

LNF - 68/73  
10 Dicembre 1968

G. Goggi, G. C. Mantovani, A. Piazza, A. Piazzoli e D.  
Scannicchio: FOTODISINTEGRAZIONE E FOTOPRODUZIONE IN  $^3\text{He}$  CON CAMERA A DIFFUSIONE. -

Laboratori Nazionali di Frascati del CNEN

Servizio Documentazione

LNF-68/73

Nota Interna: n. 422

10 Dicembre 1968

G. Goggi<sup>(x)</sup>, G.C. Mantovani<sup>(x)</sup>, A. Piazza, A. Piazzoli<sup>(x)</sup>, D. Scannicchio<sup>(x)</sup>: FOTODISINTEGRAZIONE E FOTOPRODUZIONE IN  $^3\text{He}$  CON CAMERA A DIFFUSIONE.

SOMMARIO -

Si riportano i risultati preliminari di uno studio delle fotoreazioni in  $^3\text{He}$  eseguito con la tecnica della camera a diffusione.

INTRODUZIONE -

In questa nota vengono riportati i risultati preliminari di un esperimento di fotodisintegrazione e fotoproduzione di mesoni  $\pi$  in  $^3\text{He}$  eseguito presso i Laboratori Nazionali di Frascati mediante una Camera a diffusione appositamente costruita.

Alcuni problemi teorici riguardanti l' $^3\text{He}$  non ancora chiariti completamente, quali l'anomalia del momento magnetico, la presenza delle correnti di scambio, la possibilità di una interazione a

---

(x) - Istituto di Fisica dell'Università - Pavia; Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Gruppo di Pavia.

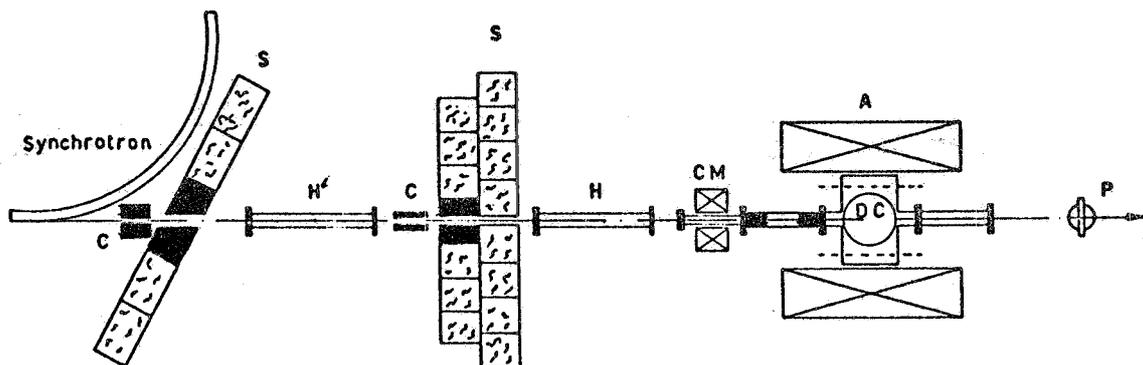
2.

molticorpi<sup>(1-8)</sup> e la scarsità di informazioni sperimentali soprattutto ad energie superiori alla soglia mesonica<sup>(9-16)</sup> giustificavano il nostro interesse per uno studio generale delle fotoreazioni su questo nucleo nell'intento di mettere in rilievo eventuali anomalie anche nelle sue proprietà dinamiche e di contribuire a una chiarificazione dei problemi suddetti.

Questa nota è divisa in tre capitoli. Nel primo vengono descritte la procedura sperimentale e di elaborazione dei dati; nel secondo si riporta una analisi preliminare dei risultati ottenuti; nel terzo, infine, si discutono brevemente tali risultati.

## 1 - APPARATO SPERIMENTALE -

In Fig. 1 è riportato uno schema della disposizione sperimentale della quale diamo qui di seguito alcuni dettagli.



C = collimatore  
S = schermature  
H = induritore  
A = magnete analizzatore

P = fototubo  
CM = magnete pulitore  
DC = camera a diffusione

FIG. 1 - Schema della disposizione sperimentale.

### A) La camera a diffusione (CD).

Per l'indagine che ci eravamo proposti la camera a diffusione si presentava come lo strumento più adatto, in quanto permetteva uno studio preliminare, seppure con statistica non elevata, di tutte le fotoreazioni in  $^3\text{He}$  dalla soglia fino all'energia massima del fotone incidente (800 MeV).

La limitata disponibilità di  $^3\text{He}$  puro, dovuta principalmente al suo costo elevato, ci ha indotto a costruire una CD di piccole dimensioni (volume  $\sim 17$  litri) dotata di ottima tenuta alle pressioni relativamente elevate di lavoro previste ( $5 \div 10$  atm) (vedi fig. 2). Ne è

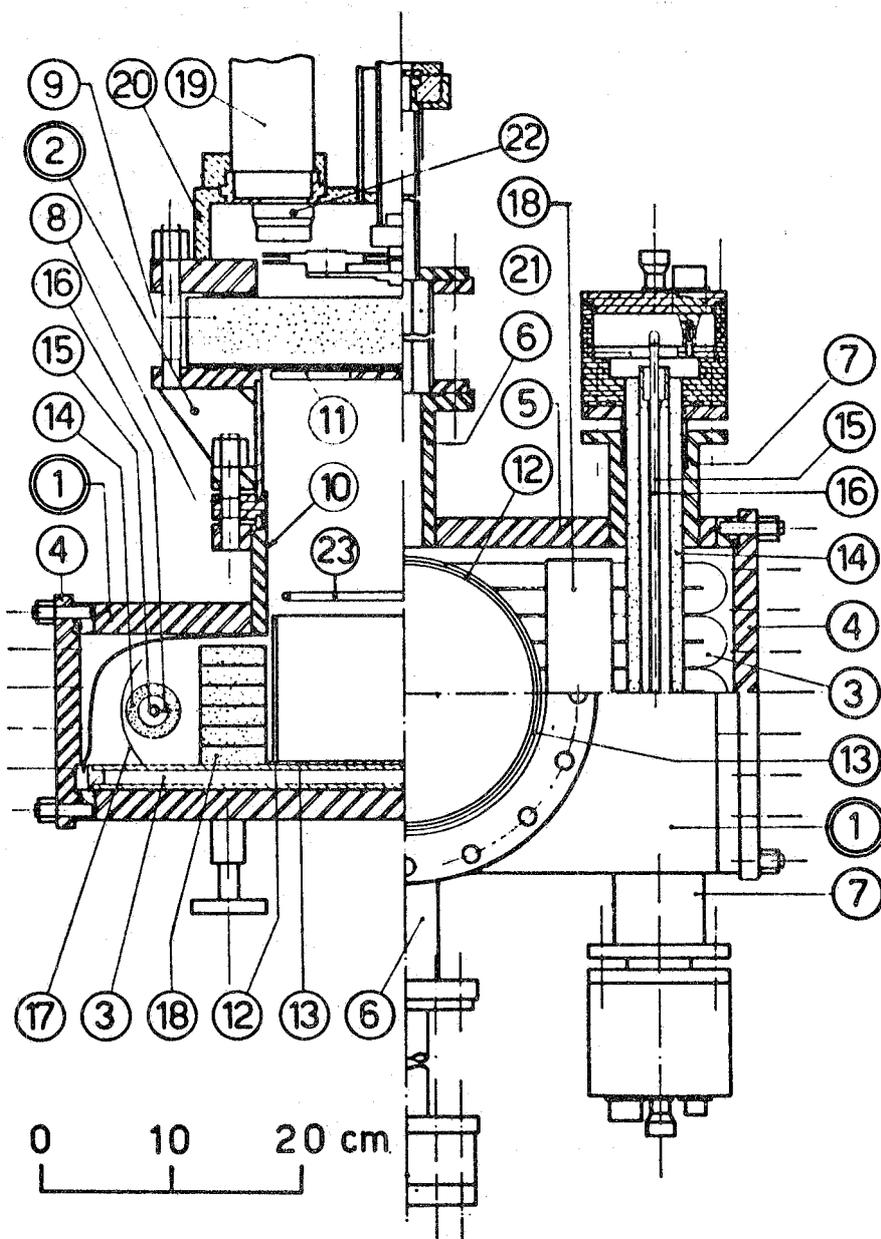


FIG. 2 - Sezioni schematiche della camera a diffusione: 1) parte inferiore; 2) parte superiore; 3) serpentina di raffreddamento; 4)-5) pareti laterali e frontali; 6) flangia di entrata del fascio; 7) flange per il sistema di illuminazione; 8) separazione parti 1) e 2) in tela bakelizzata; 9) vetro per ripresa ottica; 10) parete interna ricoperta da panno per circolazione alcool metilico; 11) assorbitore radioattività vetro; 12) separatore cilindrico di pyrex; 13) fondo della camera con marche di fiducia; 14) tubo di pyrex contenente il flash (15) e lo starter del flash (16); 17) specchio parabolico; 18) collimatore a persiana; 19) macchina fotografica; 20) sostegno macchina fotografica e numeratore; 21) numeratore; 22) obiettivi; 23) elettrodo del campo elettrico pulitore.

risultato uno strumento dotato di alcune caratteristiche costruttive non usuali, soprattutto per quel che riguarda il sistema di illuminazione e il ridotto numero di accessi.

Una descrizione più dettagliata di tali caratteristiche è già stata oggetto di un precedente lavoro<sup>(17)</sup>, al quale rinviamo anche per maggiori particolari concernenti il sistema ottico e quello di ripresa dei fotogrammi.

La camera è stata fatta funzionare con una miscela di  $^3\text{He}$  ( $p = 2,8 \text{ atm}$ ) e di  $\text{H}_2$  ( $p = 5,2 \text{ atm}$ ) non potendosi raggiungere la corretta pressione di lavoro con  $^3\text{He}$  puro. Con tale miscela e con un gradiente di temperatura di circa  $5^\circ\text{C}/\text{cm}$  (da  $-65^\circ$  a  $+20^\circ\text{C}$ ) l'altezza dello strato sensibile si è mantenuta ad un valore di  $4 \div 4,5 \text{ cm}$  durante tutto il periodo di ripresa dei fotogrammi.

#### B) Apparati ausiliari.

Oltre all'apparato ottico e di ripresa dei fotogrammi, descritti in ref. 17, gli apparati ausiliari connessi con la CD consistono: 1) di una logica elettronica modulare che controlla tutte le operazioni cicliche necessarie per la ripresa dei fotogrammi; 2) dell'impianto di purificazione e caricamento dell' $^3\text{He}$ .

Lo schema a blocchi dell'elettronica è mostrato in Fig. 3, mentre in Fig. 4 è mostrata la sequenza temporale di un ciclo completo di operazione.

Il minore tempo di ripetizione compatibile con un buon funzionamento della CD è risultato di 17 secondi.

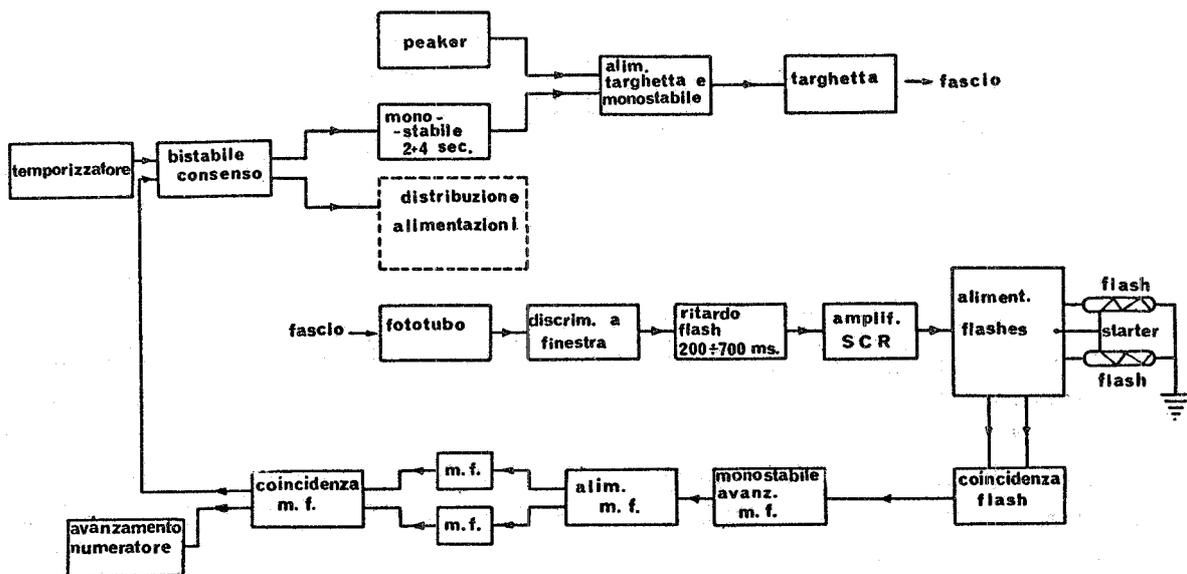


FIG. 3 - Schema a blocchi della logica elettronica di comando del dispositivo (m. f. = macchine fotografiche).

