

LNF-71/21
5 Maggio 1971

G. Sciacca: STUDIO DI UN CONTATORE PER NEUTRONI:
ENERGIA DI TAGLIO ED EFFICIENZA.

LNF-71/21
5 Maggio 1971

G. Sciacca: STUDIO DI UN CONTATORE PER NEUTRONI: ENERGIA DI TAGLIO ED EFFICIENZA.

SOMMARIO -

Viene descritta la misura dell'andamento dell'energia di taglio di uno scintillatore plastico in funzione della soglia del discriminatore: utilizzando tale parametro, assieme alle dimensioni geometriche ed alla composizione chimica dello scintillatore, come dati di ingresso di un programma di Montecarlo⁽¹⁾, è possibile calcolare l'efficienza di rivelazione per neutroni di energia $0 \div 300$ MeV.

INTRODUZIONE -

Scopo di questo lavoro è lo studio sperimentale del comportamento a bassa energia ($T_h \leq 15$ MeV) di un contatore per neutroni (scintillatore cilindrico di NE 102 A, con spessore e diametro di 30 cm).

In particolare sono state misurate:

- 1) l'energia di taglio, (T_g , energia minima dei protoni rivelabili) al variare della soglia del discriminatore posto sull'anodo del contatore
- 2) l'efficienza di rivelazione per neutroni di 15 MeV al variare dell'energia di taglio, $\epsilon(T_g)$.

2.

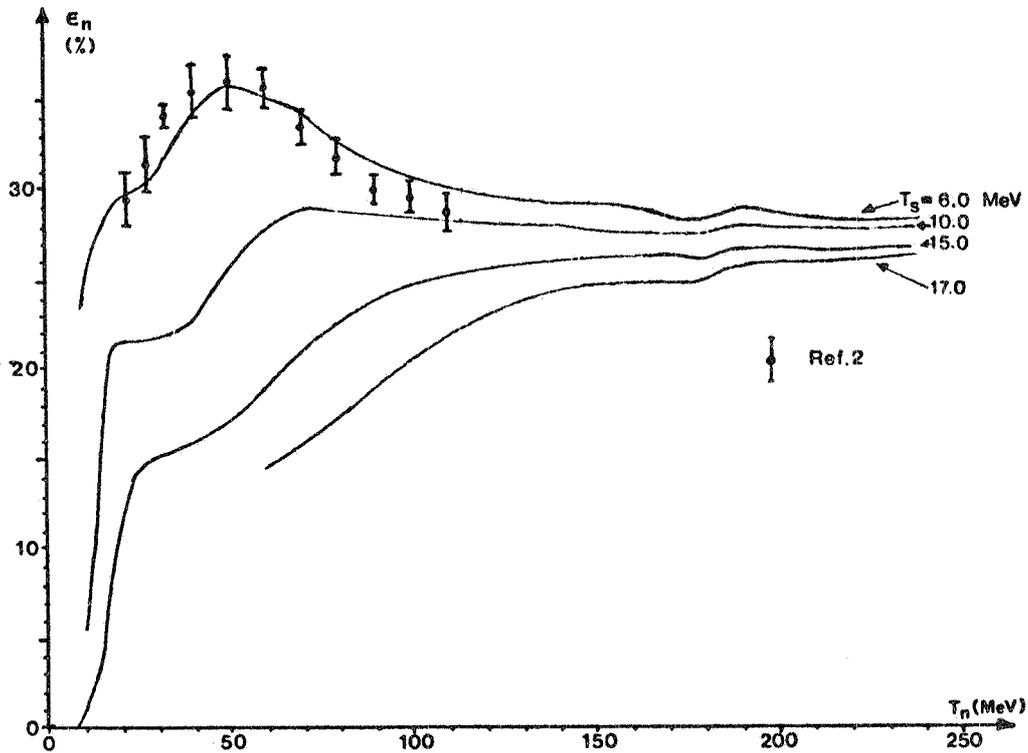


FIG. 1a) - Efficienza del nostro contatore per neutroni, (cilindro di NE 102 A con diametro e spessore di 30 cm), calcolata per varie energie di taglio mediante il programma di MonteCarlo della ref. (1). I punti sperimentali(2) si riferiscono ad un contatore di 30 cm di diametro e 28.6 di spessore, con $T_g = 6$ MeV.

