

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-77/15(R)
27 Aprile 1977

S. Braus e G. Ricco: PROGETTO DI UNO SPETTROMETRO
MAGNETICO A 500 MeV/c PER ESPERIENZE CON FASCI
 γ MONOCROMATICI.

LNF-77/15(R)
27 Aprile 1977

B. Braus e G. Ricco: PROGETTO DI UNO SPETTROMETRO MAGNETICO
A 500 MeV/c PER ESPERIENZE CON FASCI γ MONOCROMATICI.

1. - INTRODUZIONE.

La recente realizzazione del fascio γ monocromatico ⁽¹⁾ presso il Laboratorio LEALE dei Laboratori Nazionali di Frascati pone l'esigenza di una più completa attrezzatura della sala sperimentale. In particolare lo sviluppo di una sperimentazione competitiva nel campo della spettrometria di particelle cariche richiede l'utilizzazione di almeno uno spettrometro magnetico a buona risoluzione e grande angolo solido.

Scopo di questo rapporto è illustrare i calcoli preliminari ed i criteri seguiti per il disegno costruttivo di uno spettrometro magnetico da installare nella sala γ . Si è inoltre cercato di configurare tale spettrometro in modo il più possibile compatibile con il materiale magnetico e meccanico già esistente nei Laboratori.

2. - LO SPETTROMETRO.

Per cercare di valutare le caratteristiche dello strumento abbiamo preso ad esempio le reazioni di fotoproduzione di pioni da nuclei. La scelta non è casuale in quanto queste esperienze, che fanno parte del programma proposto dalla collaborazione LEALE-Genova al nuovo fascio ⁽²⁾, sono praticamente realizzabili solo disponendo di uno spettrometro magnetico.

Con un'energia massima incidente dell'ordine di 320 MeV la quantità di moto del pione prodotto è $p_{\pi} \lesssim 300$ MeV/c: il range in momento dello spettrometro dovrà essere quindi pari ad almeno questo valore. Per poter utilizzare lo strumento anche in reazioni con emissione di particelle cariche pesanti, del tipo γp , questo limite è ancora piuttosto basso ($E_p \lesssim 50$ MeV) e sarebbe conveniente estenderlo superiormente fino a circa 500 MeV/c ($E_p \lesssim 130$ MeV).

2.

Per valutare l'angolo solido si può calcolare la velocità di conteggio N , sempre in reazioni di fotoproduzione di pioni, per un'intensità I di fotoni incidenti ed uno spessore t' del bersaglio. In queste condizioni si ha:

$$N = \frac{d^2\sigma}{d\Omega dE} \Delta\Omega \Delta E I N_0 \frac{t'}{A}$$

La sezione d'urto $d^2\sigma/d\Omega dE$ per la produzione di π^+ da C^{12} ⁽³⁾ è, nelle zone di risonanza, compresa nel range 0.1 - 1 μ b.

Assumendo:

$$I = 10^8 \text{ fotoni/sec}, \quad t' = 1 \text{ gr/cm}^2, \quad \Delta E = 1 \text{ MeV} \quad A = 12$$

si ha $N \geq 0.5 \Delta\Omega$ conteggi $\text{sec}^{-1} \text{ MeV}^{-1}$.

Per ottenere statistiche ragionevoli è pertanto necessario un angolo solido di almeno 10 msr. Il potere risolutivo ϵ è invece praticamente fissato dalla necessità di distinguere transizioni allo stato fondamentale o ai primi stati eccitati del nucleo residuo. La differenza in energia tra lo stato fondamentale e il primo stato eccitato è, in media, nei nuclei leggeri, dell'ordine dei 2 MeV; sarà pertanto necessario un potere risolutivo di $\Delta p_\pi/p_\pi$ di circa l'1%. Questo valore dovrà essere ottenuto utilizzando un fascio γ di diametro pari a circa 2 cm su bersaglio.

Le caratteristiche richieste sono riassunte in Tabella I.

TABELLA I

P_{max} (MeV/c)	$\Delta\Omega$ (sr)	$\frac{\Delta p}{p}$ (%)
500	10^{-2}	1

3. - OTTICA MAGNETICA.

E' necessario tener presente, ai fini del progetto tecnico, l'esistenza nei Laboratori di Frascati, di magneti e quadrupoli aventi le caratteristiche riportate in Tabelle II e III. Tali magneti sono attualmente presso il laboratorio sincrotrone e si prevede possano essere disponibili nell'immediato futuro.

E' quindi essenziale verificare se sia possibile utilizzare questi magneti per la costruzione di uno spettrometro avente le prestazioni richieste.