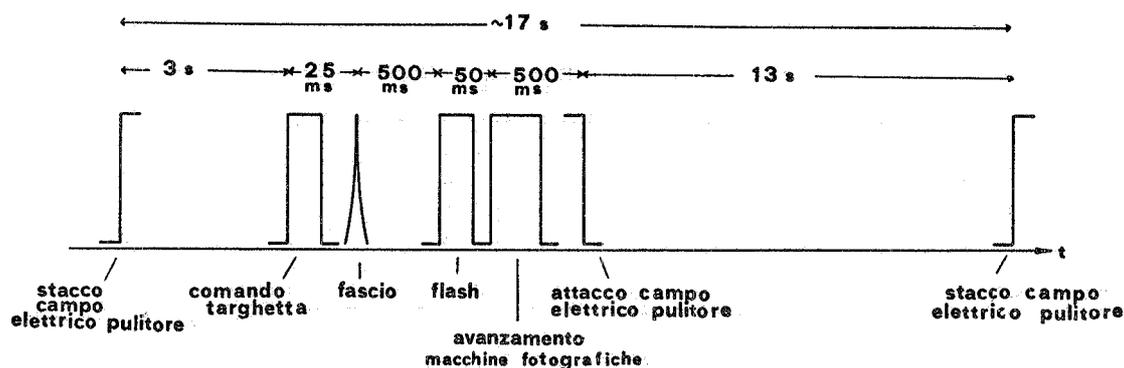


FIG. 4 - Sequenza temporale della logica elettronica.

L'impianto di caricamento e di purificazione è stato realizzato a cura del Gruppo criogenico dei LNF ed un suo schema è mostrato in Fig. 5. Esso consiste essenzialmente di un recipiente di acciaio inossidabile, di una pompa a vuoto, di una pompa a pistone e di un compressore oleodinamico. Il caricamento della CD viene effettuato comprimendo il gas con la pompa a pistone azionata dal compressore oleodinamico. Lo stesso circuito, coll'introduzione di una trappola a  $^4\text{He}$  liquido, serve anche per purificare  $^1\text{H}^3\text{He}$  commerciale dalle impurezze di Tritio ( $\sim 1$  parte su  $10^{+7}$ ). La purificazione, indispensabile a causa della radioattività del Tritio, avviene mescolando  $^3\text{He}$  e  $\text{H}$  e facendo circolare la miscela nella trappola ad  $^4\text{He}$ , che trattiene  $^3\text{H}$  e  $\text{H}$ . Il ciclo di purificazione è stato ripetuto più volte fino a ridurre le impurezze di Tritio a  $\sim 1$  parte su  $10^{14}$ .

### C) Disposizione sperimentale e ripresa del film.

La CD, collocata fra le espansioni polari di un magnete da 10 Kgauss, è stata esposta al fascio 1 dell'Elettrosincrotrone dei LNF con energia massima di 800 MeV indurito con  $\sim 3$  lunghezze di radiazione di LiH e opportunamente collimato. L'altezza del fascio rispetto al fondo della camera era di 28 mm. Sono stati ripresi 110.000 fotogrammi su due viste, mantenendo invariate le condizioni sperimentali ed effettuando un controllo periodico sia delle condizioni di funzionamento della camera che della qualità del film.

Alcuni fotogrammi tra i più significativi sono presentati in Fig. 6.

### D) Analisi del film.

Il film è stato analizzato su tavoli di proiezione convenzionali dotati di apparecchi di misura del tipo "Mangiaspago".

L'analisi del film è stata molto laboriosa a causa delle particolari caratteristiche di leggibilità del film prodotto in camera a diffusione, in particolare in ordine ai seguenti problemi:

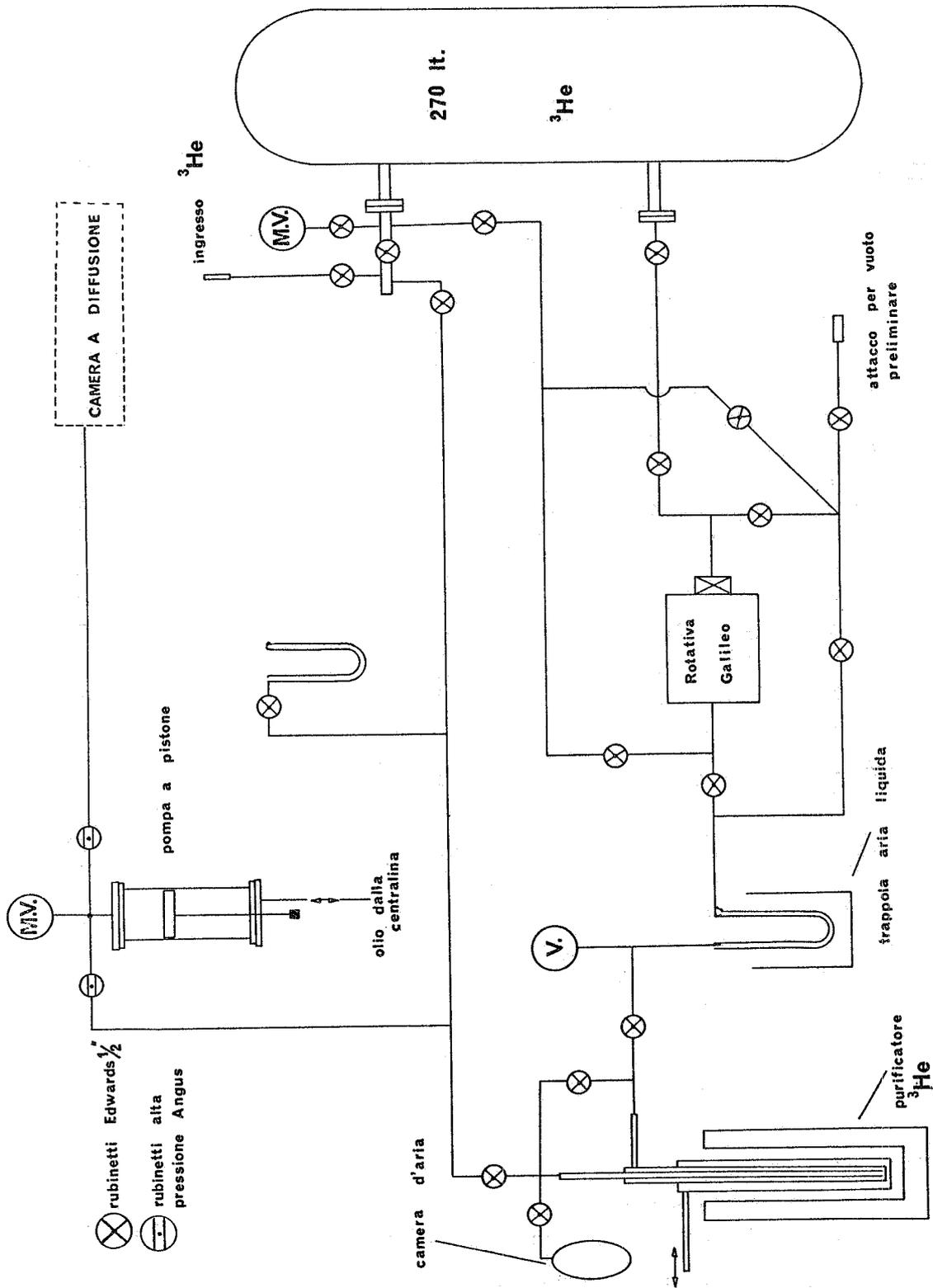
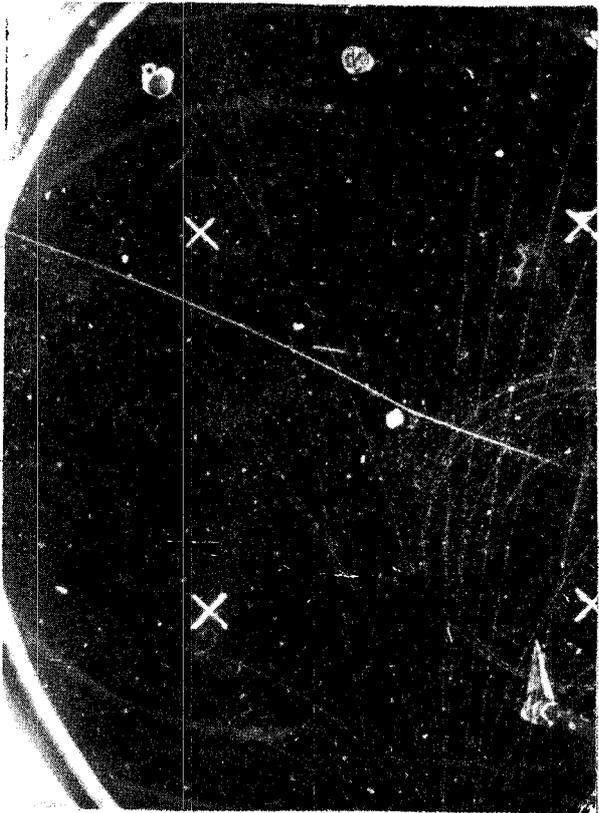
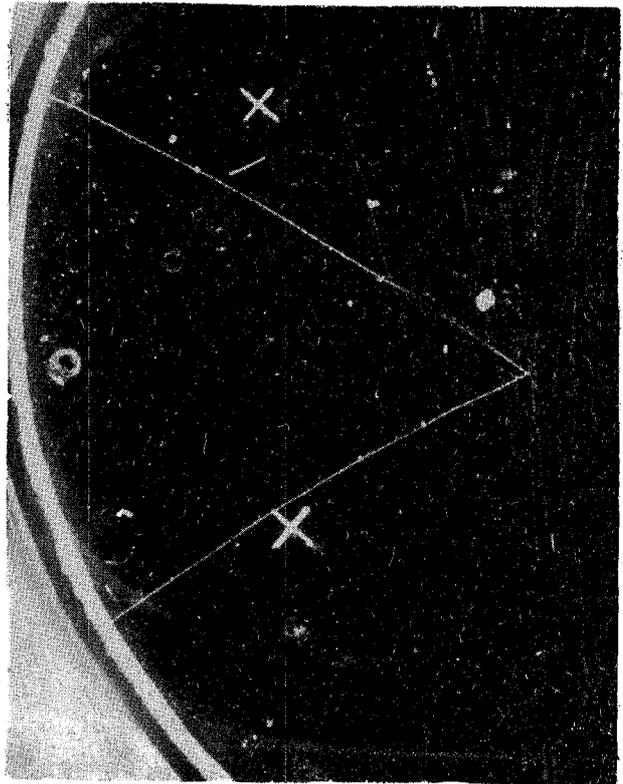


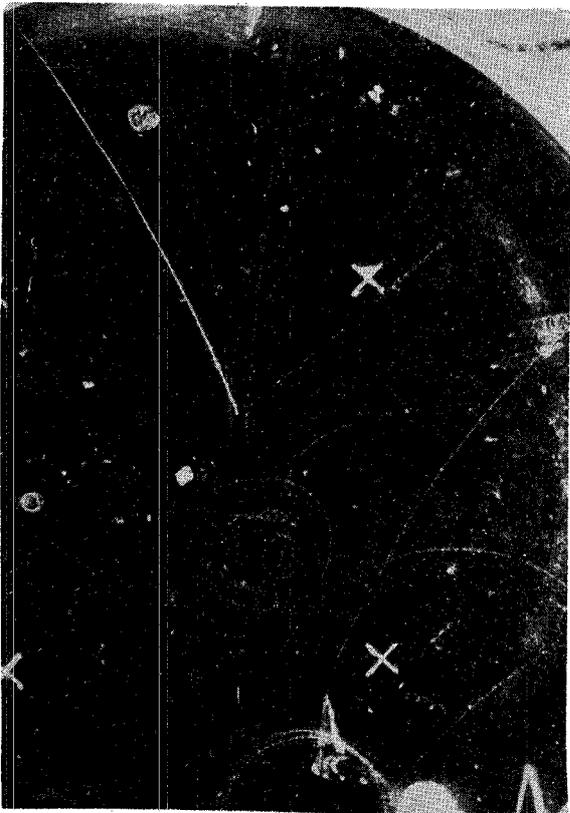
FIG. 5 - Schema del sistema di purificazione dell' $^3\text{He}$  e di riempimento della camera a diffusione.



