

LNF-72/113
20 Dicembre 1972

A. Reale : RICERCHE CON FOTONI DI MEDIA ED ALTA ENERGIA.

A. Reale: RICERCHE CON FOTONI DI MEDIA ED ALTA ENERGIA. -

Relazione presentata al: "Convegno Scientifico dell'INFN" presso i Laboratori Nazionali di Frascati, 21-22 Novembre 1972.

1. - INTRODUZIONE. -

In questa relazione faremo un quadro sintetico delle ricerche attualmente in corso, eseguite mediante l'impiego di fasci di fotoni, nei principali centri di ricerca italiani e stranieri impegnati nel campo della fisica delle particelle elementari.

Escluderemo quindi le ricerche con fotoni relative alla fisica dei nuclei ed alla struttura della materia, che sono oggetto di relazioni separate di questo stesso convegno.

Per maggior chiarezza di esposizione è conveniente raggruppare tali ricerche secondo alcuni argomenti principali (v. Tabella I)

TABELLA I

Fotoproduzione singola di mesoni π
Fotoproduzione multipla di mesoni π
Fotoproduzione di mesoni di massa elevata
Fotoproduzione di mesoni vettoriali
Compton scattering
Esperimenti di tipo inclusivo
Struttura dei nuclei
Struttura della materia

Suddividiamo il campo delle energie considerate in tre intervalli:

- 1) $E_\gamma \leq 1 \text{ GeV}$; 2) $1 \text{ GeV} < E_\gamma \leq 20 \text{ GeV}$; 3) $E_\gamma > 20 \text{ GeV}$

tenendo conto delle reali possibilità offerte dai Laboratori Nazionali, delle macchine attualmente esistenti all'estero, ed infine, degli sviluppi futuri delle ricerche con fotoni che saranno rese possibili dall'entrata in funzione del 300 GeV europeo.

2.

2. - RICERCHE CON FOTONI DI ENERGIE $E_\gamma \leq 1$ GeV. -

Al di sotto di 1 GeV l'andamento di massima delle sezioni d'urto totali di fotoproduzione di mesoni π è quello riportato nella Fig. 1

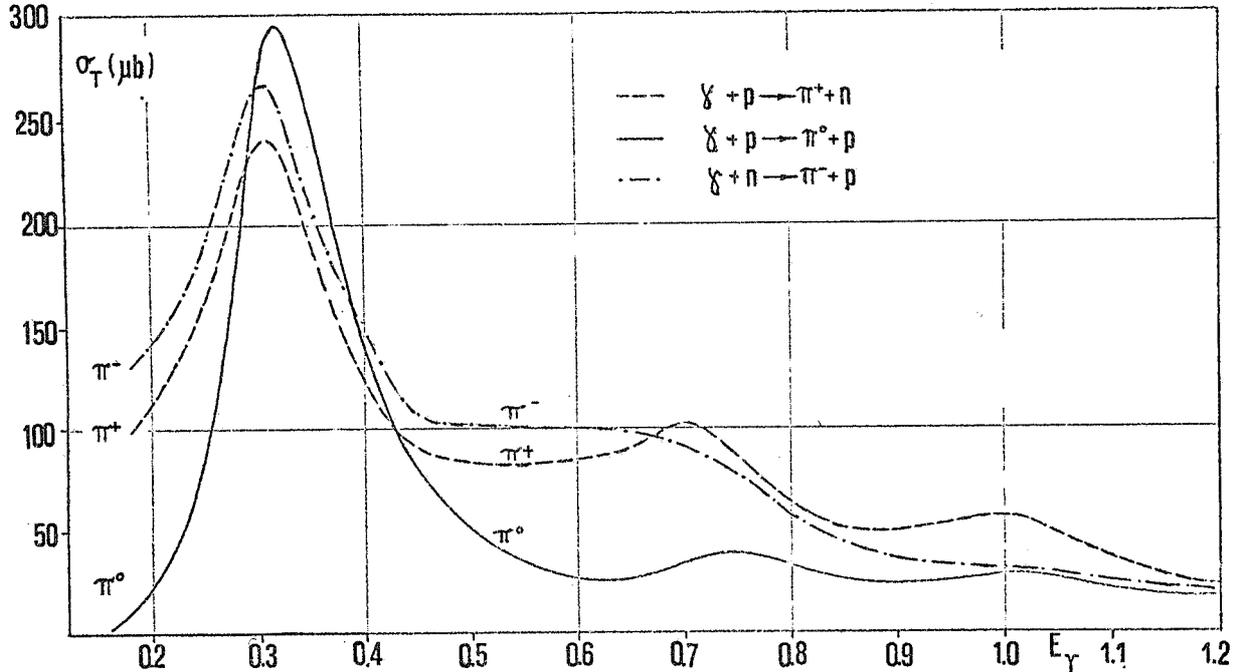


FIG. 1 - Energia del fotone nel laboratorio (GeV)

E' bene dire subito però che sotto il panorama apparentemente tranquillo rappresentato dalle curve di Fig. 1, si celano alcuni problemi importanti come appare da un'analisi più approfondita della effettiva situazione sperimentale.

Considerando dapprima la fotoproduzione di π^- , il reale andamento dei punti sperimentali più recenti è mostrato in Fig. 2a, b.

Come appare in Fig. 2a, nella zona della prima risonanza, sussiste ancora un notevole disaccordo tra i risultati del gruppo di collaborazione⁽¹⁾ Frascati-Napoli-Pavia-Roma e quello tedesco⁽²⁾.

Inoltre, la sezione d'urto di fotoproduzione di π^- , dedotta dal processo inverso di cattura di π^- su protone⁽³⁾, presenta forti discrepanze alla prima risonanza, con quella misurata direttamente (rappresentata, nella Fig. 2b, dalla fascia tratteggiata entro la quale cadono i punti sperimentali).

Si noti che, al di là della prima risonanza, si ritrova invece un buon accordo tra la misura diretta e quella inversa.

Questi fatti sperimentali possono essere prese come un indicazione per una violazione del principio del bilancio dettagliato, e, in definitiva, di una violazione del "time reversal" per le interazioni elettromagnetiche⁽⁴⁾.

Tale ipotesi è ulteriormente rafforzata dalle conseguenze di un confronto tra le sezioni d'urto di fotoproduzione di π^- e π^+ ⁽⁵⁾. La differenza

$$(1) \quad \Delta = \frac{q}{k} \left[\sigma_{\text{tot}}(\pi^-) - \sigma_{\text{tot}}(\pi^+) \right]$$

dovrebbe risultare infatti una funzione lentamente variabile con l'energia, ed anche piccola