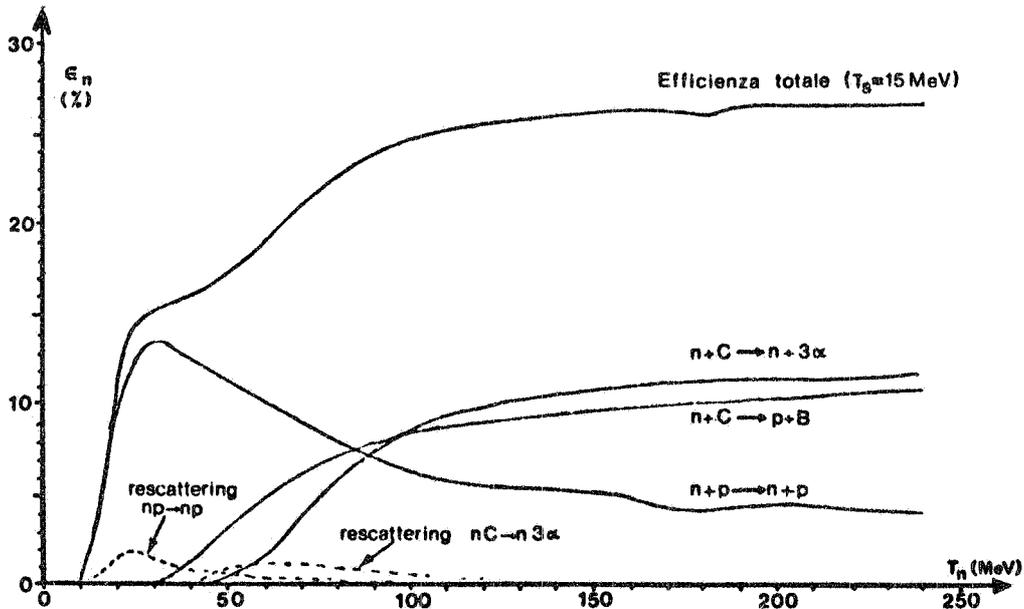


FIG. 1b) - Contributi all'efficienza dei vari processi di rivelazione dei neutroni sull'idrogeno o sul carbonio dell'NE 102 A, calcolati per il nostro contatore, ($T_g = 15$ MeV).

A tale scopo sono stati utilizzati i neutroni monocromatici ($T_n \approx 15$ MeV) prodotti dalla reazione $d + H_3 \rightarrow n + \alpha$, e neutroni con energia fino a ~ 6 MeV di una sorgente di PoBe.

Le misure sono state eseguite in connessione con la esperienza $\gamma + d \rightarrow \pi^0 + n + (p_{\text{spett.}})$, da poco completata presso l'Elettrosincrotrone dei Laboratori Nazionali di Frascati.

Come è noto, uno dei principali problemi che si incontrano nella rivelazione dei neutroni è quello dell'efficienza: essa, fra l'altro, dipende dall'energia di taglio da noi misurata, ed in modo assai critico, almeno per energie minori di ~ 100 MeV (vedi Fig. 1).

La misura dell'efficienza a 15 MeV ha, invece, solo valore indicativo, in quanto i neutroni dell'esperienza $\gamma + n \rightarrow \pi^0 + n$ hanno energie comprese tra 50 e 300 MeV: una misura diretta dell'efficienza in questo intervallo di energia verrà effettuata quanto prima, mediante i neutroni della reazione $\gamma + p \rightarrow \pi^+ + n$, con un metodo che abbiamo già collaudato all'inizio dei turni di misura.

In ogni caso però, la conoscenza dell'energia di taglio ci ha permesso di risalire all'efficienza, facendo uso di un calcolo⁽¹⁾ verificato sperimentalmente numerose volte, fra l'altro con contatori assai simili al nostro^(2, 3).

1. - DISPOSIZIONE SPERIMENTALE -

La disposizione sperimentale è schematizzata in Fig. 2.