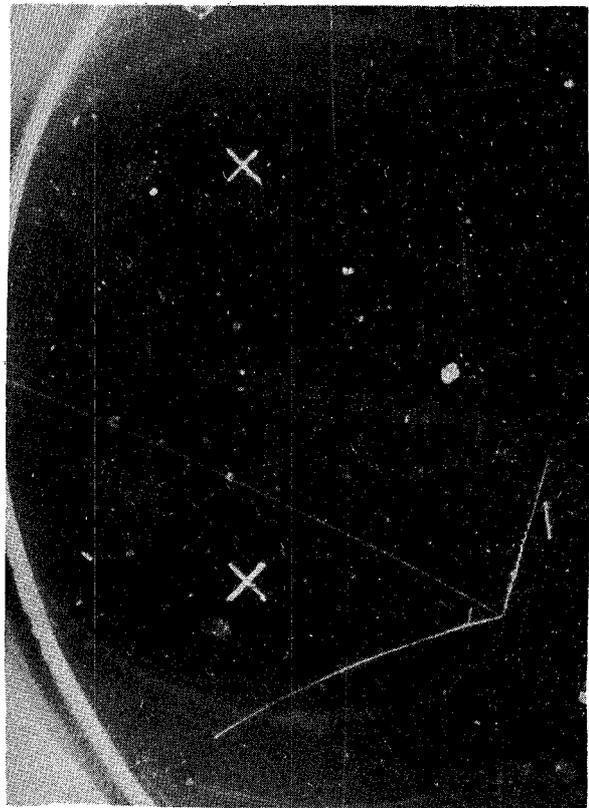
(a)



(b)



(c)



(d)

**Fig.6**

- 1) gli eventi a due rami collineari, specialmente se uno dei rami è molto corto, (fotodisintegrazioni a bassissima energia) sono difficilmente distinguibili da eventi a 1 ramo;
- 2) l'altezza variabile dello strato sensibile sia con il tempo che da punto a punto della camera e la presenza saltuaria di zone di insensibilità;
- 3) l'indistinguibilità delle particelle pesanti (p-d -  $^3\text{He}$ -T) sulla base della sola ionizzazione.

Dei 110.000 fotogrammi ripresi 104.800 sono risultati leggibili sulle due viste. Essi sono stati esplorati completamente due volte da operatori diversi, ottenendo in tal modo una efficienza di scanning superiore al 98%. Nella zona di fiducia, (dimensioni 7 cm x 1,5 cm x .8 cm) definita dalle marche di fiducia nella direzione del fascio  $\gamma$  e nelle altre due direzioni mediante una rivelazione con statistica elevata delle posizioni dei vertici delle coppie elettromagnetica, sono stati riconosciuti 4197 eventi.

Tutti gli eventi sono stati assegnati ad una reazione o gruppo di reazioni sulla base della ionizzazione delle tracce, delle distribuzioni angolari e dei limiti cinematici. In generale nessuna ambiguità era possibile fra eventi su idrogeno (numero dispari di tracce) ed eventi su  $^3\text{He}$  (numero pari di tracce).

Il numero di eventi per le varie categorie è mostrato in Tabella 1.

#### E) Spettro dei $\gamma$ e Quantametria.

Lo spettro di bremsstrahlung, indurito con  $\sim 3$  lunghezze di radiazione di LiH, è stato calcolato e verificato sperimentalmente da Hart e White<sup>(18)</sup> che hanno ottenuto un buon accordo tra teoria e dati sperimentali. Tale accordo era stato confermato anche in un nostro precedente esperimento eseguito pure sul fascio indurito dell'elettrosincrotrone<sup>(19)</sup>.

Anche per il presente esperimento abbiamo eseguito un controllo dello spettro, con statistica non elevata ( $\sim 1400$  coppie). L'accordo di cui sopra è riconfermato per  $E_\gamma > 100$  MeV. Per energie inferiori, l'accordo non è più soddisfacente, ma siamo stati indotti a non sopravvalutare queste inconsistenze a causa dell'elevato errore nella determinazione di  $E_\gamma$ , specialmente per coppie di bassa energia (piccoli raggi di curvatura), dovuto al metodo di misura e di ricostruzione adottato in questo esperimento (vedi § F). Abbiamo quindi assunto lo spettro calcolato e determinato sperimentalmente da Hart e White. Esso è riportato in Fig. 7.

Per la determinazione del flusso totale dei fotoni abbiamo adottato il metodo LIN<sup>(20)</sup>, che consiste nel contare le coppie e i tri-

TAB. 1 - Suddivisione degli eventi in categorie. I numeri segnati con asterisco sono considerati incerti.

Rami	Categoria	Numero
1	$p(\gamma, \pi^+)p$	65*
1-2	Monorami pesanti	441
	---	221
2	Fotodisintegrazioni	2575
2	$(\pi^+ [T])$	340
2	$(\pi^+ [T])?$	91
2	$2 \pi^+$	51*
2-3	---	19
3	$\pi^+ \pi^- p$ o $\pi^+ \pi^- {}^3\text{He}$	111
3	3 Rami al minimo (Fotoproduzioni triple su H)	12
3	3 Rami pesanti (Fo disintegrazioni del C)	31
4	$\pi^- 3p$	42
4	$\pi^+ \pi^- [{}^3\text{He}]$	110
4	$\pi^- 3p$ o $\pi^+ \pi^- [{}^3\text{He}]$	27
4	$2 \pi^+, \pi^- [T]$	15
$\geq 5$	---	26
Totale		4197

TAB. 2 - Numero totale dei quanti gamma nei vari intervalli di energia.

E (MeV)	N (x 10 <sup>6</sup> )
5-10	16.3
10-20	167.
20-40	384.
40-60	288.
60-80	196.
80-100	156.
100-150	299.
150-200	207.
200-250	134.
250-300	95.
300-350	76.
350-400	63.
400-450	54.5
450-500	47.5
500-600	75.
600-700	57.2
700-800	44.7

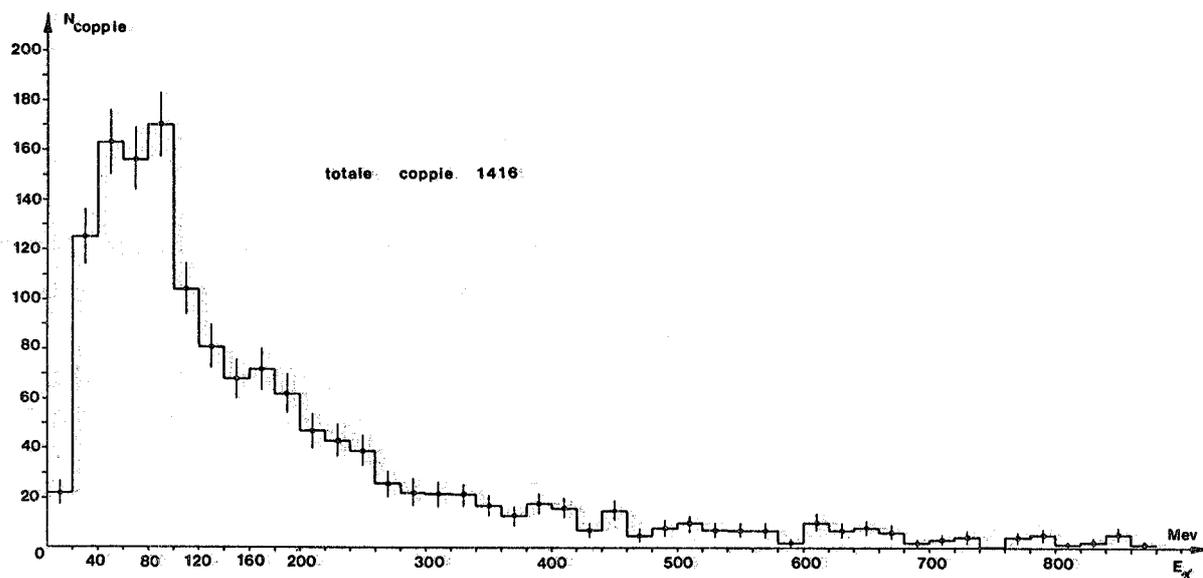


FIG. 7a) - Distribuzione sperimentale delle coppie misurate nella zona di fiducia.

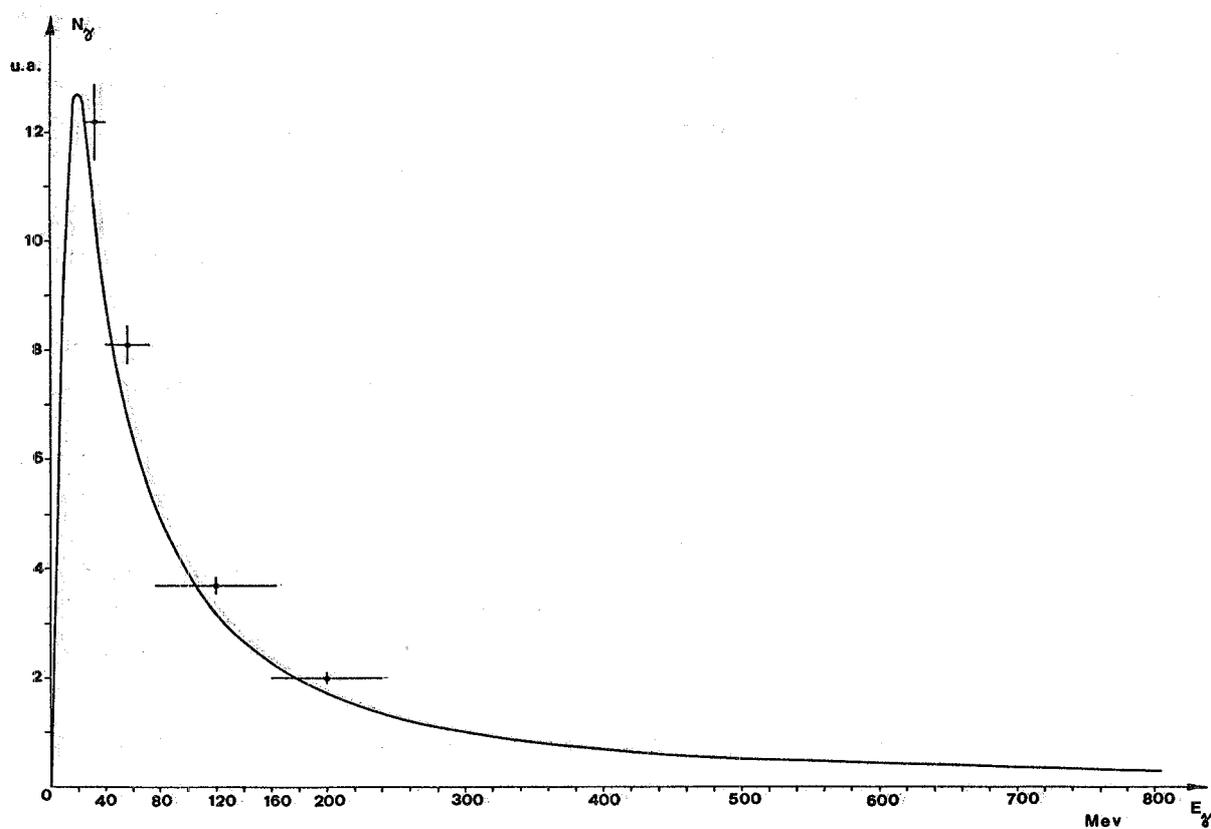


FIG. 7b) - Spettro dei fotoni in unità arbitrarie ricavato da ref. 18 con tre lunghezze di radiazione ed  $E_{\gamma\text{max}} = 800$  MeV.

pletti solo in quei fotogrammi che contengono almeno un evento interessante, e nell'assumere che

$$n_{\text{medio}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{n_i}\right)}$$

dove  $N$  è il numero totale di fotogrammi osservati e  $n_i$  è il numero di coppie o di triplette nel fotogrammi  $i$ -esimo. Abbiamo così trovato  $n_{\text{medio}} = 3,57$  eventi elettromagnetici per fotogramma.

