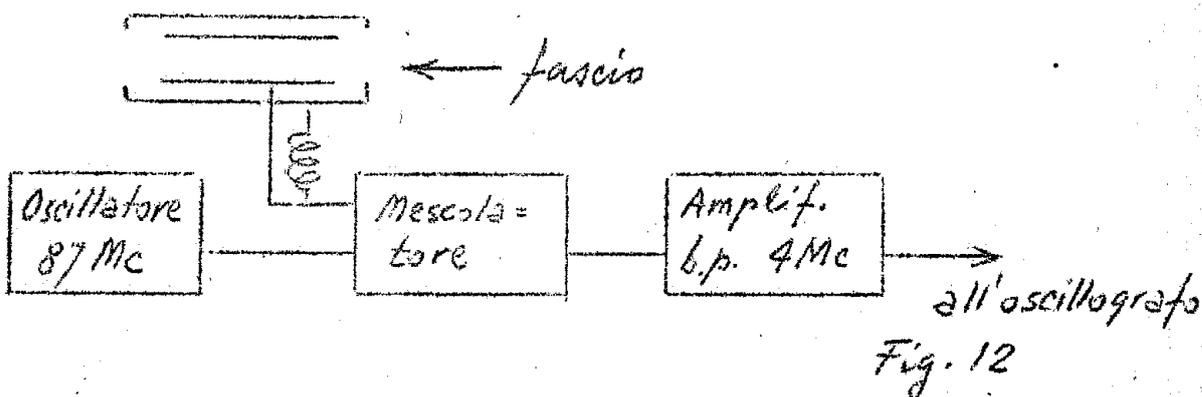
Nel caso in cui interessa conoscere l'andamento nel tempo del fascio mediato su un numero abbastanza grande di giri si può impiegare una amplificazione minore a breve tempo di salita adottando lo schema mostrato in fig. 11



In questo caso basta infatti amplificare gli impulsi fino a renderne possibile la misura con un voltmetro di picco dopo il quale è sufficiente amplificare con tempo di salita dell'ordine di $1 \mu s$.

Con tale dispositivo sarebbe possibile osservare direttamente in funzione del tempo, la variazione del valore medio dell'ampiezza degli impulsi forniti dall'E.I. Cornell (Sacerdoti 56 F) ha preferito ottenere un'informazione sull'intensità del fascio dell'eccitazione prodotta dal fascio al passaggio lungo l'asse di una piccola cavità coassiale accordata a una armonica della frequenza di rotazione degli elettroni (85 Mc, $Q = 20$).

L'ampiezza dell'oscillazione della cavità a regime varia linearmente con l'intensità del fascio e osservando le variazioni di tale ampiezza è possibile seguire i cambiamenti dell'intensità del fascio. Il dispositivo per la rivelazione dell'ampiezza è mostrato schematicamente in fig. 12.



Occorre solo notare che il mescolatore è lineare per quanto riguarda le ampiezze delle oscillazioni.

Quando invece si desidera seguire l'evolversi del fascio giro per giro è necessario amplificare con breve tempo di salita fino all'osservazione diretta.

Occorre tenere presente che le valutazioni fatte sino ad ora presuppongono impulsi da circa 10^7 elettroni per pacchetto, indotti secondo quella che sarà presumibilmente l'intensità del fascio usata durante la prima parte della messa a punto del sincrotrone. In condizioni normali di funzionamento tale intensità è sperabile sia circa 10^2 volte superiore, e disponendo allora di impulsi molto più ampi, sarà sufficiente una amplificazione assai minore.

Per quanto riguarda gli E.I. per ottenere indicazioni sulla posizione radiale e verticale del fascio in fig. 13 sono indicati i tipi di elettrodi generalmente usati (Le Caine 51) (Swartz 53) (Berkeley) (Riddford 55).