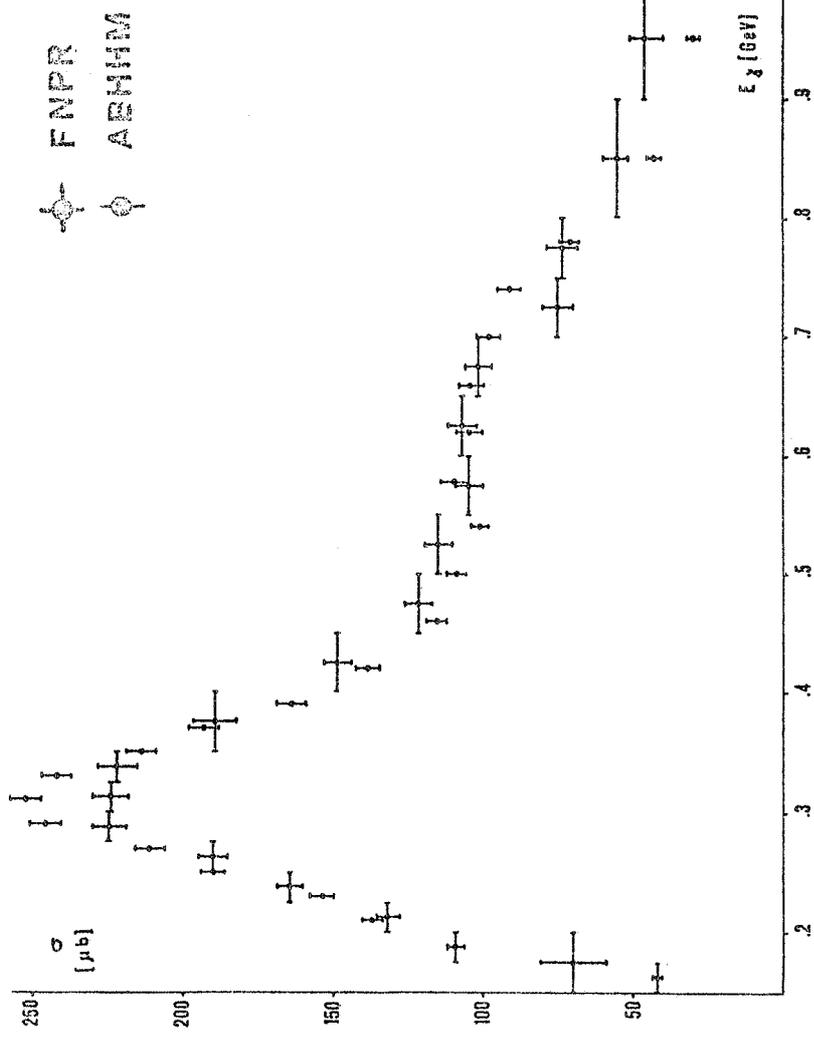


FIG. 2a - Confronto delle sezioni d'urto $\gamma d \rightarrow pp\pi^-$ misurate dalla collaborazione ABHMM e dalla collaborazione FNPR.

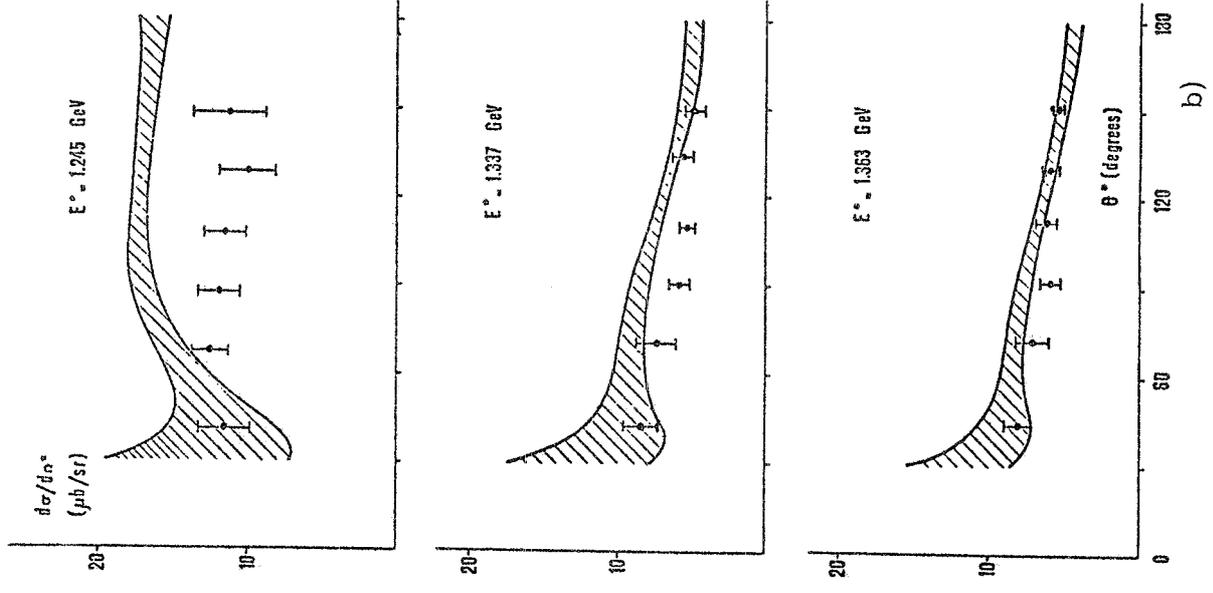


FIG. 2b - Sezioni d'urto differenziali per la reazione $\gamma n \rightarrow \pi^- p$ misurate dalla collaborazione FNPR e a Berkeley mediante la reazione $\pi^- p \rightarrow \gamma n$.

4.

in valore assoluto ($\lesssim 10\%$) per la presenza di termini di spin isotopico $T=1/2$ non comuni alle due reazioni.

Ecco invece come appare in Fig. 3, la differenza Δ quale risulta dal quadro sperimentale attuale:

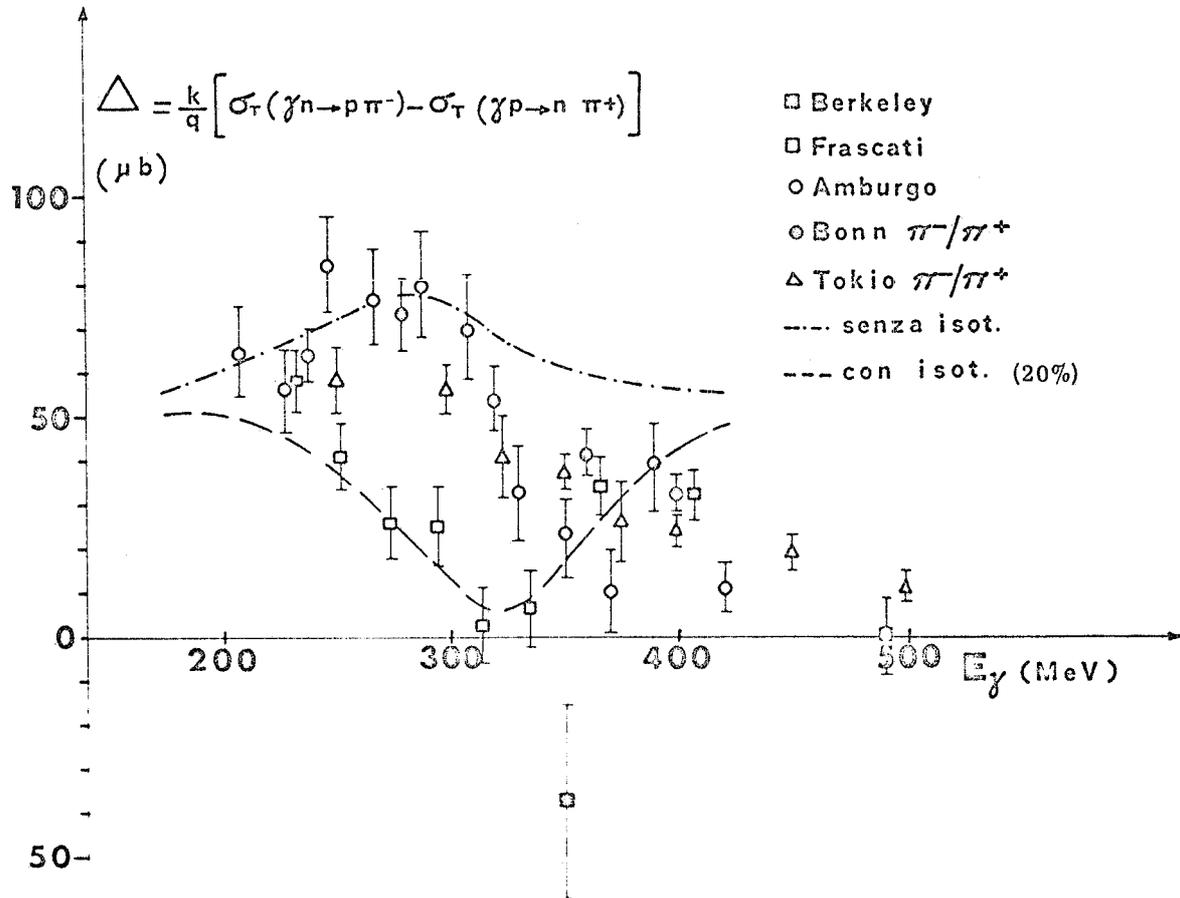


FIG. 3 - Andamento con l'energia E_γ della differenza $\Delta = q/k [\sigma_{tot}(\gamma n \rightarrow p \pi^-) - \sigma_{tot}(\gamma p \rightarrow n \pi^+)]$ con \vec{q} , \vec{k} impulsi del pione e del fotone nel s.c.m.