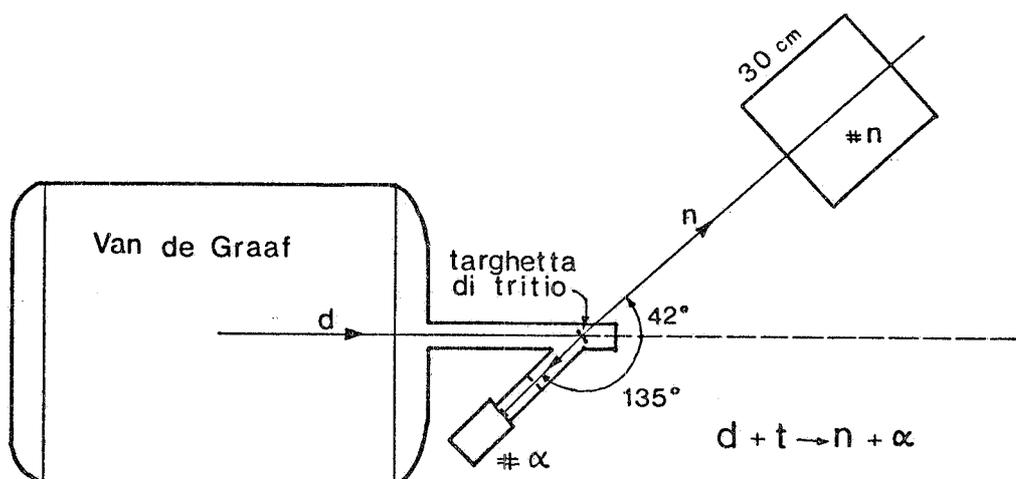
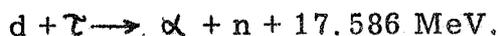


FIG. 2 - Disposizione sperimentale.

4.

Il fascio dei deutoni da 200 KeV accelerati dal Van de Graaf da 400 KeV dell'Università di Napoli, incidono su una targhetta di tantalio sulla cui superficie sono depositati nuclei di tritio: si ha la reazione^(4, 5):



Come si vede dalla cinematica di Fig. 3, nelle nostre condizioni geometriche si ha:

$$T_{\alpha} \simeq 2.9 \text{ MeV}; T_n \simeq 14.9 \text{ MeV} \quad \text{per} \quad T_d = 200 \text{ KeV}$$

La particella prodotta, dopo aver percorso circa 15 cm sotto vuoto, viene rivelata da un contatore a scintillazione (1 mm di NE 102).

Il neutrone ad essa associato viene rivelato dal nostro contatore, uno scintillatore plastico cilindrico di NE 102 A, con spessore e diametro di 30 cm, visto da un fotomoltiplicatore 58 AVP mediante guida di luce in aria, cilindrica, lunga 20 cm.

Naturalmente, tutto l'apparato usato (cavi, elettronica, ecc.) è lo stesso della misura $\gamma n \rightarrow \pi^0 n$.

2. - MISURA DELL'EFFICIENZA A 15 MeV -

Come risulta dallo schema a blocchi dell'elettronica usata, (v. Fig. 4), vengono contati gli impulsi del contatore α , e quelli della coincidenza " $\alpha + n$ " tra i due contatori: la misura dell'efficienza del contatore per neutroni può essere ricavata dal rapporto:

$$\epsilon_n = \frac{\text{conteggi } [\alpha + n]}{\text{conteggi } [\alpha]}$$

D'altra parte, però, questo sistema è applicabile solo a patto di essere certi che tutti i conteggi del contatore α sono dovuti alla reazione in esame.

A tale scopo è stata fatta un'analisi in ampiezza del contatore α , comandando il gate lineare (vedi Fig. 4) o con il solo contatore α , o con la coincidenza " $\alpha + n$ ".

Due spettri tipici ottenuti sono mostrati in Fig. 5.

Come si vede, dalla figura, è possibile eliminare quasi completamente il fondo di eventi casuali, fissando ad un opportuno valore la soglia del discriminatore α .