Per ottenere un momento analizzato di 500 MeV/c al campo massimo di 13 kGauss il raggio di curvatura deve essere di 1.3 m. I calcoli di ottica sono stati quindi effettuati mantenendo il raggio di curvatura fisso a

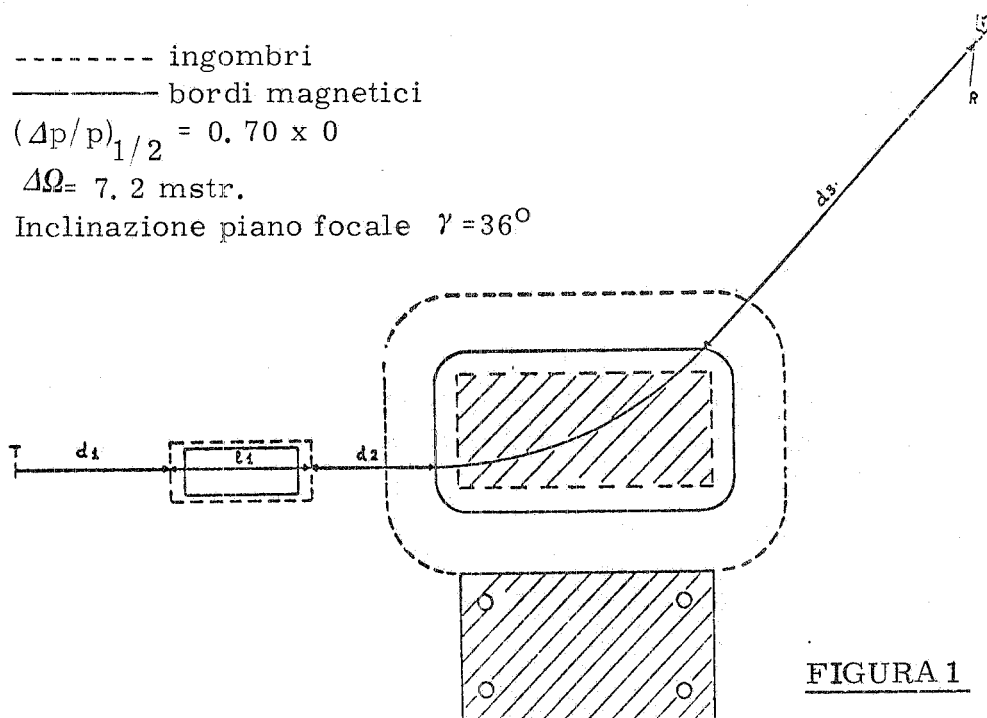
TABELLA II (Magnete)

Poli piani e paralleli	$(40 \times 90) \text{cm}^2$
Gap	14 cm
Potenza assorbita	120 kW
Portata acqua raffreddamento	1 litro/sec
Pressione " "	12 atm
Spire bobina	180
Peso totale	15 T
Induzione massima	13200 Gauss
Collegamento delle due bobine	in serie

TABELLA III (Quadrupoli)

Diametro gola	16 cm
Lunghezza geometrica	33 cm
Lunghezza magnetica	39.6 cm
Pendenza iniziale del gradiente Gauss/cm/Amp.	1.98

questo valore. Inoltre, per ottenere angoli solidi ragionevoli è consigliabile realizzare uno spettrometro a doppia focalizzazione. La soluzione più semplice, che utilizzi i componenti magnetici disponibili, è costituita da uno spettrometro tipo Enge⁽⁴⁾ formato da un magnete a facce piane parallele preceduto da un quadrupolo focalizzante nel piano verticale (Fig. 1). Al pri-



mo ordine le distanze x ed y delle particelle dell'asse ottico e le divergenze angolari ϑ e γ in ogni punto del sistema di trasporto sono legate ai corrispondenti valori iniziali dalle ben note relazioni lineari

$$x = a_{11} x_0 + a_{12} \vartheta_0 + a_{13} \frac{\Delta p}{p}$$

$$y = b_{11} y_0 + b_{12} \vartheta_0$$

Se si vuole ottenere doppia focalizzazione sul rivelatore R bisogna imporre simultaneamente $a_{12} = b_{12} = 0$. Si hanno pertanto due condizioni e si dovranno ridurre a due anche i parametri liberi per poter effettuare un'ottimizzazione con processi automatici (5).

La distanza d_1 convertitore-primo quadrupolo è fissata, oltre che da questioni di ingombro, dalla necessità di massimizzare da un lato l'angolo solido e dall'altro di poter ruotare l'intero spettrometro attorno alla target ad angoli tra 30° e 150° . Se si valutano le distanze a partire dai bordi magnetici dei singoli elementi si ha $d_1 \approx 60$ cm.

La lunghezza magnetica del quadrupolo è di circa 40 cm e la distanza quadrupolo-magnete è limitata da questioni di ingombro a valori tra 30 e 80 cm.