Si osservi in Fig. 3 che esiste una serie di risultati corrispondenti alla curva tratteggiata superiore, che rientrano nelle previsioni che fanno capo alla trattazione dispersiva dei multipoli. In contrapposizione però ai primi, i risultati di Frascati⁽¹⁾ e di Berkeley⁽³⁾ che sono meglio rappresentati dall'andamento della curva inferiore, hanno suggerito l'esistenza di un termine isotensoriale della corrente elettromagnetica, che potrebbe essere anche responsabile della violazione del "time reversal" a cui accennavamo. Come si vede, dunque, già nella semplice fotoproduzione singola, la situazione è tutt'altro che chiara, e resta l'interesse e il dovere di approfondire questi problemi, che, definitivamente risolti, potrebbero condurre ad una revisione di alcuni concetti fondamentali considerati acquisiti.

Una verifica indipendente dall'esistenza di un termine isotensoriale, è la misura del rapporto delle sezioni d'urto di fotoproduzione di π^0 su neutrone e su protone alla prima risonanza⁽⁶⁾.

Tale esperimento è attualmente in corso presso i Laboratori Nazionali di Frascati, e presso i Laboratori di Daresbury⁽⁷⁾, con tecniche diverse.

Passiamo ora ai processi di fotoproduzione multipla di pioni.

Relativamente ai processi:



quello che si può dire di interessante riguarda il meccanismo attraverso il quale la reazione procede, e che quasi certamente è del tipo



Ciò è confermato da misure ancora in corso di pubblicazione⁽⁸⁾, delle quali alcune sono riportate in Fig. 4.

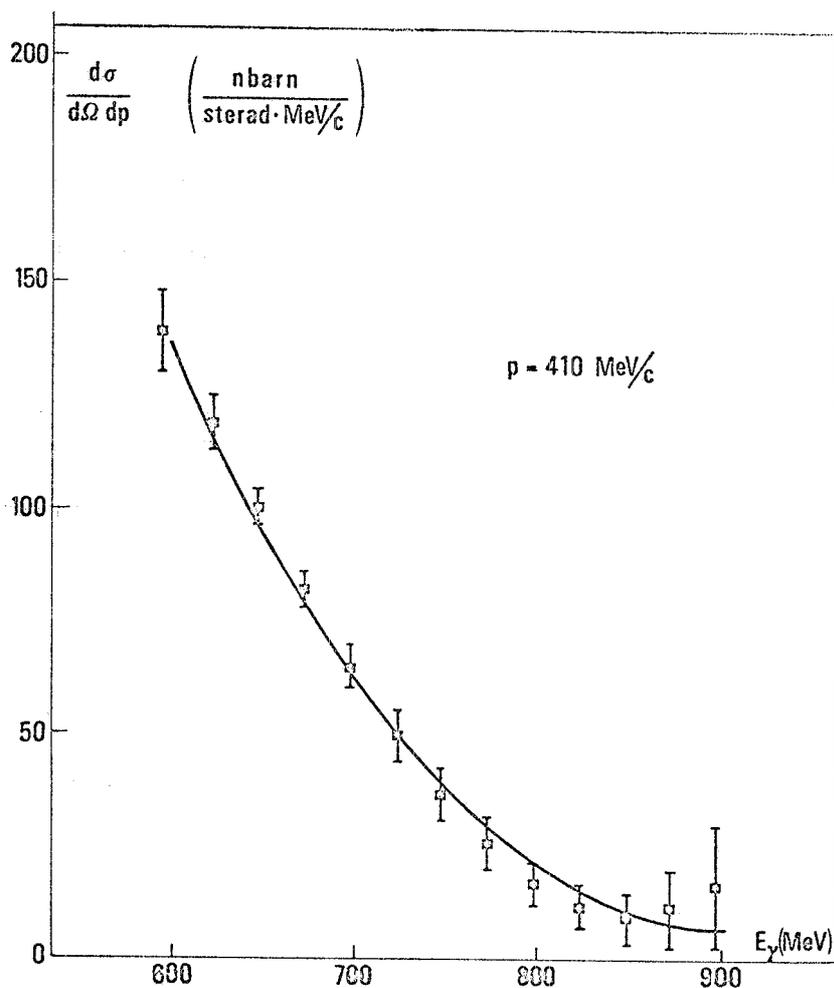


FIG. 4 - Sezione d'urto differenziale della reazione $\gamma + p \rightarrow p + \pi^+ + \pi^-$ per un impulso del fotone di 410 MeV/c vs la energia del fotone.

In Fig. 4 la curva teorica rappresenta il valore della sezione d'urto per la reazione (2) ottenuto combinando la distribuzione angolare per il processo



misurata a Stanford⁽⁹⁾, con la curva di distribuzione angolare di decadimento della Δ^{++} ⁽¹⁰⁾. Il risultato è in buon accordo con l'ipotesi (2'). Nessuna evidenza esiste invece dalla reazione studiata per un'interazione $\pi\pi$. Si ha

6.

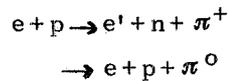
$$R \cong \frac{\pi^+ \pi^-}{\pi^0 \pi^0} = 2,7 \pm 0,3$$

da confrontare con il valore atteso

$$R = 2,5$$

Misure di fotoproduzione doppia di π^0 sono in corso con la camera a bolle a liquido pesante dei Laboratori Nazionali di Frascati.

Un capitolo importante dell'attività dei Laboratori Nazionali di Frascati è lo studio dei processi di elettroproduzione⁽¹¹⁾, e cioè delle reazioni



le quali, all'ordine più basso, possono interpretarsi come fotoproduzione da fotoni virtuali, in un modello di "one photon exchange".

Del tutto recentemente sono state completate una serie di misure di sezione d'urto per quadrimomenti trasferiti

$$k^2 = [4-5-6] \text{ fermi}^{-2}$$

L'analisi teorica di questo processo si basa essenzialmente su due modelli^(12, 13), che fanno capo all'algebra delle correnti.

Dalle misure di elettroproduzione vicino alla soglia, è possibile estrarre il fattore di forma assiale del nucleone

$$G_A(k^2)$$

altrimenti ottenibile soltanto con esperimenti con fasci di neutrini.

Nella Fig. 5 sono riportati i risultati relativi a $G_A(k^2)$, ottenuti dai punti sperimentali facendo uso di ambedue i modelli.

Il primo di questi (punti tondi) non richiede la conoscenza esplicita del fattore di forma del pione; il secondo modello (freccette o quadratini) fornisce i valori di G_A basandosi su due diverse assunzioni relative al fattore di forma stesso del pione F_π .

Da recenti misure di un gruppo di Harvard⁽¹⁴⁾, sembra che l'espressione più conveniente per F_π sia del tipo (v. Fig. 6)

$$F_\pi \rightarrow F_1^V.$$

In ogni caso il valore di G_A non dipende sensibilmente dalla scelta di F_π .

In conclusione, esistono dunque diversi problemi ancora aperti, in un campo in cui solo della sistematica sembrerebbe possibile, così come pure continuano a sorgere spunti nuovi d'interesse fisico paragonabile a quello delle ricerche con altri fasci.

Riepiloghiamo in Tab. II le questioni in sospeso, aggiungendovi qualche nuova possibilità, nell'ambito della sola fisica delle particelle, al disotto di 1 GeV.