La forma di questi elettrodi è in genere tale da far sì che la tensione indotta su ciascuno di essi sia per es. fig. 13a) c)

$$V_A = (mr + K) q_1 \quad (1)$$

$$V_B = (-mr + K) q_1$$

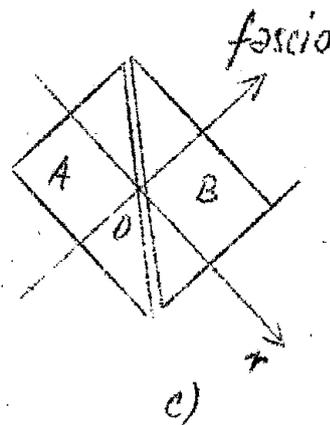
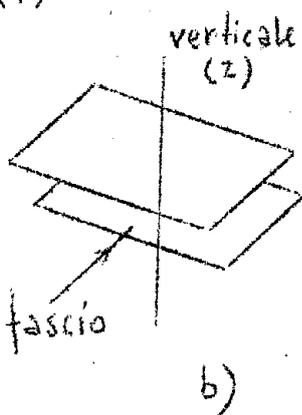
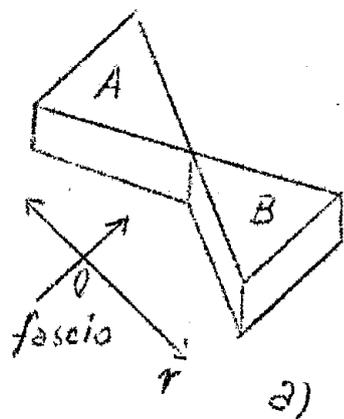


Fig. 13

ove m e k sono delle costanti e r è la distanza del fascio dal centro di simmetria piana degli elettrodi (Punto O)

Nel caso degli elettrodi fig. 13b) risulta analogamente:

$$\left. \begin{aligned} V_A &= (m'Z + K^1) q_1 \\ V_B &= (m''Z + K^1) q_1 \end{aligned} \right\} (2)$$

In entrambi i casi si può ottenere rispettivamente

$$(3a) \quad \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} = \text{cost. } \gamma \quad (3b) \quad \frac{V_A - V_B}{V_A + V_B} = \text{cost. } z$$

In tale modo si ottengono delle informazioni sulla posizione del fascio indipendenti da q_1 .

La costruzione di E.I. che soddisfino (1) (2) è stata eseguita nei laboratori già citati ed è stata controllata con 3 metodi diversi che ora esponiamo brevemente:

1) Il primo metodo (Le Caine 51) si basa su un modello (Riddford 55) elettrostatico del fascio).

Il fascio viene infatti simulato con un filo metallico che viene caricato ad un potenziale di 10 e 20 KV e, quando questo è posto tra una coppia di elettrodi si misura la d.d.p. indotta su ciascuno di esso al variare della posizione del filo.

Questo metodo non è molto consigliabile per le notevoli difficoltà sperimentali che si incontrano quando si vogliono eseguire accurate misure elettrostatiche (per es. cariche disperse sui supporti isolanti).

2) Alquanto più semplice è invece il metodo che si basa sulla semplice supposizione che la capacità tra il filo simulante il fascio e gli elettrodi sia proporzionale ai coefficienti che compaiono nelle formule (1) e (2).

La misura di tale capacità eseguita utilizzando f. e m. alternate che eliminano gli effetti elettrostatici di disturbo, fornisce un controllo dell'andamento della tensione indotta sugli elettrodi in funzione della posizione del fascio.

Questo metodo è stato largamente usato (Le Caine 51) (Rommel 57) e i risultati ottenuti sono stati trovati in buon accordo (Le Caine 51) (eccetto per posizioni del filo molto prossime all'elettrodo) con quelli ottenuti con altro metodo, concettualmente più preciso, che ora esporremo.

3) Questo metodo (Le Caine 51) consiste nello studiare il comportamento degli elettrodi rispetto ad un fascio di elettroni di bassa energia (p. es. 50 KeV) facilmente producibili in laboratorio. Questo metodo è assai conveniente per studiare elettrodi da impiegarsi in proto-sincrotroni perchè in tal caso gli elettroni equivalgono, per quanto riguarda gli effetti elettrodinamici sugli elettrodi, a protoni di circa 100 MeV.

Molte considerazioni sulla rapidità e la forma degli impulsi di tensione su gli E.I. per la misura di q_1 sono ancora validi per questo tipo di elettrodi.

Considerando però che l'indicazione significativa è fornita da $\frac{V_A - V_B}{V_A + V_B}$ risultano chiare le notevoli difficoltà

che si dovrebbero superare qualora si volesse determinare questo rapporto giro per giro.

D'altra parte per lo studio del comportamento del fascio nelle zone S, T, F ove è prevedibile si utilizzeranno gli E.I. di questo tipo, non ha molto interesse conoscere la posizione del fascio giro per giro, ma è sufficiente conoscere la sua posizione mediata su un numero abbastanza grande di giri.