Per quanto riguarda il magnete deflettore, si sono effettuati calcoli a $\varrho = 1.3$ m e per vari angoli di ingresso β_1 del fascio nel magnete. Le migliori condizioni ottiche corrispondono ad un angolo di ingresso $\beta_1 = 0$; l'angolo di uscita resta di conseguenza fissato a $\beta_2 = 0.83$ rad dalla forma del magnete. In queste condizioni l'angolo di deflessione α risulta 0.74 rad. I due parametri che possono essere ottimizzati sono pertanto la strength k_1 del quadrupolo e la distanza d_3 tra il magnete ed il piano focale. Riassumendo, i parametri fissati nel calcolo ottico sono i seguenti:

$$d_1 = 0.6 \text{ m} \quad \alpha = 0.74 \text{ rad}$$

$$l_1 = 0.4 \text{ m} \quad \beta_1 = 0 \text{ rad}$$

$$d_2 = 0.3 \div 0.8 \text{ m} \quad \beta_2 = -0.829 \text{ rad}$$

$$\varrho = 1.3 \text{ m}$$

I risultati del calcolo al primo ordine effettuati col programma ANMA (5) sono riportati in Tabella IV per vari valori di d_2 compresi nel range fissato. Si sono inoltre valutati gli effetti del campo disperso e delle correzioni al secondo ordine.

L'estensione del campo produce una leggera defocalizzazione nel piano verticale e un piccolo spostamento dell'asse ottico all'ingresso e all'uscita del magnete nel piano radiale. Ambedue questi effetti sono stati valutati col metodo di ref. (6), utilizzando una mappa misurata del campo

TABELLA IV

d_1	k_1	d_2	d_3	a_{11}	b_{11}	$(\frac{\Delta p}{p})_{1/2}$	$\Delta\Omega$ 10^{-3} rs	incl. piano focale
0.61	2.203	0.25	1.709	-0.142	-6.303	$0.77 x_0$	7.77	28°
0.61	2.173	0.50	1.433	-0.333	-6.236	$0.74 x_0$	7.20	36°
0.61	2.146	0.75	1.271	-0.269	-6.393	$0.64 x_0$	6.51	42°

x_0 = raggio sezione fascio incidente sul bersaglio in m.

disperso nel magnete in questione (7). Tra gli elementi al 2° ordine l'unico rilevante è l'elemento $\langle x | \delta_0 \delta \rangle$ che produce una variazione di inclinazione del piano focale rispetto al valore di 90° dato dall'ottica al 1° ordine. Più precisamente si ha un'inclinazione del piano focale

$\gamma = \text{artg} \left\{ \frac{a_{13}}{a_{11}} \frac{1}{\langle x | \delta_0 \delta \rangle} \right\}$. Il valore dell'angolo γ è riportato nell'ultima colonna di Tab. IV.

4. - CONCLUSIONE.

Come si vede dall'analisi della tabella IV, le soluzioni ottenute risultano tutte in ragionevole accordo con le richieste di Tab. I, se si tiene conto che in condizioni sperimentali si ha $x_0 = 1 \text{ cm}$.

L'inconveniente maggiore è costituito dal rilevante ingrandimento verticale b_{11} che impone l'uso di rivelatori di dimensioni verticali di almeno 15 cm. Questa difficoltà dovrebbe essere facilmente superata utilizzando camere proporzionali a fili. La risoluzione spaziale richiesta per un $(\Delta p/p)_{1/2}$ FWHM dell'ordine dell'1% è di circa 6 mm, facilmente ottenibile in camere a fili. Una possibile scelta tra le soluzioni prospettate può essere effettuata imponendo la compatibilità del sistema con la piattaforma rotante già esistente presso il laboratorio sincrotrone. La possibilità di poter utilizzare piattaforme già montate permetterebbe infatti un notevole risparmio sia in termini economici che di tempo. Sotto questo aspetto la soluzione più conveniente risulta quella con $d_2 = 0.5 \text{ m}$. I disegni della configurazione finale dello spettrometro montato sulla piattaforma rotante sono riportati in proiezione orizzontale e verticale in Fig. 2 e 3.

Si può quindi concludere che il problema dello spettrometro può essere risolto in modo compatibile con le nostre necessità sperimentali uti-

6.