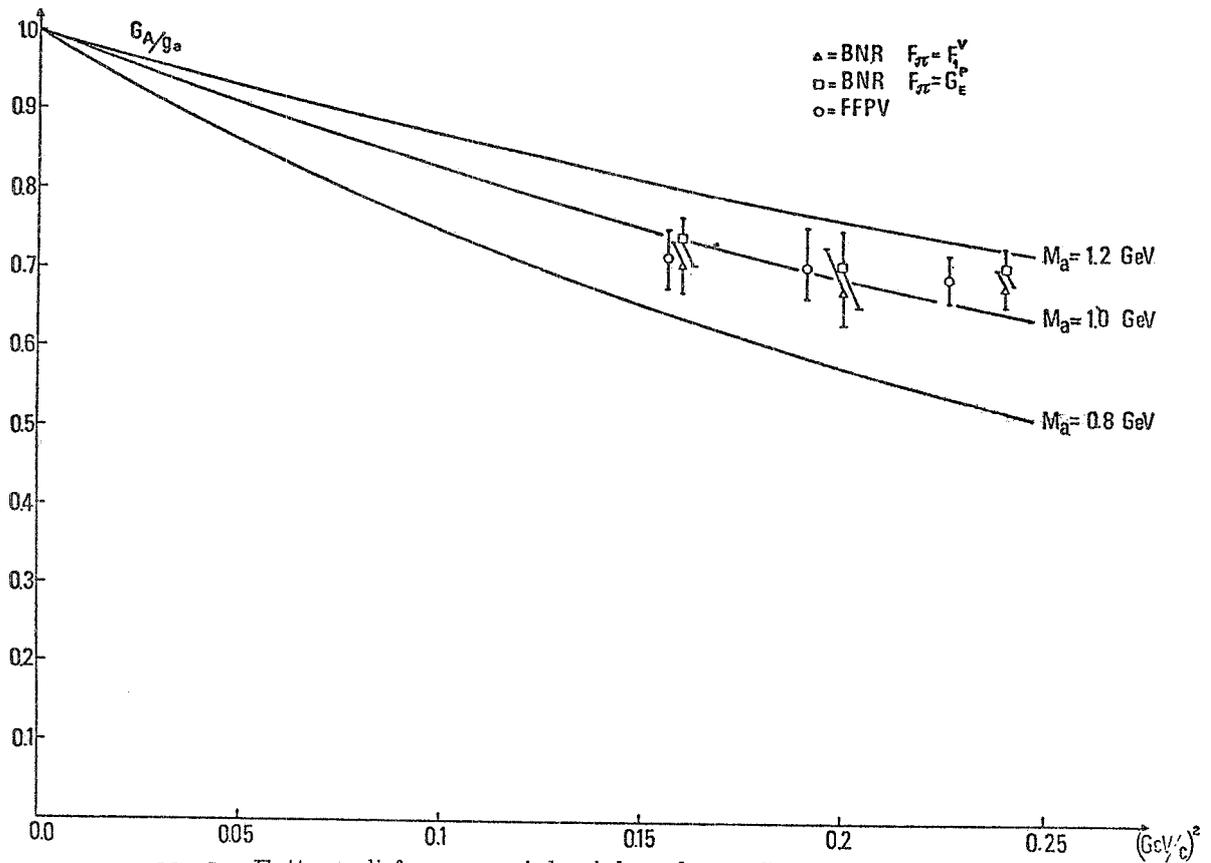


FIG. 5 - Fattore di forma assiale del nucleone G_A/g_A per tre di
 versi valori del parametro M_A in una formula del tipo $G_A(k^2) =$
 $= g_A(1+(|k|^2)/M_a^2)^{-2}$. L'analisi dei dati si basa sui modelli
 FFPV(12) e BNR(13).

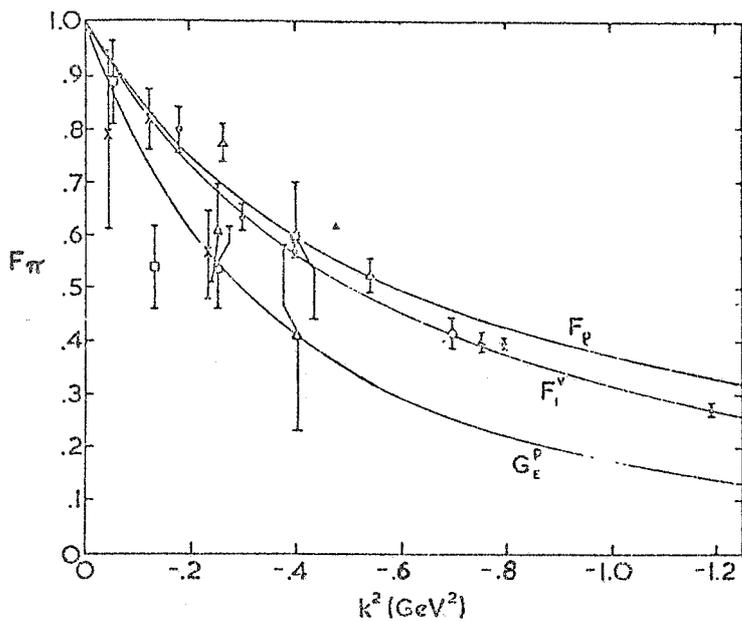


FIG. 6 - Dati mondiali sul fat
 tore di forma del pione da elet
 troproduzione di π^+ (ref. 27).

- x Akerlof et al. (Zagury)
- \square Mistretta et al. (Zagury)
- Mistretta et al. (Adler)
- \bullet Brown et al. (Berends)
- \circ Kummer et al. (Devenish)
- Driver et al. (Berends)

TABELLA II

1. Fotoproduzione di π^- $\gamma + n \rightarrow p + \pi^-$ <p>a) violazione del principio del bilancio dettagliato b) esistenza di un termine isotensoriale nella corrente e.m.</p>
2. Fotoproduzione di π^0 su neutrone: $\gamma + n \rightarrow n + \pi^0$ <p>(mai misurata alla I^a risonanza); test indipendente dell'ipotesi del termine isotensoriale.</p>
3. Fotoproduzione multipla di π^0 in camera a bolle a liquido pesante
4. Rapporto σ_L/σ_T in elettroproduzione, tra le sezioni d'urto longitudinali e trasversali.
5. Fotoproduzione e decadimento radiativo della Δ^+ : misura diretta del suo momento magnetico.

3. - RICERCHE CON FOTONI DI ENERGIA $1 \leq E_\gamma \leq 20$ GeV. -

I risultati già ottenuti tra 1 e 20 GeV hanno fatto intravedere una problematica vasta ed interessante che potrà essere chiarita a fondo quando si disporrà di fasci di fotoni di energia molto più alta. Prima di esaminare canali specifici osserviamo subito che l'andamento della sezione d'urto totale di fotoproduzione su protone $\sigma_{tot}(\gamma p)$ riportato in Fig. 7(15) ha un andamento che s'accorda discretamente in questo intervallo di energia, con un andamento del tipo

$$(4) \quad \sigma_{\gamma p} [\mu b] = A + \frac{B}{\sqrt{E_\gamma (\text{GeV})}}$$

con

$$A \simeq 98$$

$$B \simeq 65$$

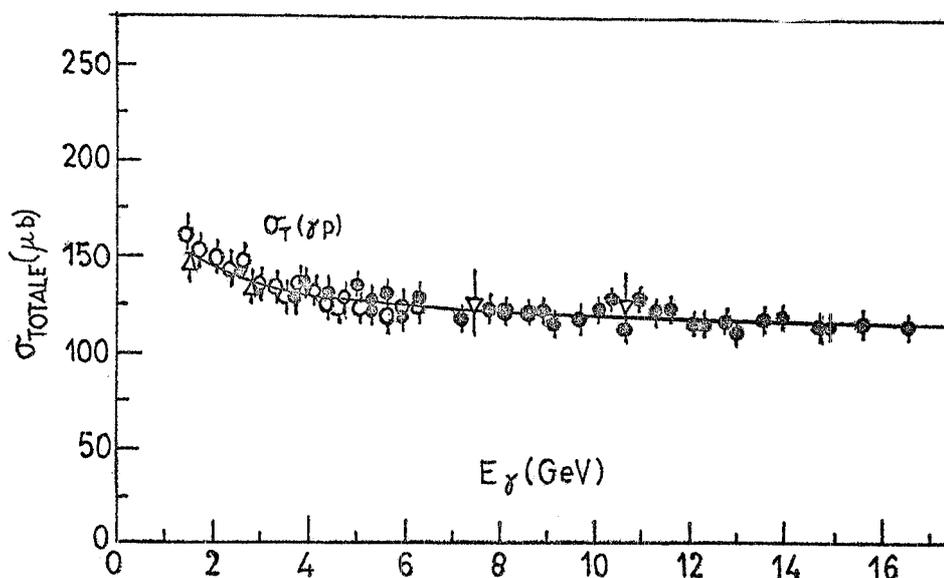


FIG. 7 - Sezione d'urto totale di fotoproduzione su protone (ref. 15).