Ci si può quindi accontentare di conoscere $\frac{\bar{V}_A - \bar{V}_B}{\bar{V}_A + \bar{V}_B}$ e

a questo scopo si può considerare il seguente schema di principio (fig. 14).

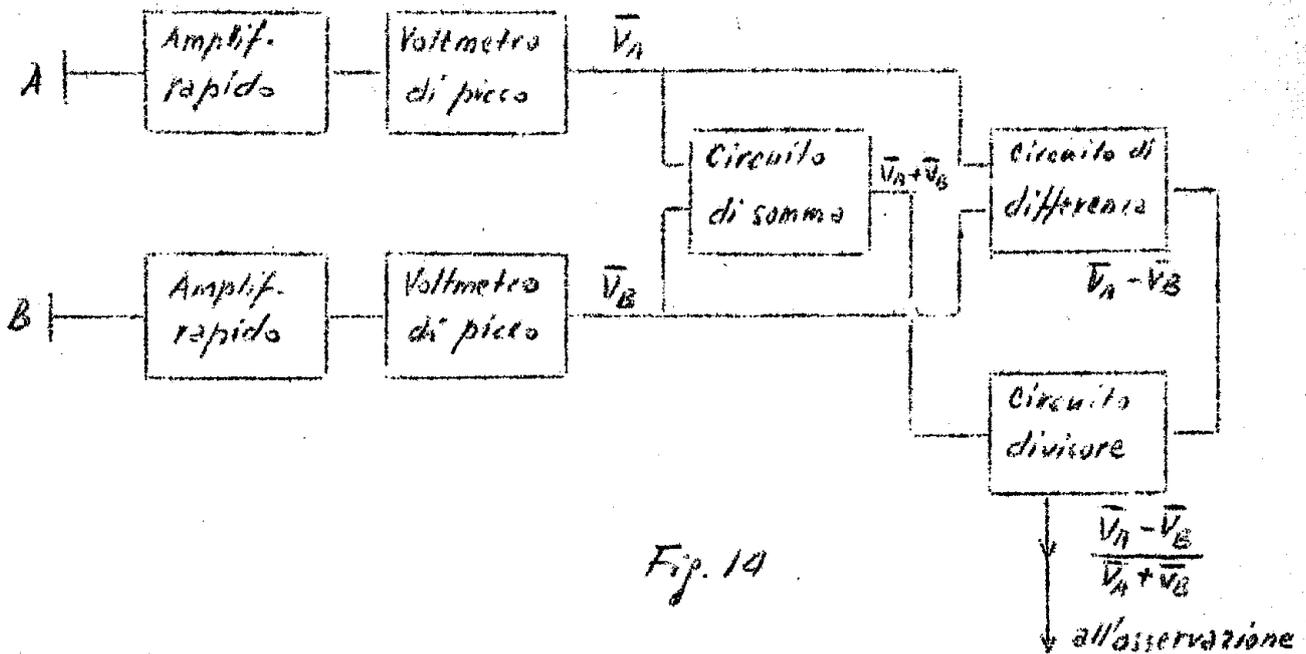


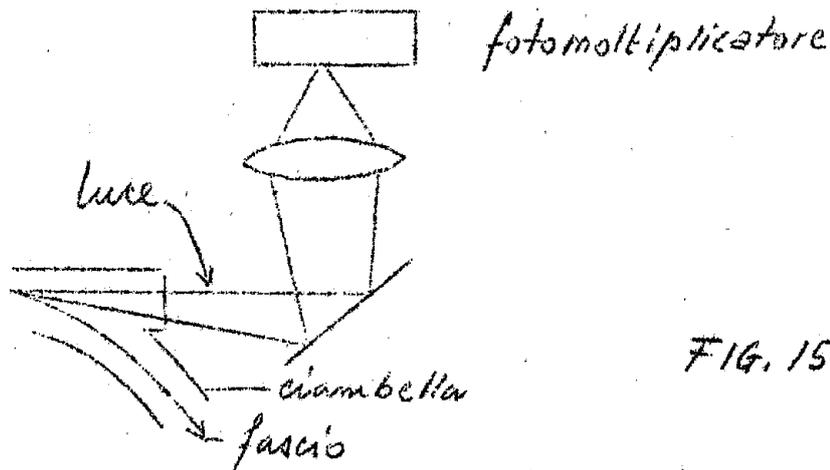
Fig. 14

II) Misuratore di luce irraggiata dal fascio di elettroni.