Per la determinazione del flusso di fotoni abbiamo utilizzato le sezioni d'urto di ref. 21. Per la produzione di coppie in  ${}^3\text{He}$  abbiamo assunto la stessa sezione d'urto che per  ${}^1\text{H}$ , e infine abbiamo supposto che, prescindendo dalla dipendenza da  $Z$ , il rapporto tra triplette e coppie in  ${}^3\text{He}$  sia lo stesso che per  ${}^1\text{H}$ .

In Tab. 2 è riportato il numero totale dei fotoni nei vari intervalli di energia.

#### F) Misura ed elaborazione dei dati.

In seguito alla compilazione presso l'Istituto Superiore di Sanità di un programma di ricostruzione spaziale per eventi in CD(22) che utilizza misure effettuate con apparecchi di tipo "mangiaspago" e dotato di caratteristiche abbastanza soddisfacenti, abbiamo adottato questo metodo di misura abbastanza veloce anziché quello, usato in passato, dei "templates" che era molto più lento, anche se forse più preciso.

Il programma ricostruisce nello spazio ciascuna traccia partendo dalla misura di 3 punti (2 se la traccia è corta) su ciascuna delle due viste.

La mancanza di un "fit" nella ricostruzione della traccia, che controlli la consistenza delle misure dei singoli punti, è un aspetto negativo del programma adottato. D'altra parte, le caratteristiche del nostro strumento, la generale brevità delle tracce, il loro spessore, il fatto di disporre di sole due viste non consentivano l'uso di programmi più complessi dotati di severi tests di controllo e di autoconsistenza, come quelli usati per le camere a bolle (es. THRESH). Naturalmente gli errori nelle quantità ricostruite sono risultati corrispondentemente maggiori ma del resto inevitabili. In particolare, l'errore standard nella determinazione degli angoli  $\theta$  e  $\psi$  sono risultati rispettivamente uguali a  $2,5^\circ$  e  $3^\circ$ .

Tutti gli eventi trovati nella zona di fiducia sono stati misurati e ricostruiti spazialmente.

Una parte di essi ( $\sim 8\%$ ) è stata rigettata dal programma per varie cause.

Per tutte le varie categorie di eventi di cui alla Tab. 2 sono stati ricavati, mediante programmi appositamente compilati, vari plots delle grandezze geometriche più interessanti, che verranno presentati nella parte 2.

La elaborazione cinematica è stata tentata solo per le categorie di eventi a 2 rami con cinematica sovradeterminata. Per tale elaborazione si è usata una versione ridotta di GRIND per IBM 7040 compilata presso l'Istituto di Fisica della Università di Roma, la quale, pur non presentando tutte le risorse di quel programma cinematico, è risultata sufficiente per i nostri scopi; in particolare per discriminare le reazioni con due corpi nello stato finale, da quelle con 3 corpi. Vari altri programmi di collegamento sono stati appositamente elaborati.

## 2 - RISULTATI -

Come è mostrato nella Tab. 2, per un certo numero di eventi non è stato possibile stabilire il numero di rami (1 o 2 rami, 2 o 3 rami), per altri ( $(\pi^+[T])?$ ,  $\pi^+\pi^- [{}^3\text{He}]$  o  $\pi^- 3p$ ) l'attribuzione sicura a una data reazione non è stata possibile. Salvo che per gli eventi della categoria  $(\pi^+[T])?$ , non si può in alcun modo rimuovere queste incertezze e si è dovuto pertanto assegnare il 50% degli eventi ad ognuna delle due possibili reazioni attribuendo altresì al numero totale degli eventi di ciascuna delle due reazioni l'incertezza che ne deriva.

Per gli eventi  $(\pi^+[T])?$  invece, la suddivisione al 50% tra la categoria  $(\pi^+[T])$  e la categoria "fotodisintegrazioni" è risultata sicura entro  $\pm 10\%$ . In effetti la distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  della categoria  $(\pi^+[T])?$  (fig. 20) è approssimata bene da una sovrapposizione al  $50 \pm 10\%$  delle distribuzioni di  $\theta_1 + \theta_2$  per le due categorie suddette (fig. 15 e 9). Negli eventi "1 o 2 rami", il ramo di cui è dubbia l'esistenza è in genere cortissimo e non collineare col ramo lungo. Quindi, se il ramo esiste, l'evento non può essere dovuto alla fotodisintegrazione in due corpi. Di questo fatto si è tenuto conto nella determinazione del numero totale di fotodisintegrazioni in due e in tre corpi.

Dopo le ripartizioni delle categorie incerte secondo i criteri esposti, si è ottenuto il numero definitivo degli eventi delle varie categorie, come riportato in Tab. 3.

Esaminiamo ora singolarmente le varie categorie di eventi.

### A) Fotodisintegrazione in due corpi $\gamma ({}^3\text{He}, d)p$ .

La categoria "2 rami" contiene eventi di fotodisintegrazione dell' ${}^3\text{He}$  in 2 corpi e in 3 corpi ed eventi di fotoproduzione anelastica di uno o due  $\pi^0$ .

Gli eventi di fotodisintegrazione in 2 corpi presentano le seguenti particolarità geometriche che li distinguono dalle altre reazioni della stessa ca

tegoria:

- i) i due rami sono coplanari con il fotone incidente ( $\Delta\psi \simeq 180^\circ$ )
- ii) la distribuzione della somma degli angoli  $\theta_1$  e  $\theta_2$  deve essere fortemente piccata verso  $180^\circ$ .

TAB. 3 - Suddivisione definitiva degli eventi per reazione e relativa sezione d'urto/quanto equivalente.

Reazioni	Numero di eventi	$\sigma_{QE}(mb)$	Incertezza
$\gamma(^3He, d)p$	911	$957_{+53}$	--
$\gamma(^3He, T)\pi^+, (\pi^0)+$ $\gamma(^3He, [T])\pi^+, (\pi^0)$	386	$512_{+29}$	--
$\gamma(^3He, p)pn(\pi^0) +$ $\gamma(^3He, d)p\pi^0$	1830	--	--
$\gamma(^3He, 3p)\pi^-(\pi^0)$	55	$74_{+11}$	30%
$\gamma(^3He, [^3He])\pi^+\pi^-$	123	$236_{+21}$	11%
$\gamma(p, p)\pi^+\pi^- +$ $\gamma(^3He, ^3He)\pi^+\pi^-$	111	--	11%

In fig. 8 è mostrata la distribuzione di  $\Delta\psi$  per tutti gli eventi a 2 rami, in cui è ben visibile il picco per  $\Delta\psi = 180^\circ$ ; nella stessa figura è mostrata anche la distribuzione di  $\Delta\psi$  per tutti gli eventi che possono essere coplanari entro gli errori di misura (linea tratteggiata).

Per ottenere il numero di 2 corpi è necessario conoscere la distribuzione di  $\Delta\psi$  per le reazioni a molti corpi (2 rami + neutri). Tale distribuzione però non è nota a priori e nel nostro caso è data con sicurezza solo nell'intervallo  $0^\circ - 120^\circ$  in cui la contaminazione di reazioni a 2 corpi è sicuramente nulla. Osservando che la distribuzione è uniforme in tale intervallo si potrebbe pensare di estrapolare uniformemente fino a  $180^\circ$ .

In realtà, secondo alcune considerazioni di Lohrmann et al. (23), basate su un modello puramente statistico, potrebbe esistere una tendenza alla coplanarità anche fra due particelle qualsiasi di una reazione a molti corpi e questo fatto rende inapplicabile il procedimento di sottrazione nel caso in esame.

Considerazioni analoghe non consentono di sfruttare neppure la curva di distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  (fig. 9-10). Per la determinazione esatta del numero di eventi (p, d) resta dunque a disposizione solo il "fit" cinematico degli eventi a due rami, di cui è misurato almeno un impulso oltre agli angoli.

L'analisi degli eventi a 2 rami nei quali nessun impulso era determinato, ha mostrato che questo tipo di eventi era generalmente associato

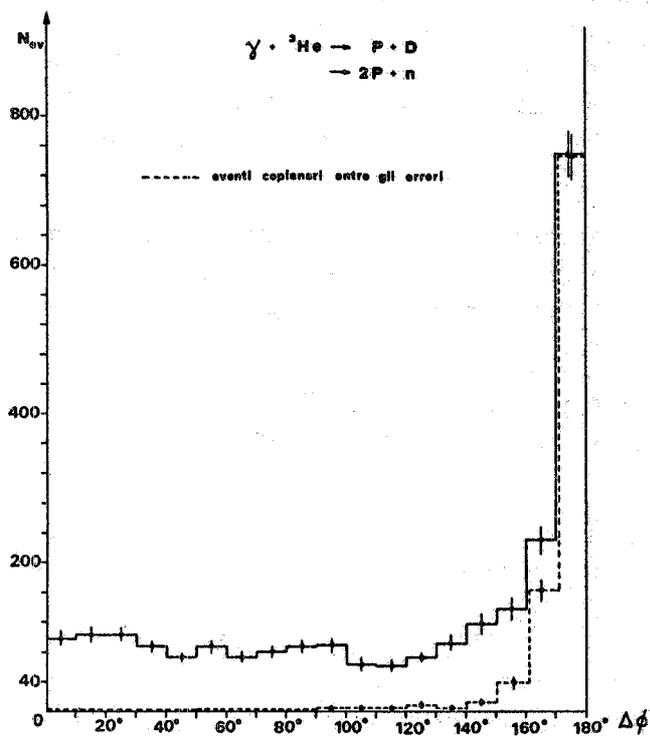
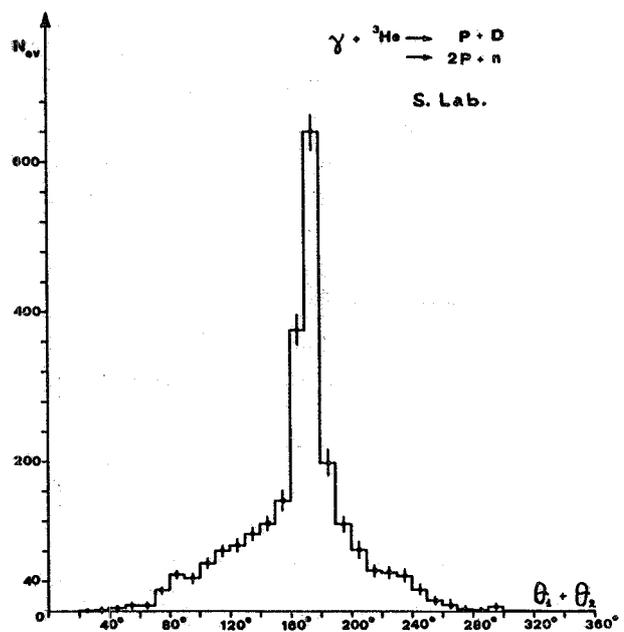


FIG. 8 - Distribuzione di  $\Delta\psi = \varphi_1 - \varphi_2$  di tutti gli eventi a 2 rami attribuiti alle reazioni  ${}^3\text{He}(\gamma, p)d$  e  ${}^3\text{He}(\gamma, n)2p$ .

FIG. 9 - Distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  (S. Lab.) di tutti gli eventi a due rami attribuiti alle reazioni  ${}^3\text{He}(\gamma p)d$  e  ${}^3\text{He}(\gamma, n) 2p$ .



a tracce quasi verticali dirette verso l'alto e verso il basso (in generale rami la cui lunghezza era limitata dallo spessore verticale dello strato sensibile). La esistenza di un "bias" per certe zone dell'angolo solido è confermata dalla distribuzione complessiva di  $\psi_1$  e  $\psi_2$  per tutti gli eventi coplanari entro gli errori e con cinematica sovradeterminata (fig. 11), in cui si vede che le zone  $40^\circ - 140^\circ$  e  $220^\circ - 320^\circ$  sono particolarmente povere di eventi.

Si è pertanto convenuto di considerare il "fit" cinematico dei soli eventi a 2 rami, in cui entrambe le tracce hanno l'angolo  $\psi$  al di fuori degli intervalli suddetti. Ciò ci assicura che praticamente tutti gli eventi a 2 corpi contenuti in quell'angolo solido vengono esclusi.