In questa zona di energie molti esperimenti sono stati compiuti, oltre che di fotoproduzione multipla di pioni, anche di mesoni vettoriali, soprattutto ρ^0 , ω e φ . E' ben noto che la sezione d'urto di fotoproduzione di mesoni vettoriali $d\sigma/dt(\gamma \rightarrow v)$ può essere intesa come un prodotto tra l'ampiezza per fotoproduzione di mesoni vettoriali e la diffusione elastica di mesoni vettoriali trasversalmente polarizzati (trascurando "off shell effects")

$$T(\gamma \rightarrow V) = \sum_{V_i} \frac{\sqrt{\pi\alpha}}{\gamma_V} T(V_{T_i} \rightarrow V_{T_i})$$

prendendo, ad es., per γ_V il valore della costante di accoppiamento fotone-mesone vettoriale come si ricava da esperimenti con anelli di accumulazione o dal decadimento leptonic di tali mesoni.

L'ampiezza di diffusione elastica non è misurabile direttamente, ma può valutarsi facendo uso del modello a quarks⁽¹⁶⁾. Si hanno in definitiva, relazioni del tipo

$$\frac{d\sigma}{dt}(\gamma p \rightarrow \rho^0 p) = \frac{\alpha}{4} \frac{1}{\gamma_\rho/4\pi} \frac{d\sigma}{dt}(\rho^0 p \rightarrow \rho^0 p)$$

con

$$\frac{d\sigma}{dt}(\rho^0 p \rightarrow \rho^0 p) = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{d\sigma}{dt}(\pi^+ p)} + \sqrt{\frac{d\sigma}{dt}(\pi^- p)} \right]^2$$

Dalla Fig. 8 è possibile rendersi conto che tali relazioni risultano ben soddisfatte⁽¹⁷⁾, anche in valore assoluto, anche se il confronto teoria-esperienza risulta meno buono per $t=0$.

Quest'ultimo fatto ha come conseguenza che neppure la sezione d'urto totale può essere predetta nell'ambito di un modello di "vector dominance" con i tradizionali mesoni vettoriali ρ^0 , ω e φ . E' necessario, di fatto, ammettere contributi da nuovi mesoni vettoriali per un ammontare pari a $\sim 20\%$ del contributo dei mesoni principali.

Questo è anche confermato da recenti misure di effetto Compton su protone eseguite a Desy e Slac fra 2,5 e 17 GeV per $|t| < 1 \text{ GeV}/c^2$: un confronto dei risultati con le predizioni della vector dominance (ρ^0 , ω e φ) richiede, di nuovo, l'esistenza di altri mesoni vettoriali di massa elevata.

Un capitolo molto importante, per la sopravvivenza di vari modelli fenomenologici è rappresentato dalla fotoproduzione singola di mesoni π , con fotoni normali o trasversalmente polarizzati. In Fig. 9 e 10 è riportato l'andamento⁽¹⁸⁾ della sezione d'urto differenziale di fotoproduzione di π^+ e di π^0 assieme alle misure di asimmetria ottenute con targetta polarizzata.

Gli andamenti delle sezioni d'urto per i vari canali di fotoproduzioni multipla sono riportati in Fig. 11.

4. - RICERCHE POSSIBILI CON FOTONI DI ENERGIA $> 20 \text{ GeV}$. -

E' indubbio che un fascio di fotoni di alta energia permette di compiere una serie di ricerche importanti per la comprensione della struttura delle particelle elementari, del meccanismo di interazione ad alta energia e delle proprietà specifiche delle interazioni elettromagnetiche.

In Fig. 12 è mostrato a quale incertezza ci si trova di fronte già nel semplice andamento della sezione d'urto totale $\sigma_{tot}(\gamma p)$ ad alta energia, anche tenendo conto dei risultati di ref. (15).

Qui il nocciolo della questione è che non si può, a tutt'oggi, escludere l'esistenza di poli fissi nelle interazioni elettromagnetiche, poli che non appaiono invece nelle interazioni forti.

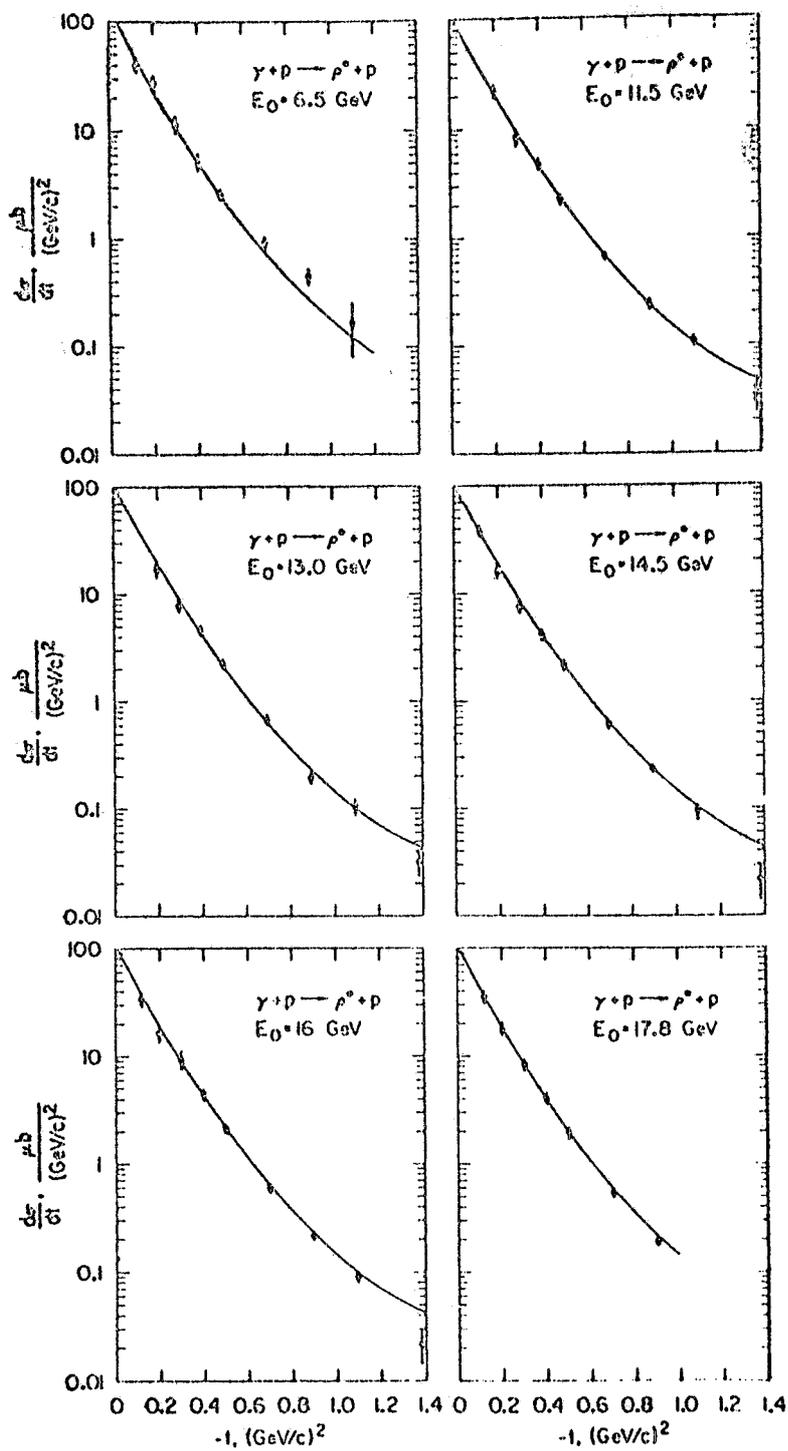


FIG. 8 - Sezione d'urto differenziale per fotoproduzione di ρ^0 (ref. 17).