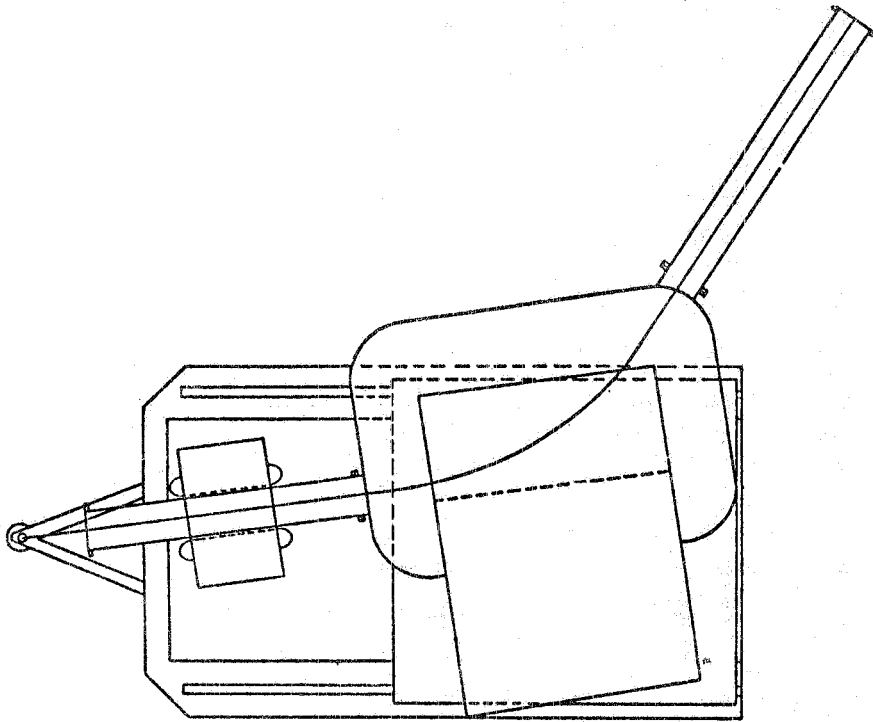


FIGURA 2

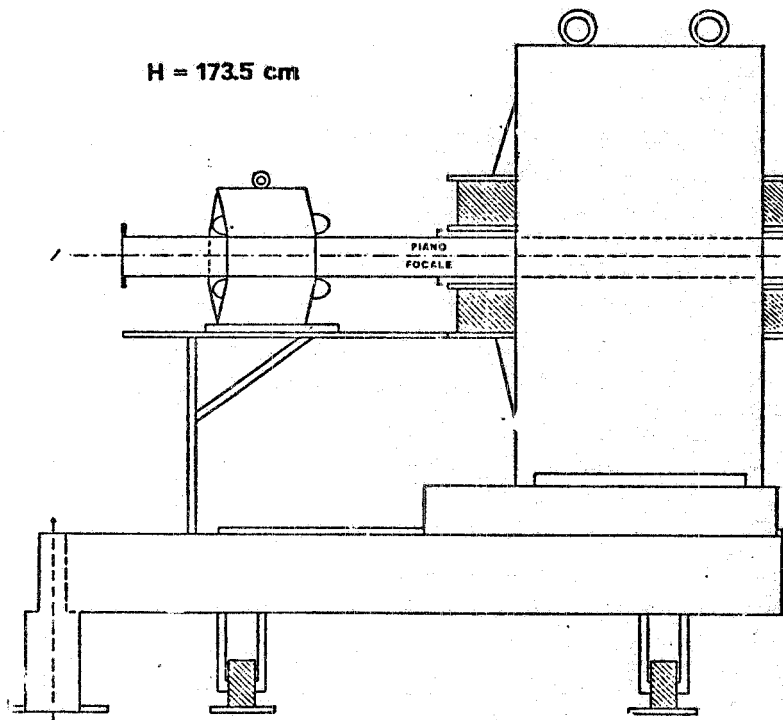


FIGURA 3

lizzando esclusivamente materiale di recupero dal laboratorio dell'elettrosincrotrone. Le dimensioni totali dello spettrometro risultano anche compatibili con l'attuale configurazione della sala γ . Solo l'altezza dell'asse ottico rispetto al pavimento è di 1.735 m mentre il fascio γ è a 1.25 m dal suolo. L'unica modifica richiesta è quindi lo scavo nella sala γ di un pozzo semicircolare di profondità 0.5 m e raggio 3 m, dove installare le rotaie. Tale scavo non sembra, al momento, presentare difficoltà operative nè costi eccessivi.

BIBLIOGRAFIA

- 1) G. P. Capitani et al. , Lett. Nuovo Cimento 16,453,(1976).
- 2) G. P. Capitani et al. , Frascati Report LNF-72/99 (1972) .
- 3) S.Kabe et al. , Journal Phys. Soc. Japan 19, 1800 (1964)
- 4) H.Enge, Rev. Sci. Instr. 35, 278 (1974).
- 5) M. Ancona, M. De Mutti and E. Mancini, Report LIRFA 12.
- 6) H. Enge, In Focusing of Charged Particles - (A. Septier, Editor).
(Academic Press 1967).
- 7) E. De Sanctis, Private communication.