In fig. 12 è mostrata la distribuzione del  $\chi^2$  degli eventi ricostruiti. In base a questa distribuzione si è convenuto di fissare il taglio di selezione dei 2 corpi a  $\chi^2 = 6$ .

Il numero di eventi selezionati nella zona consentita è 369. Tenendo conto degli eventi con cinematica non sovradeterminata nella zona consentita e assumendo per essi lo stesso rapporto eventi ricostruiti/eventi non ricostruiti e tenendo altresì conto del fattore di angolo solido (2, 2) e dei contributi provenienti da categorie incerte si perviene a  $911 \pm 51$  come numero complessivo di eventi dovuti alla reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, d)p$ . Tale numero è in buon accordo con le previsioni basate su misure precedenti<sup>(15)</sup> (880 eventi).

Si constata che un evento ricostruito bene come  $p, d$  è sempre ricostruito anche con lo scambio delle due masse con una energia del fotone praticamente identica nei due casi. Tale indistinguibilità rende impossibile ottenere la distribuzione del  $\tilde{\theta}$  (C. M.).

In fig. 13 è riportata la sezione d'urto in funzione di  $E_\gamma$  insieme ad alcuni punti sperimentali di ref. 15. Come si vede, le due distribuzioni sono in sostanziale accordo. Le fotodisintegrazioni in tre corpi  $\gamma({}^3\text{He}, p), pn$  sono contenute nel restante numero di eventi a due rami, comprendente anche gli eventi di fotoproduzione anelastica di  $\pi^0$ .

### B) Fotoproduzione<sup>(\*)</sup>.

Per processi di fotoproduzione singola e doppia assumiamo, sulla base del modello di approssimazione d'impulso

$$\frac{\sigma_{QE}^{\text{He}}}{n} = \eta \sigma_{QE}^{\text{n.l.}}$$

(\*) - Nella reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, [T]) \pi^+, (\pi^0), [T]$  sta ad indicare il tritio disintegrato in un qualsiasi modo;  $(\pi^0)$  indica la presenza "eventuale" di uno o più  $\pi^0$ .

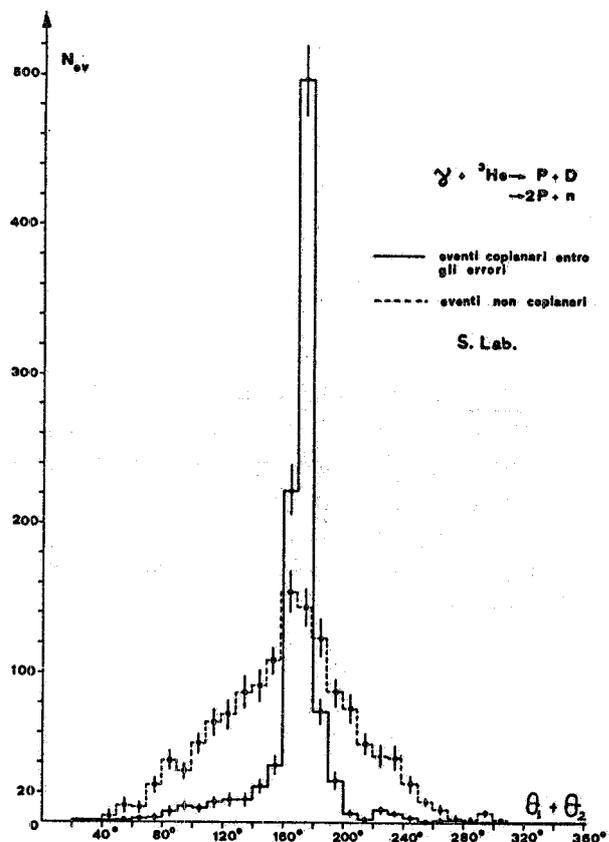
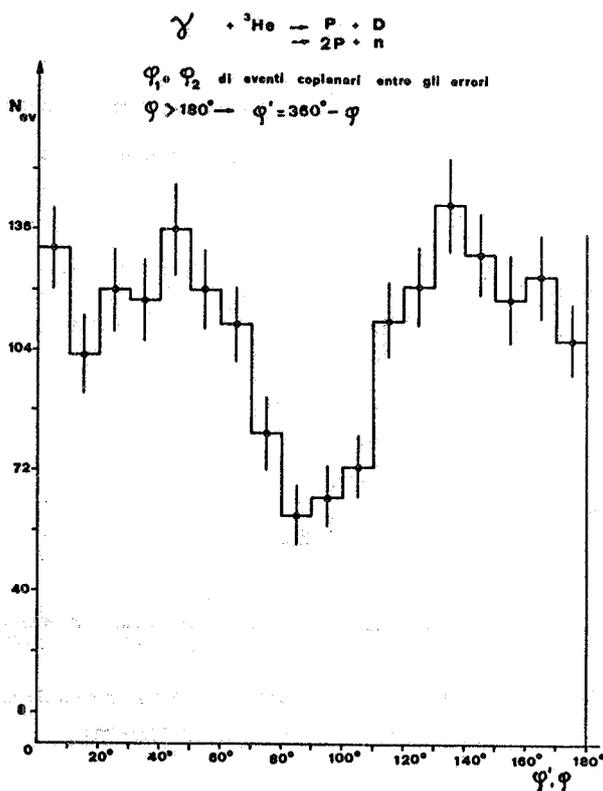


FIG. 10 - Distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  (S. Lab.) degli eventi a due rami di cui in fig. 9 coplanari entro gli errori (tratto pieno) e non coplanari (linea tratteggiata).

FIG. 11 - Distribuzione dell'angolo  $\varphi$  delle tracce degli eventi a due rami attribuiti alle reazioni  ${}^3\text{He}(\gamma, \text{p})\text{d}$  e  ${}^3\text{He}(\gamma, \text{n})2\text{p}$ .



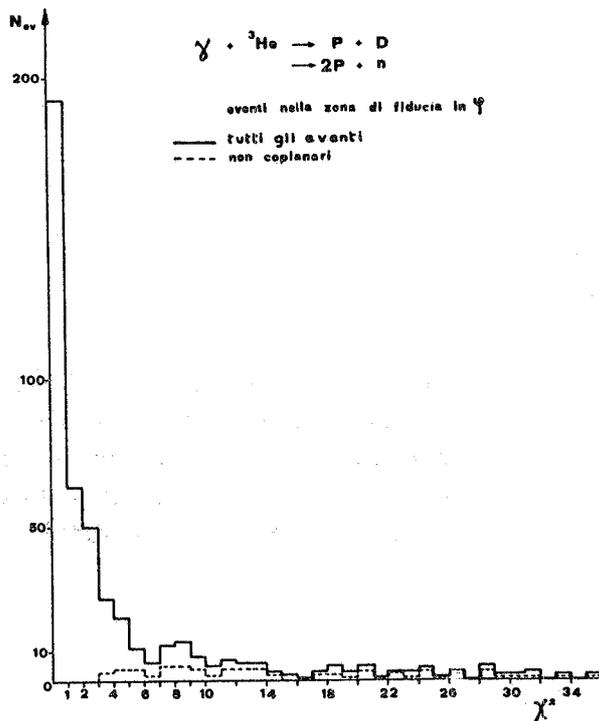


FIG. 12 - Distribuzione del <sup>2</sup> degli eventi fittati per la reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, p)d$  appartenenti alla zona di fiducia in  $\psi$ . La linea tratteggiata si riferisce agli eventi non coplanari entro gli errori.

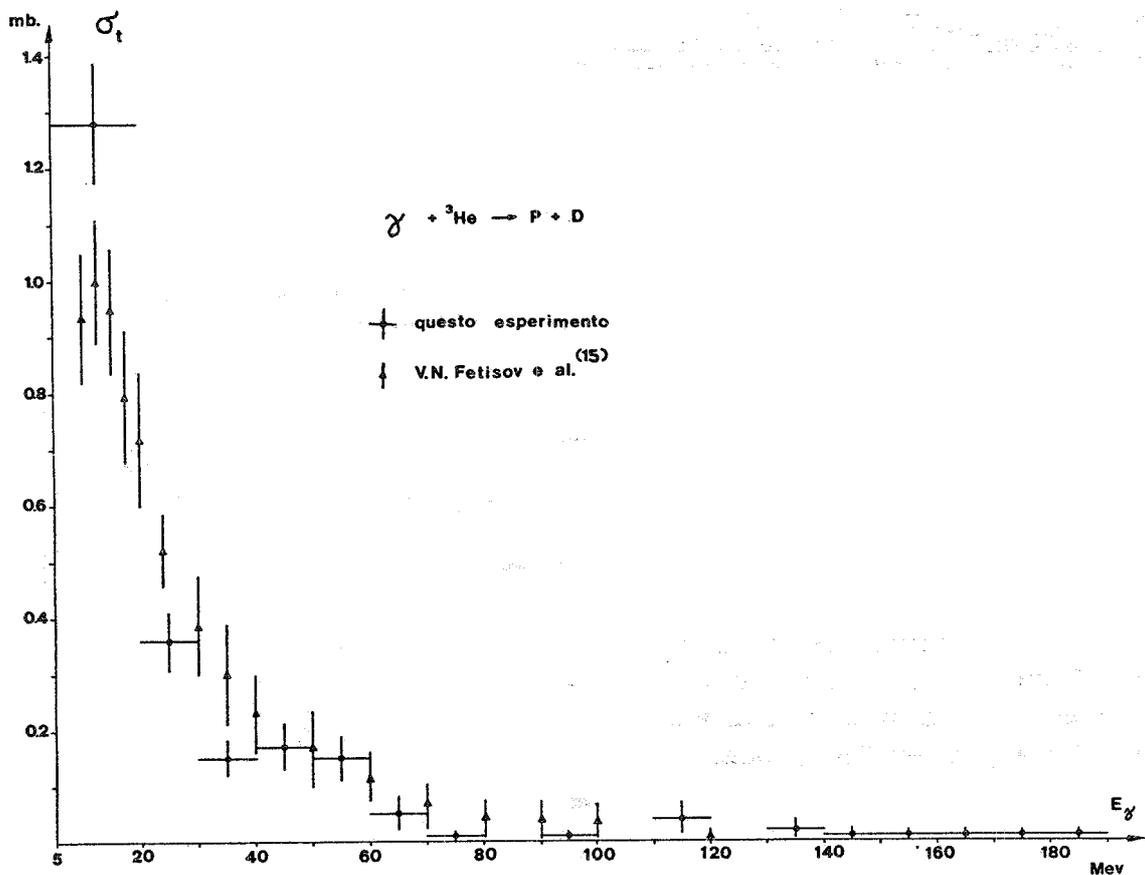


FIG. 13 - Sezione d'urto della reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, p)d$  del presente e di un precedente esperimento.

dove  $n$  è il numero di nucleoni dell' ${}^3\text{He}$  efficaci per la reazione considerata,  $\eta$  contiene un fattore di efficienza dovuto al principio di esclusione di Pauli ed un fattore che dipende dalle proprietà dell'interazione.  $\sigma_{QE}^{n.l.}$  è la sezione d'urto per quanto equivalente su nucleone libero.

Sia per il processo di fotoproduzione singola che per quello di fotoproduzione doppia abbiamo determinato il fattore di efficienza di Pauli mediante un calcolo di tipo Montecarlo, allo scopo di determinare la percentuale di onda S e di onda P nello stato finale delle due reazioni sulla base delle ben note distribuzioni di carica nell' ${}^3\text{He}$ (25) e delle distribuzioni sperimentali del momento dei nucleoni di rinculo(21, 24).

### B.1. - Fotoproduzione di $\pi^+$ .

Gli eventi elastici e anelastici dovuti a questa reazione si ottengono sottraendo dai 386 eventi indicati in Tab. 1 il contributo della fotoproduzione doppia  $\pi^+\pi^0$ . Gli eventi di fotoproduzione elastica di  $\pi^+$  sono stati selezionati con la stessa procedura descritta per la fotodisintegrazione in due corpi. Il numero di eventi elastici ricostruiti come tali è 53. La corrispondente sezione d'urto per quanto equivalente risulta:

$$\sigma_{QE} = \frac{N_{ev} \times 800}{\int_{s\text{ oglia}}^{800\text{ MeV}} N_{\gamma}(E_{\gamma}) dE_{\gamma}} = 70 \pm 10 \mu\text{b}$$

Tale valore è in buon accordo con le previsioni teoriche di ref. 26 basate sull'approssimazione d'impulso.