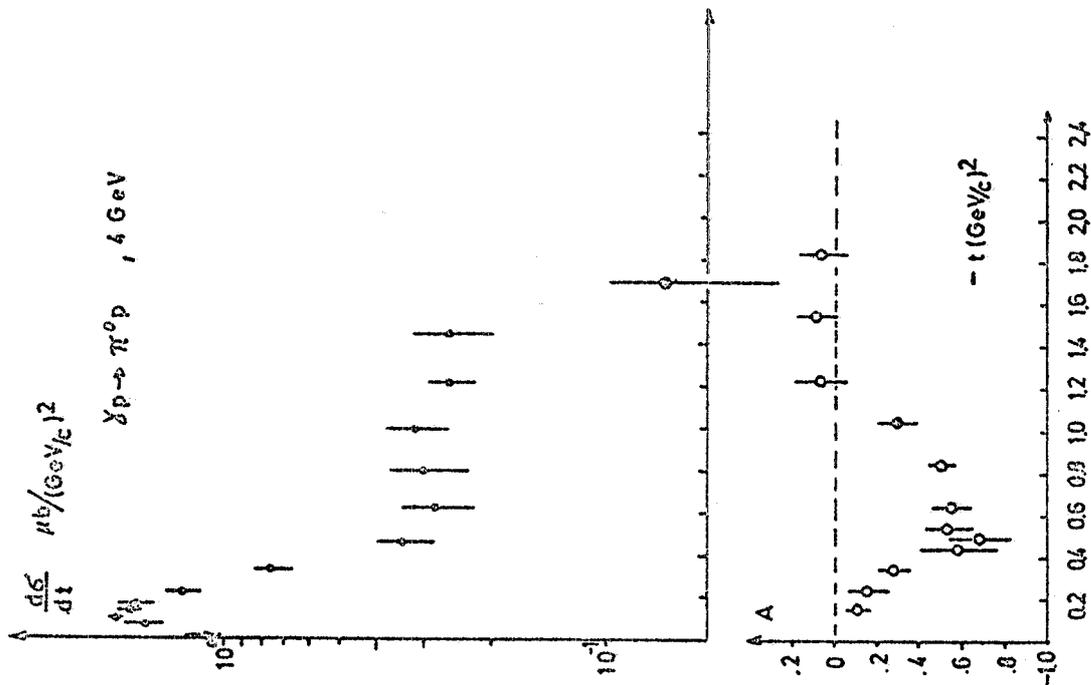


FIG. 9 - Sezione d'urto differenziale per la reazione $\gamma p \rightarrow n \pi^+$ a 5 GeV (punti superiori) e asimmetria da targhetta polarizzata (punti inferiori) vs $(-t)$ (ref. 18).

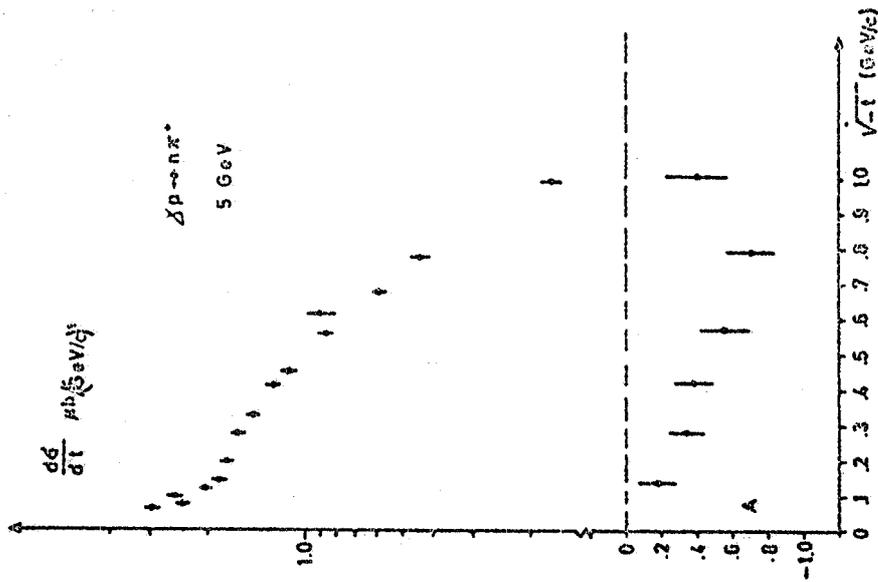


FIG. 10 - Sezione d'urto differenziale per le reazioni $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ a 4 GeV (punti superiori) e asimmetria da targhetta polarizzata vs $(-t)$ (ref. 18).

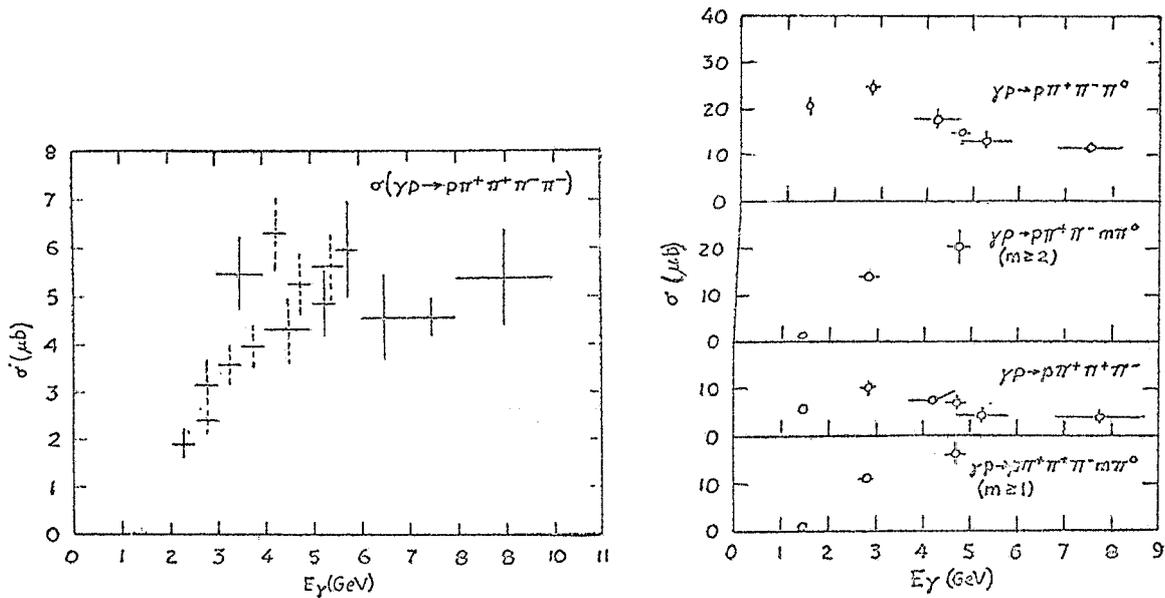


FIG. 11 - Sezione d'urto di fotoproduzione multipla vs E_γ (ref. 19).

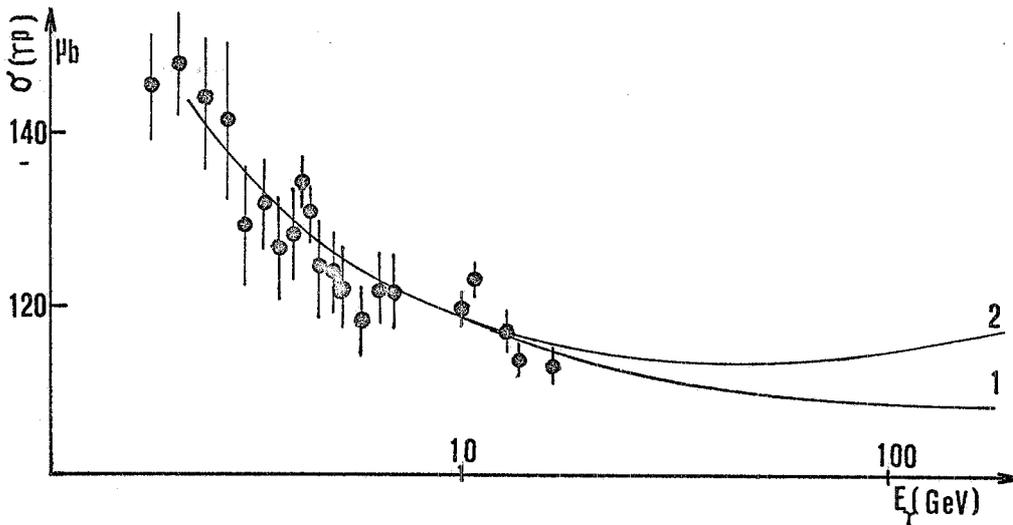


FIG. 12 - Sezione d'urto totale $\sigma_{tot}(\gamma p)$ vs E_γ . La curva 1 è ottenuta usando la (4); la curva 2 corrisponde a un modello a poli complessi (v. ref. 19).