Questo tipo di dispositivo con il quale è possibile ottenere informazioni sul fascio, sopra tutto ad alta energia, si basa sul fatto già menzionato (Schwinger 49) che gli elettroni circolanti in un sincrotrone emettono radiazioni elettromagnetiche secondo uno spettro noto e che dipende principalmente dall'energia degli elettroni.

Dal punto di vista sperimentale è quindi necessario misurare la luce emessa dal fascio in un tratto di ciambella visto lungo la direzione tangente alla traiettoria sotto un determinato angolo.

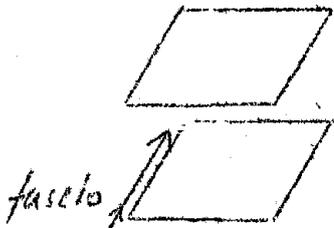
Data la notevole prontezza richiesta al rivelatore della radiazione sembra ovvio dovere scegliere per questo scopo un fotomoltiplicatore, secondo quanto è stato fatto anche da altri ricercatori (Corson 53). Riproduciamo in fig. 15 un disegno schematico del dispositivo sperimentale usato da Corson (Corson 53), perchè probabilmente converrà usare, anche per il nostro Elettrosincrotrone, un dispositivo di questo tipo.



§ 3) Dispositivi per pulsare il fascio (chopper) Nella prima parte di questa relazione è mostrata chiaramente la necessità di disporre di un dispositivo che permetta di iniettare il fascio per un tempo inferiore al periodo di rotazione degli elettroni.

La soluzione universalmente adottata (Sacerdoti comunic. privata) (Blewett 53) consiste nell'interporre tra iniettore e deflettore due lastre metalliche piane tra le quali passa normalmente il fascio. Quando si intende pulsare il fascio si stabilisce tra le due lastre una d.d.p. continua di qualche migliaio di Volt che devia il fascio, impedendogli di passare attraverso il foro di un diaframma posto subito dopo le due lastre.

Quando la tensione tra le lastre viene soppressa per un tempo ΔT , allora il fascio, non più deviato, può passare attraverso il foro del diaframma ed essere iniettato.



Il problema non sembra presentare particolari difficoltà se non per il fatto che il tempo ΔT

deve essere nel nostro caso assai breve, ossia inferiore al tempo impiegato dagli elettroni a compiere un giro ($\sim 0,1 \mu s$) e quindi dell'ordine di qualche 10^{-8} sec.

Occorre considerare che la principale difficoltà da superare nella costruzione del chopper consiste nell'ottenere una buona ripetibilità dell'istante di inizio nel funzionamento del chopper. È infatti necessario che in ogni ciclo di accelerazione il chopper venga azionato per un ben determinato valore del campo magnetico, con una fluttuazione di qualche centesimo di gauss, il che implica una fluttuazione ammessa dell'istante di iniezione dell'ordine di $0,1 \mu s$.

BIBLIOGRAFIA comune alle due parti

- X Amman 55 - Lettera del 10.2.1955
appunti " 18.5.1955
- 940 Berkeley, Rad. Lab. Rep. III, VI, VII, IX.
- X Blewett 53 - R.S.I. 24 (1953) 861.
- X Camac 53 - R.S.I. 24 (1953) 290.
- X Cohe 56 - J. Sc. Inst. 33 (1956) 102.
- X Corson 53 - Phys. Rev. 90 (1953) 748.
- X Johnson 56 - CERN Symposium I (1956) 395-411
- Le Caine 51 - Thesis, University of Birmingham 1951.
- Littauer 54 - Report C 3 1954.
- X Ramm 56 - J. Sc. Inst. 33 (1956) 52
- X Riddford- 55 Pr. Phys. Soc. London A 68 (1955) 489
- X Sacerdoti 56 - Lettere 14/10/56 - F
13/11/56 - N
17/12/56 - O
(22/12/56 - P
- Rommel - C.E.A. Service des Accélérateurs.
(Comunicazione privata 1957).
- X Salvini - Appunti 1953
- X Schiwinger 49 - Phys. Rev. 75 (1949) 1912
- 941 Swartz 53 - R.S.I. 24 (1953) 851
- 942 Tombouliau 56 - Phys. Rev. 102 (1956) 1423.