Per determinare la sezioni d'urto/Q. E. totale (elastica e anelastica) per la fotoproduzione di  $\pi^+$  è necessario valutare il contributo delle doppie ( $\pi^+\pi^0$ ).

Assumendo  $\sigma_{\pi^+\pi^0}^{n.l.} = \sigma_{\pi^+\pi^-}^{n.l.}$ , sulla base di alcuni dati sperimentali(27) e tenendo conto di un fattore di riduzione di Pauli di .7, calcolato con il metodo Montecarlo e dovuto alla parziale soppressione dell'onda S nello stato finale, si perviene al seguente risultato

$$\sigma_{QE} = 465 \pm 29 \mu\text{b}$$

$$\eta_{\pi^+} = \frac{\sigma_{QE}^{\text{He}}}{2\sigma_{QE}^{\text{fn}}} = .92 \pm .96$$

Quest'ultimo valore è superiore a .7, valore previsto considerando solo il principio di Pauli.

Il rapporto di elasticità risulta

$$\xi_{\pi^+} = \frac{\sigma(\pi^+T)}{\sigma(\pi^+[T])} = .13 \pm .01$$

In figg. 14+21 sono mostrate le distribuzioni delle più rilevanti grandezze geometriche per questa reazione.

### B.2. - Fotoproduzione di $\pi^0$ .

Se dagli eventi a 2 rami si sottraggono le fotodisintegrazioni in 2 e 3 corpi, sia sulla base dei nostri risultati che di quelli di ref. 15, si può pervenire a una stima della sezione d'urto/Q. E. per i  $\pi^0$  e di  $\eta_{\pi^0}$ .

Si trova il valore

$$\eta_{\pi^0} = 1.4 \pm .36$$

con una incertezza del 26%, dove si è tenuto conto anche di un contributo di fotoproduzioni elastiche di  $\pi^0$  che si presentano come eventi a un ramo. La determinazione di  $\eta_{\pi^0}$  è evidentemente troppo grossolana per essere tenuta in qualche considerazione.

### B.3. - Fotoproduzione di $\pi^-$ .

La fotoproduzione di  $\pi^-$  su  ${}^3\text{He}$  è caratterizzata dalla totale (spin-flip e non-spin-flip) soppressione dell'onda S nello stato finale. Il valore di  $\eta_{\pi^-}$  previsto dal calcolo Montecarlo, considerando solo l'effetto del principio di Pauli è .27.

Il numero di eventi a 4 rami appartenenti a questa reazione è 55, da cui si ottiene, dopo sottrazione di un piccolo contributo dovuto alle fotoproduzioni doppie ( $\pi^-\pi^0$ ):

$$\sigma_{\text{Q. E.}} = 64 \pm 11 \mu\text{b}$$

e

$$\eta_{\pi^-} = .25 \pm .04$$

in ottimo accordo con le previsioni del calcolo Montecarlo.

In fig. 22 sono mostrate le distribuzioni delle grandezze geometriche più significative. Gli errori di misura non hanno consentito l'esecuzione del "fit" cinematico per un numero significativo di eventi a 4 rami.

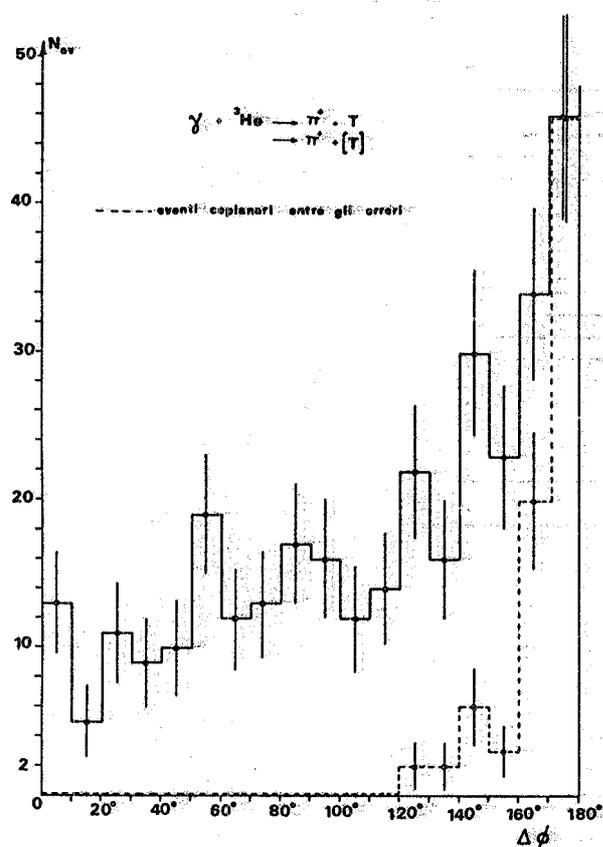


FIG. 14 - Distribuzione di  $\Delta\psi = \psi_1 - \psi_2$  di tutti gli eventi attribuiti a reazioni di fotoproduzione singola di  $\pi^+$ .

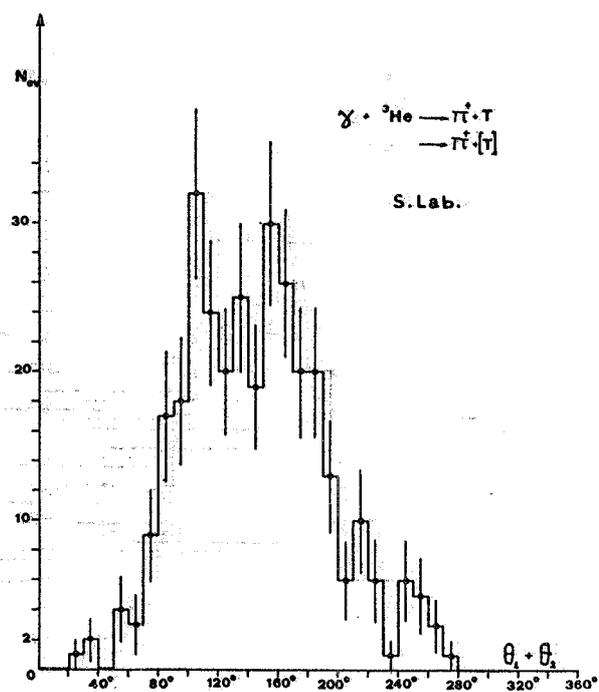


FIG. 15 - Distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  (S. Lab) di tutti gli eventi di fotoproduzione singola di  $\pi^+$ .

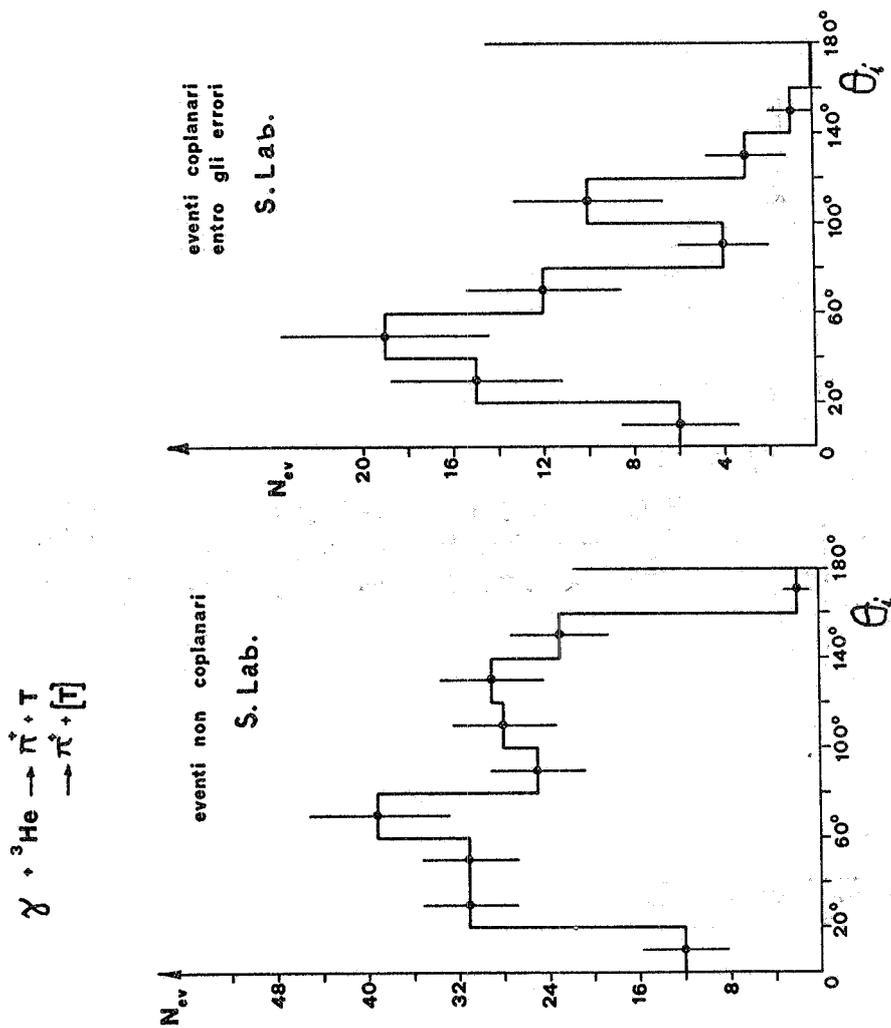


FIG. 17 - Distribuzione in  $\theta$  del ramo più ionizzante degli eventi a due rami attribuiti alle reazioni di fotoproduzione sin-gola di  $\pi^+$ . La diminuzione intorno a  $\theta_i = 90^\circ$  è dovuta al fatto che il Tritio nella fotoproduzione di  $\pi^+$  elastica presenta un angolo limite intorno a  $90^\circ$ .

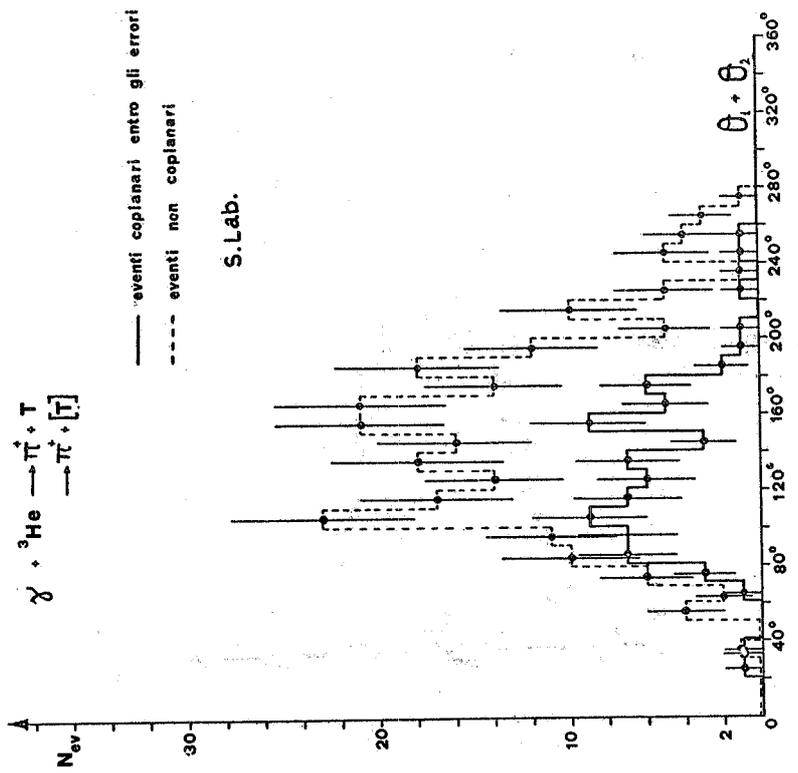


FIG. 16 - Distribuzione di  $\theta_1 + \theta_2$  (S. Lab.) degli eventi di cui a fig. 15 coplanari (tratto pieno) e non coplanari (linea tratteggiata).