L'esistenza o meno di poli fissi porta dunque ad andamenti diversi di $\sigma_{tot}(\gamma p)$ e solo misure sufficientemente precise potrebbero portare ad escludere tale possibilità. Accade attualmente, ad es, che se si guarda all'andamento della sezione d'urto di fotoproduzione di π^+ al disotto dei 20 GeV, si trova che, a grandi momenti trasferiti e per tutte le energie⁽²⁰⁾, essa sarebbe compatibile perfettamente con l'esistenza di poli fissi corrispondenti a $J=0$.

Veniamo ora ai processi di fotoproduzione multipla ad altissima energia, che è oggi uno dei temi più interessanti della fisica delle particelle.

Esistono attualmente indicazioni per tutta una serie di fatti sperimentali, nelle reazioni iniziate da particelle di altissima energia:

- momenti trasversi p_\perp piccoli (< 0.5 GeV/c) rispetto all'asse di collisione;
- distribuzione delle particelle che tendono a limiti indipendenti dall'energia;
- invarianza di scala.

Per interpretare questi fatti sono stati proposti diversi modelli teorici recentemente sviluppati nell'ipotesi di massima frammentazione del bersaglio o del proiettile. In tale ipotesi⁽²¹⁾, per reazioni del tipo (single arm inclusive reactions)

$$a + b \rightarrow c + \dots$$

nel sistema di quiete del bersaglio o del proiettile la funzione di struttura $f(s, p_{\parallel}, p_{\perp})$, che contiene tutte le informazioni sulla dinamica del processo e le restrizioni dello spazio delle fasi dovute alla conservazione energia-impulso, è tale che

$$(5) \quad \lim_{s \rightarrow \infty} f(s, p_{\parallel}, p_{\perp}) = f(p_{\parallel}, p_{\perp})$$

con f definita da

$$f(s, p_{\parallel}, p_{\perp}) = E \frac{d^3\sigma}{\pi dp_{\parallel} dp_{\perp}^2}$$

essendo \vec{p} la q. d. di moto della particella c e \sqrt{s} l'energia totale nel sistema del centro di massa.

Equivalente⁽²²⁾ (tranne che per piccoli p_{\parallel}/p_{\max}) all'ipotesi di massima frammentazione è la ipotesi di "invarianza di scala" di Feynmann che ammette l'esistenza del limite (5) nel sistema del centro di massa delle particelle iniziali.

Analoghi limiti esistono per sezioni d'urto con rivelazione di 2, 3 o più particelle. Ebbene, sembra attualmente che l'energia da fotoni usate siano ancora troppo basse⁽²³⁾ purchè si veda già un effetto di "scaling" con fotoni, come può vedersi dalla Fig. 13 relativamente alla reazione:

$$\gamma + p \rightarrow \pi^- + \dots$$

In Fig. 12 è riconoscibile una notevole dipendenza di f dall'energia, nella regione di frammentazione del bersaglio (definita da $p_{\parallel} < 0,3$ GeV/c), il che distingue in qualche modo il comportamento della fotoproduzione (inclusiva) di π^- da reazioni del tipo

$$\pi^+ + p \rightarrow \pi^- + \dots, \quad p + p \rightarrow \pi^- + \dots$$

cioè da reazioni indotte da adroni che tendono invece ad essere indipendenti dall'energia già a più basse energie.

Nella zona di frammentazione della particella incidente è riconoscibile invece⁽²⁴⁾ un marcato effetto da "leading particle" per π^- incidenti; l'effetto di "leading particle" nel caso della fotoproduzione è rappresentato dal q^0 .

E' interessante proprio a questo proposito osservare quanto significative siano le misure ottenute con fasci di fotoni polarizzati⁽²³⁾; in Fig. 14 è mostrata la dipendenza azimutale della sezione d'urto di fotoproduzione di π^- in funzione, di φ cioè dell'angolo, tra il piano di polarizzazione del fotone e il piano di produzione del π^- . Come si vede non c'è correlazione tra $d\sigma/d\Omega$ e il vettore di polarizzazione nella zona di frammentazione del bersaglio, ma una notevole correlazione si osserva nella zona di frammentazione del proiettile (il fotone!) che evidentemente trasmette la sua polarizzazione ad un q^0 , così riconfermando il suo comportamento adronico.

Nella Tabella III sono indicate alcune delle ricerche che potrebbero essere utilmente eseguite disponendo di un fascio γ di energia compresa tra 50 e 100 GeV.

Proposte per l'utilizzazione di un fascio γ di altissima energia sono state fatte presso vari Laboratori. Quasi tutte prevedono l'utilizzazione di una grossa camera a bolle con un fascio di fotoni normale di conveniente intensità, o di un fascio "targato". Ci riferiamo a un progetto relativo alla camera ad idrogeno liquido di 2 m "Liudmila" da irradiarsi con fotoni di alta energia ottenuti con il protosincrotrone di Serpukov⁽¹⁹⁾; ad un progetto di un fascio di fotoni targato per NAL⁽²⁵⁾; ad un progetto in fase di elaborazione di un fascio targato di fotoni per BEBC⁽²⁶⁾, presso l'SPS.

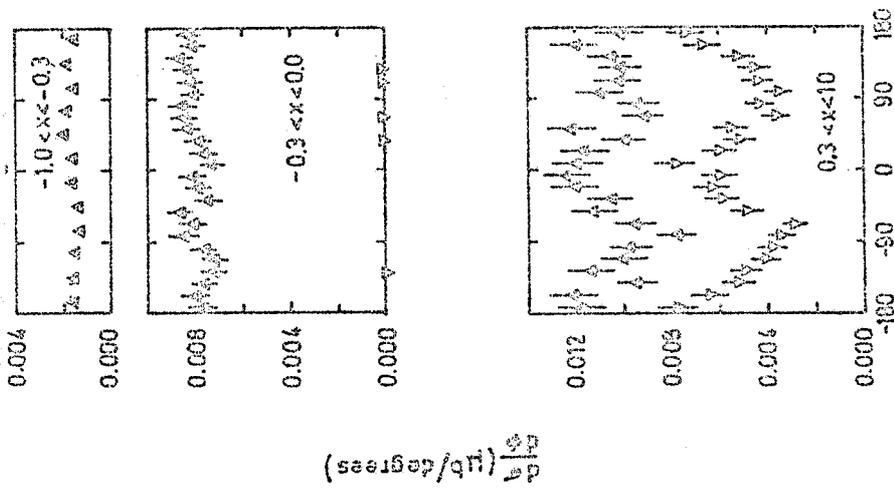


FIG. 14 - Dipendenza della sezione d'urto della reazione $\gamma p \rightarrow \pi^+ + \dots$ a 9,3 GeV dalla polarizzazione del fotone incidente; \blacktriangle produzione elastica del ρ^0 esclusa, ∇ inclusa (ref. 23).