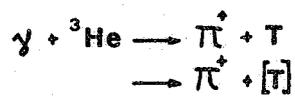
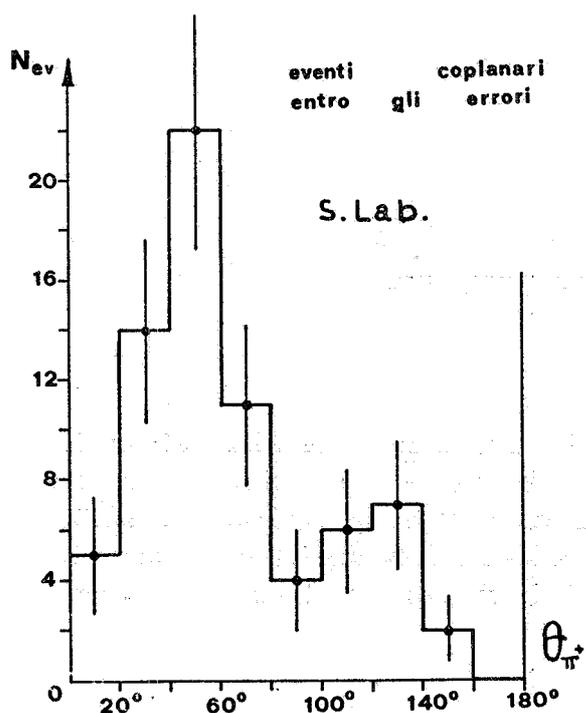
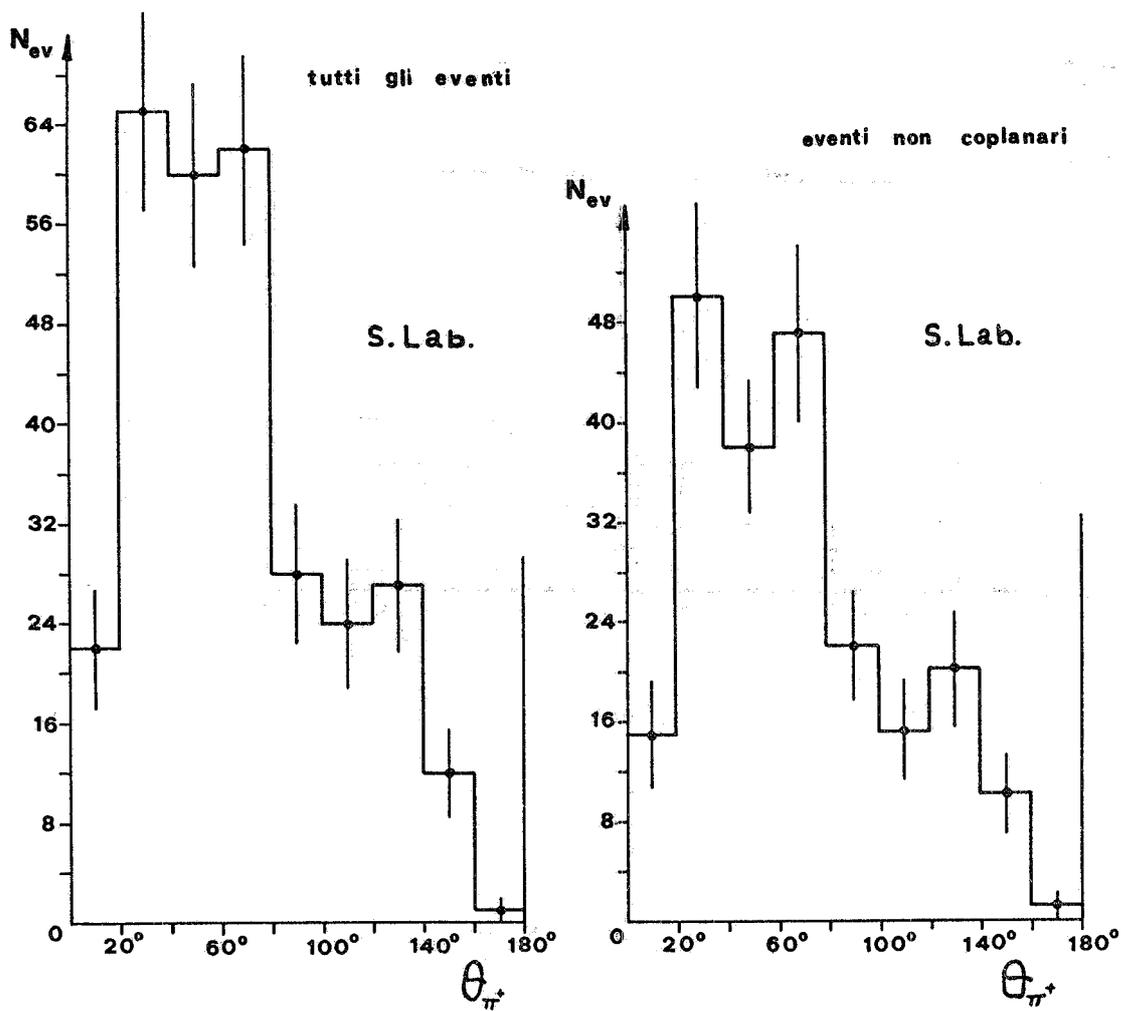


FIG. 18 - Distribuzioni di  $\theta_{\pi^+}$  per varie categorie di eventi attribuiti a reazioni di fotoproduzione singola di  $\pi^+$ .

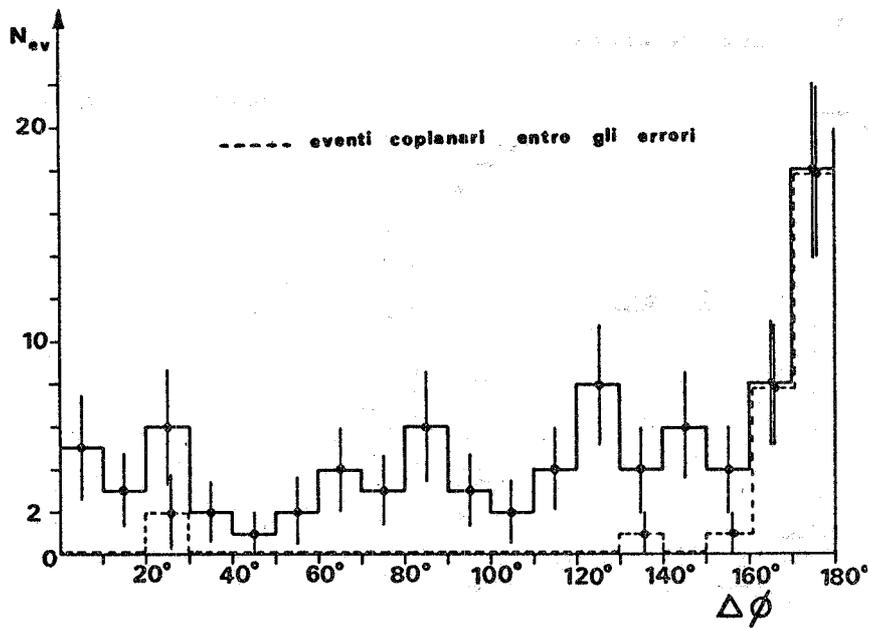


FIG. 19

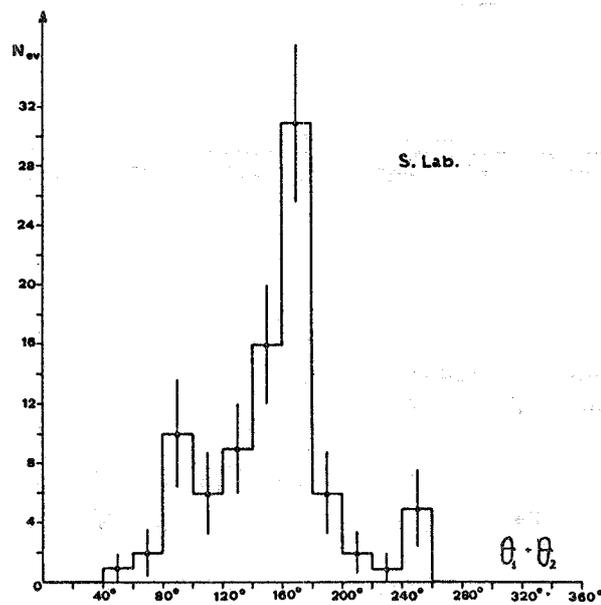


FIG. 20

FIG. 19-20-21 - Queste distribuzioni, analoghe a quelle mostrate in figg. 8-9-10 e in figg. 15-15-16 si riferiscono a eventi a due rami la cui attribuzione alle reazioni di fotodisintegrazione o di fotoproduzione singola di  $\pi^+$  era incerta ( $(\pi^+[T])?$ ). In base a queste distribuzioni è stato possibile ottenere la percentuale di eventi incerti da attribuire all'una e all'altra reazione.

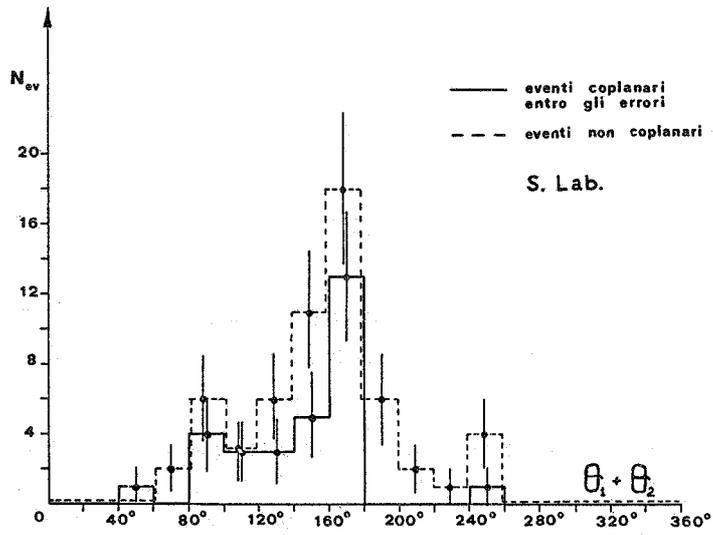
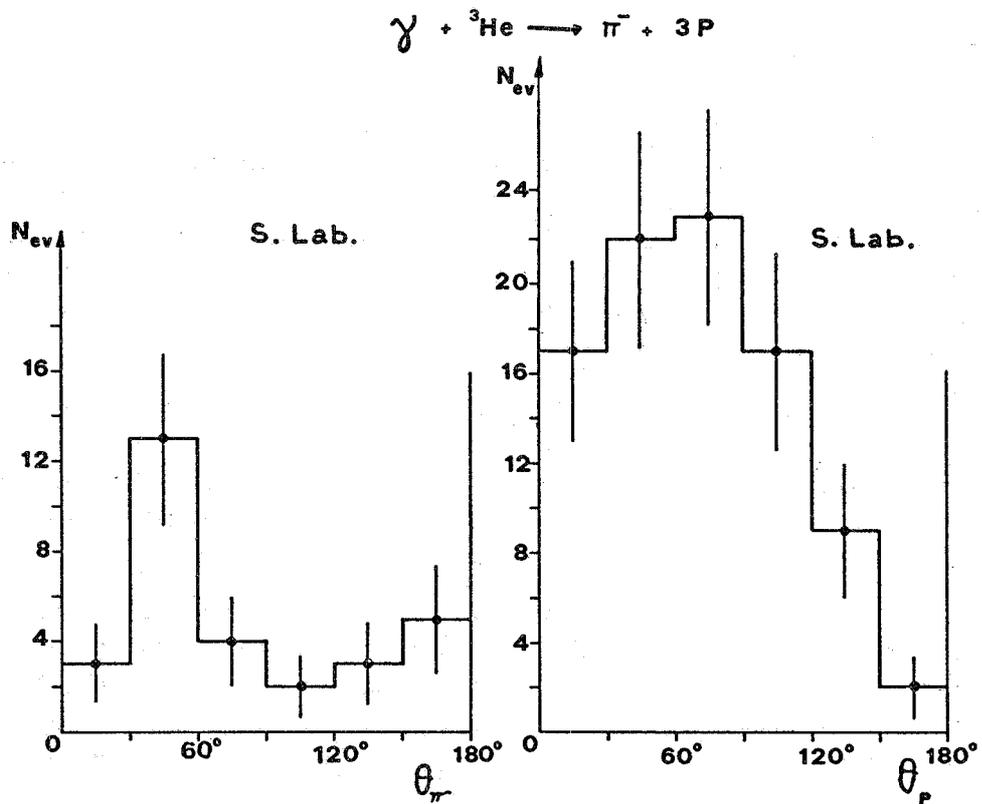


FIG. 21 - (vedi did. a pag. 22)

FIG. 22 - Distribuzione di  $\theta$  (S. Lab.) del  $\pi^-$  e di tutti i protoni nella reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, \pi^-)3\text{p}$ .

B. 4. - Fotoproduzione doppia  $\pi^+\pi^-$ .

Per la fotoproduzione doppia carica, tenendo conto anche di un piccolo contributo di fotoproduzione elastica contenuto negli eventi a 3 rami, si ottiene

$$\sigma_{QE} = 249 \pm 31 \mu\text{b}$$

con una efficienza  $\eta_{\pi^+\pi^-} = 1.57 \pm .2$  e una incertezza sperimentale dell'11%.

In fig. 23 sono riportate le distribuzioni delle più rilevanti grandezze geometriche. Da notare fra l'altro la diversa distribuzione angolare dei  $\pi^+$  e dei  $\pi^-$ .

E' allo studio la possibilità di analizzare ulteriormente, con nuovi metodi di misura, tutti gli eventi a 4 rami, sia allo scopo di meglio discriminare le reazioni 2.3) e 2.4), sia per determinare alcune interessanti quantità cinematiche, quali la massa efficace del sistema ( $\pi^+\pi^-$ ), che potrebbero essere utili anche per spiegare il valore sorprendentemente elevato di  $\eta_{\pi^+\pi^-}$ .

## 3 - CONCLUSIONE -

I nostri risultati mostrano un sostanziale accordo con quelli di altri autori per tutto quel che riguarda la fotodisintegrazione in due e in tre corpi. Per quel che riguarda invece la fotoproduzione, essi sono caratterizzati da elevati valori del fattore  $\eta$ , specialmente nel caso della fotoproduzione doppia. Unica eccezione, a parte le incertezze sperimentali, sembra essere la fotoproduzione di  $\pi^-$ . Anche il rapporto di elasticità è in accordo con i calcoli teorici già citati.

Nel quadro del modello dell'approssimazione d'impulso un elevato valore di  $\eta$  può essere interpretato sulla base di elevati termini di interferenza fra le ampiezze di fotoproduzione sui singoli nucleoni e la camera a diffusione, essendo un rivelatore integrale, si presenta come strumento molto adatto alla rivelazione di effetti di questo tipo.

Tuttavia, mentre per le fotoproduzioni elastiche è possibile eseguire calcoli teorici attendibili, essendo note le funzioni d'onda dello stato iniziale e dello stato finale, e quindi valutare i termini di interferenza, questo non è possibile per la fotoproduzione complessiva. Un calcolo approssimativo è stato eseguito da Chew e Lewis per la fotoproduzione in deuterio ed essi pervengono ad una formula del tipo

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_D = \left\{ \frac{2}{3} (K_p + K_n)^2 + (L_p + L_n)^2 \right\} F^2(\bar{q})$$

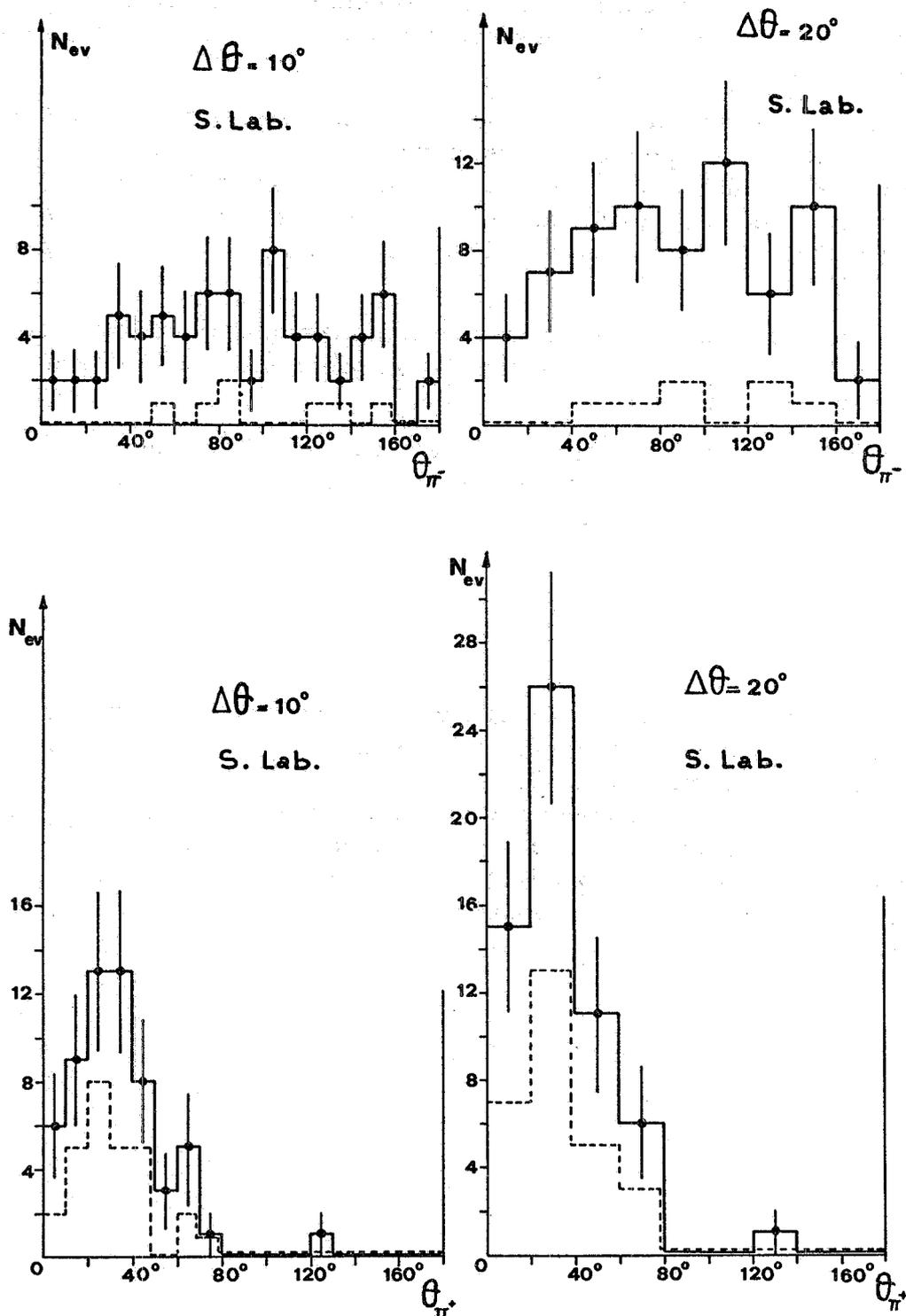
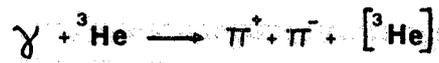


FIG. 23 - Distribuzione di  $\theta$  (S. Lab.) del  $\pi^+$  e del  $\pi^-$  nella reazione  ${}^3\text{He}(\gamma, \pi^+\pi^-) [{}^3\text{He}]$ . La linea tratteggiata rappresenta il contributo delle tracce con ionizzazione intermedia. Le distribuzioni sono fatte con due diversi passi in  $\theta$ .

dove  $K_p$  e  $K_n$  sono le ampiezze di fotoproduzione su protone e su neutrone con spin-flip e  $L_p$  e  $L_n$  quelle senza spin-flip, mentre  $F(\bar{q})$  è praticamente il fattore di forma del deutone. Il calcolo sembra però essere di complessa estensione al caso dell' ${}^3\text{He}$  anche per quel che riguarda l'applicabilità delle approssimazioni usate.

Da un diverso punto di vista, però, i dati sperimentali potrebbero essere interpretati anche come indicazione di una non-validità dell'approssimazione d'impulso per l' ${}^3\text{He}$ , dovuta alle caratteristiche peculiari di questo nucleo, quale, ad esempio, la presenza delle correnti mesoniche di scambio che, come è noto, spiegherebbero anche le sue anomalie statiche.

La fotoproduzione doppia presenta inoltre un'altra caratteristica molto peculiare e di difficile interpretabilità, cioè la diversa distribuzione angolare dei  $\pi^+$  e dei  $\pi^-$ .

Per questo è nostra intenzione analizzare ulteriormente gli eventi attribuiti a questa reazione anche con altri metodi allo scopo di ricavare dai dati la maggior quantità di informazioni possibile in rapporto a tutti i problemi citati.

#### RINGRAZIAMENTI -

Ringraziamo il Prof. A. Gigli per il suo continuo incoraggiamento nelle varie fasi di questo lavoro, la staff tecnica del nostro gruppo, in particolare i Sigg. C. Marciano, P. Benvenuto e D. Fabbri, i componenti del gruppo di scanning e gli operatori dell'Elettrosincrotrone per la loro indispensabile collaborazione, i Drr. M. A. Spano, M. Locci, V. Rossi per il loro aiuto nella compilazione di alcuni programmi di calcolo. Ringraziamo infine il Prof. P. E. Argan che ha partecipato alla fase iniziale di questo lavoro.

## BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - C. Pask, Phys. Letters 25B, 78 (1967).
- (2) - D. Griffiths and C.W. Kim, Nuclear Phys. B4, 309 (1967).
- (3) - K. Okamoto and C. Lucas, Nuclear Phys. B2, 347 (1967).
- (4) - T.K. Lim, Nuclear Phys. A109, 641 (1968); A110, 417 (1968).
- (5) - N.V. Fetisov, Nuclear Phys. A98, 437 (1967).
- (6) - F. Villars, Phys. Rev. 72, 256 (1947).
- (7) - R.K. Osborn and L.L. Foldy, Phys. Rev. 79, 795 (1950).
- (8) - J.S. Levinger, Phys. Rev. 131, 2710 (1963).
- (9) - J.R. O'Fallon, L.J. Koester Jr., J.M. Smith and A.I. Yavin, Phys. Rev. 141, 889 (1966).
- (10) - P. Picozza, C. Schaerf, R. Scrimaglio, G. Goggi, A. Piazzoli and D. Scannicchio, Nuovo Cimento 55, 206 (1968).
- (11) - E. Finch, R. Kosiek, K.H. Lindenberger, U. Meyer-Berkhout, N. Nuecker and K. Schenepmann, Phys. Letters 7, 271 (1963).
- (12) - C. Becchi, G.E. Manuzio, L. Meneghetti and S. Vitale, Phys. Letters 8, 322 (1964).
- (13) - B.L. Berman, L.J. Koester Jr. and J.H. Smith, Phys. Rev. 133, B117 (1964).
- (14) - A.T. Varfolomeev and A.N. Gorbunov, Soviet Phys. JETP 20, 20 (1964).
- (15) - V.N. Getisov, A.N. Gorbunov and A.T. Varfolomeev, Nuclear Phys. 71, 305 (1965).
- (16) - H.M. Gernstenberg and J.S. O'Connell, Phys. Rev. 144, 834 (1966).
- (17) - G. Goggi, G.C. Mantovani, C. Marciano, A. Piazzoli, D. Scannicchio, P.E. Argan and A. Piazza, Nuclear Instr. and Meth. 57, 137 (1967).
- (18) - E.L. Hart and D.H. White, Rev. Sci. Instr. 31, 33 (1960).
- (19) - P.E. Argan, G.C. Mantovani and A. Piazzoli, Nuovo Cimento 37, 376 (1964).
- (20) - F.S. Crawford Jr., Rev. Sci. Instr. 30, 1096 (1959).
- (21) - Desy Bubble Chamber Group, Double Pion Photoproduction in Hydrogen, Internal Report DESY (1967).
- (22) - R. Salvadori, Istituto Superiore di Sanità, Rapporto interno ISS 66/11-14 (1966).
- (23) - E. Lohrmann, H. Meyer and H.O. Wülster, Phys. Letters 6, 216 (1963).
- (24) - L. Fiore, G. Gialanella, V. Rossi, S. DeSchryver, A. Piazza, B. Stella, G. Susinno, S. Focardi and G.C. Mantovani, Nuovo Cimento 56, 1099 (1968).
- (25) - M. Collard, R. Hofstadter, E.B. Hughes, A. Johansson and M.R. Yearian, Phys. Rev. 138, B57 (1965).
- (26) - J.L. Sanchez-Gomez and P. Pascual, to be published.
- (27) - S. Ferroni, V.G. Gracco and C. Schaerf, Suppl. Nuovo Cimento 5, 1051 (1967).
- (28) - G.F. Chew and H.W. Lewis, Phys. Rev. 84, 779 (1951).