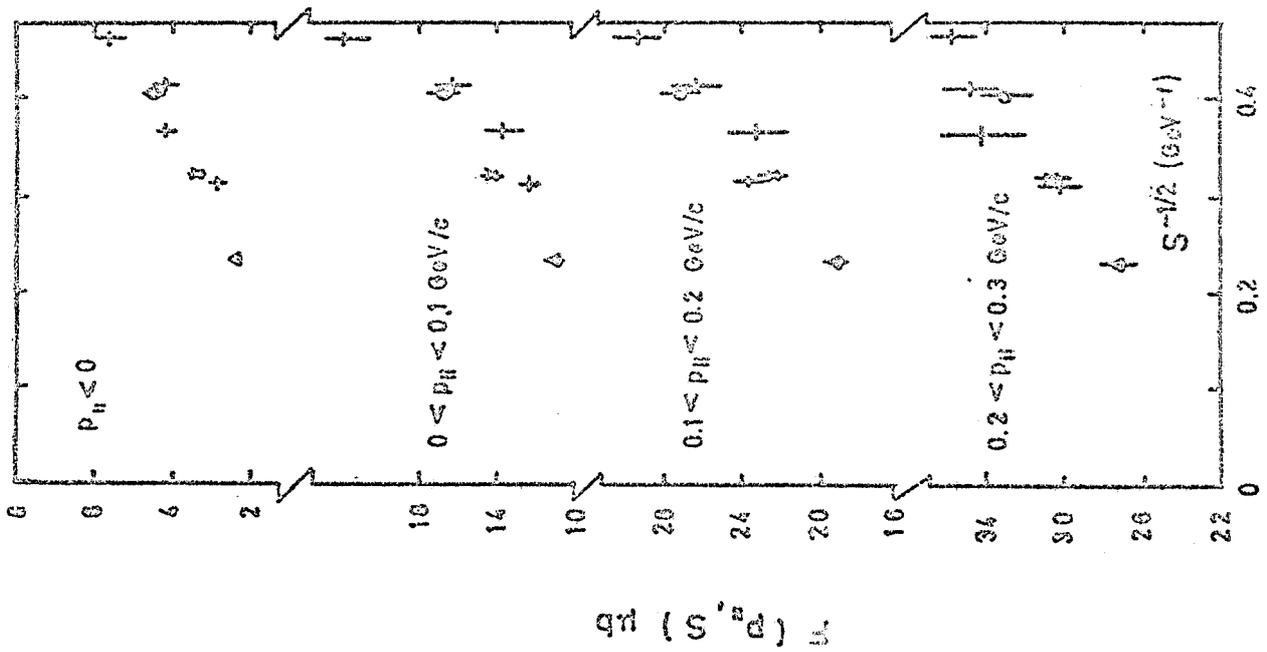


FIG. 13 - Sezione d'urto di fotoproduzione inclusiva di π^+ .

TABELLA III

- 1) Sezione d'urto totale γ -p. Esistenza di poli fissi e. m.
- 2) Molteplicità dei prodotti carichi
- 3) Fotoproduzione di mesoni vettoriali in regime asintotico
- 4) "Single arm experiments":
 - a) spettro di π^\pm versus E_γ
 - b) spettri a p_\perp fisso versus $p_{||} / E_{c.m.}$
 - c) canali esotici, per i quali è previsto che il regime asintotico si raggiunga più velocemente che per gli altri.
- 5) "Double arm experiments":
 - a) correlazioni negli spettri di due particelle
 - b) spettri di impulsi trasversi relativi
 - c) canali esotici.

La costruzione di un fascio "targato" per l'SPS andrebbe affiancata alla realizzazione di uno strumento adeguato che permettesse di partecipare alla fase di analisi delle foto raccolte, in una completa autonomia scientifica. Accanto agli strumenti automatici per l'analisi di fotogrammi già esistenti a Bologna e Padova è forse conveniente considerare la realizzazione di un PEPR secondo la proposta dei gruppi "camera a bolle" di Frascati e Roma (vedi rapporto LNF-72/90 (1972)). Questo è suggerito fortemente dall'entrata in funzione delle nuove grandi camere a bolle (Gargamelle e BEBC) che aumenteranno la complessità delle foto e il numero di fotogrammi da analizzare.

Ringrazio i Proff. G. Altarelli, G.F. Bologna, B. Borgia e G. De Franceschi per le utili discussioni avute con loro durante la preparazione di questa relazione.

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - Frascati-Napoli-Pavia-Roma (FNPR Collaboration), Lett. Nuovo Cimento 3, 697 (1970); Frascati Report LNF-72/31 (1972).
- (2) - Aachen-Berlin-Bonn-Hamburg-Heidelberg-Munich (ABBHH) Collaboration, Cornell Conference (1971); Bonn report PIB-3-20 (1972).
- (3) - P.A. Berardo et al., Phys. Rev. Letters 24, 419 (1970).
- (4) - a) T. Fujii et al., Phys. Rev. Letters 26, 1672 (1971);
b) G.V. Holtey et al., Phys. Letters 40B, 589 (1972).
- (5) - a) A.J. Sanda and G. Shaw, Phys. Rev. Letters 24, 1310 (1970);
b) P. Noell and W. Pfeil, Nuclear Phys' B31, 1 (1971);
c) F.A. Berends and D.L. Weaver, Phys. Rev. 4D, 1997 (1971);
d) G.C. Susinno, Frascati Report LNF-72/86 (1972).
- (6) - E. Di Capua et al., Frascati Report LNF-72/7 (int.) (1972).
- (7) - Daresbury Nuclear Phys. Lab. - LAMP Group, DNPL/SCP-70 (1971)
- (8) - M. Beneventano et al., Istituto di Fisica dell'Università di Roma, Nota Interna n. 407 (1972); Nuovo Cimento, to be published.
- (9) - J.V. Allaby et al., Phys. Rev. 142, 887 (1966).
- (10) - P. Stichel and M. Scholtz, Nuovo Cimento 34, 1381 (1964).
- (11) - E. Amaldi et al. Istituto di Fisica dell'Università di Roma, Nota Interna 383bis (1972); E. Amaldi et al., Nuovo Cimento 65A, 377 (1970).
- (12) - S. Fubini and G. Furlan, Ann. Phys. (N. Y.) 48, 322 (1968); G. Furlan et al., Nuovo Cimento 62A, 519 (1969); 70A, 247 (1970).
- (13) - Y. Nambu and M. Yoshimura, Phys. Rev. Letters 24, 25 (1970); G. Benfatto et al., Nuclear Phys., to be published.
- (14) - C.N. Brown et al., Phys. Rev. Letters 26, 991 (1971).
- (15) - H. Meyer et al., Phys. Letters 29B, 280 (1972); J. Ballam et al., Phys. Rev. Letters 21, 1541 (1968); SLAC-Berkeley-Tufts Collaboration, Phys. Rev. Letters 23, 498 (1968); D.O. Caldwell et al., Phys. Rev. Letters 23, 1256 (1970).
- (16) - B. Margolis, Nucl. Phys. B6, 687 (1968).
- (17) - R. Anderson et al., Phys. Rev. D1, 27 (1970).
- (18) - C. Moorhouse et al., Phys. Rev. Letters 25, 835 (1970); P. Joos, Desy Hera 70-1 (1970); P. Booth et al., DNPL/P-101 (1972).
- (19) - A.M. Baldin et al., Dubna report, P1/6212; tradotto in LNF-72/9 (Int) (1972).
- (20) - M.J. Creutz et al., Phys. Rev. 178, 2300 (1969); A.M. Boyarski et al., Phys. Rev. Letters 20, 300 (1968).
- (21) - J. Benecke et al., Phys. Rev. 188, 2159 (1969).
- (22) - C.E. De Tor, Phys. Rev. D3, 128 (1971).
- (23) - Aachen-Hamburg-Heidelberg-Munich Collaboration, preliminary data quoted in "photon hadron interactions" by H. Meyer-Proceedings IV Int. Conf. on High Energy Collisions, Oxford (1972); K.C. Moffert et al., SLAC-PUB-1004 (1971).
- (24) - W.D. Shepard et al., Phys. Rev. Letters 27, 1169 (1971); vedi anche ref. 23.
- (25) - C. Halliwell et al., FN-241, 2253.000.
- (26) - G.F. Bologna et al., in preparazione.
- (27) - A. Sofair et al., DNPL-P/97 (1971).