A questo punto siamo stati in grado di misurare, mediante il rapporto suddetto, l'efficienza del nostro contatore per neutroni al variare

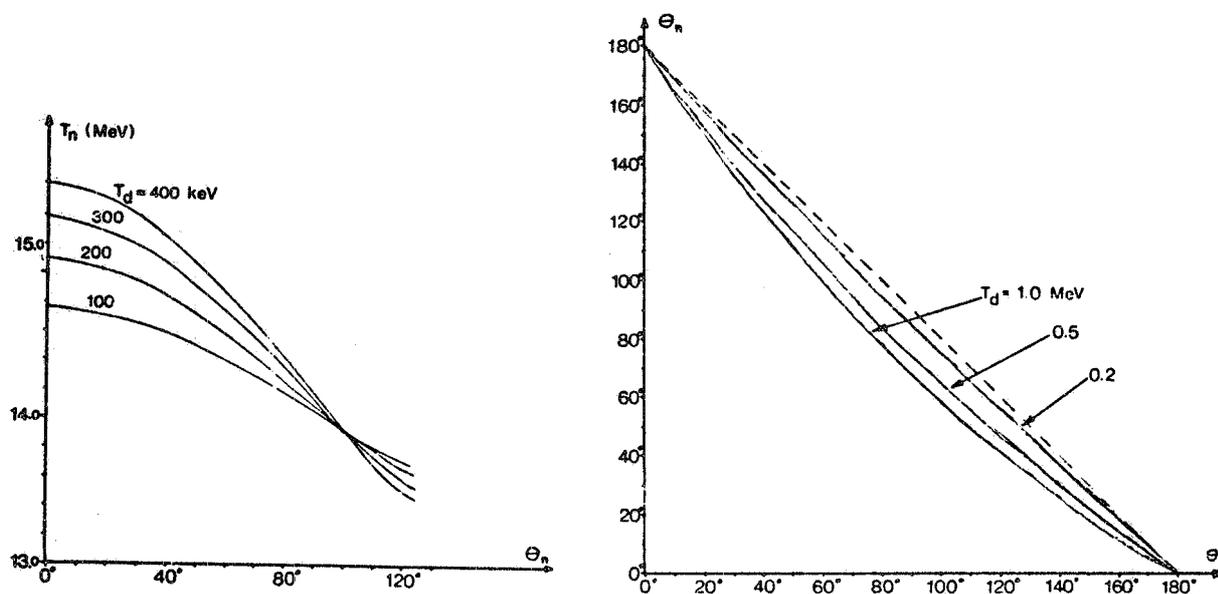


FIG. 3 - Cinematica della reazione $d + \tau \rightarrow \alpha + n$.

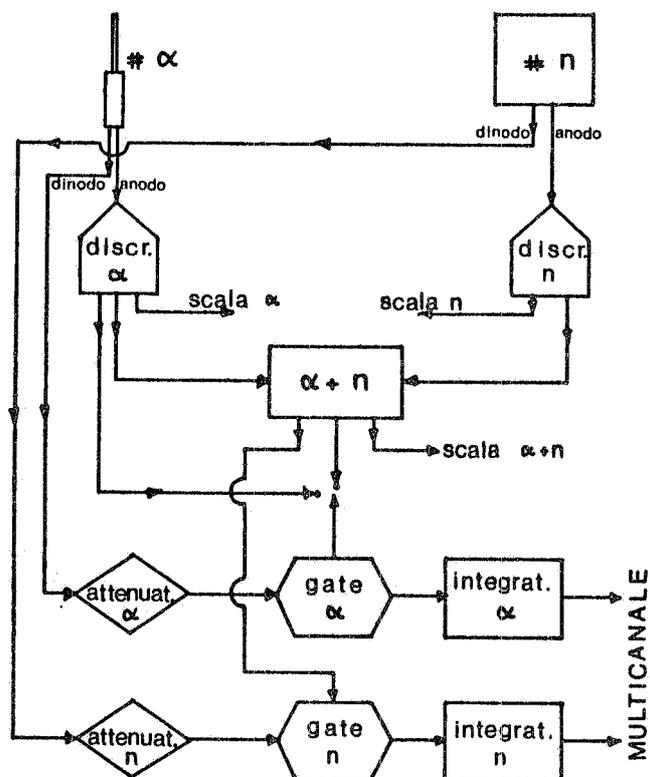


FIG. 4 - Schema a blocchi dell'elettronica.

6.

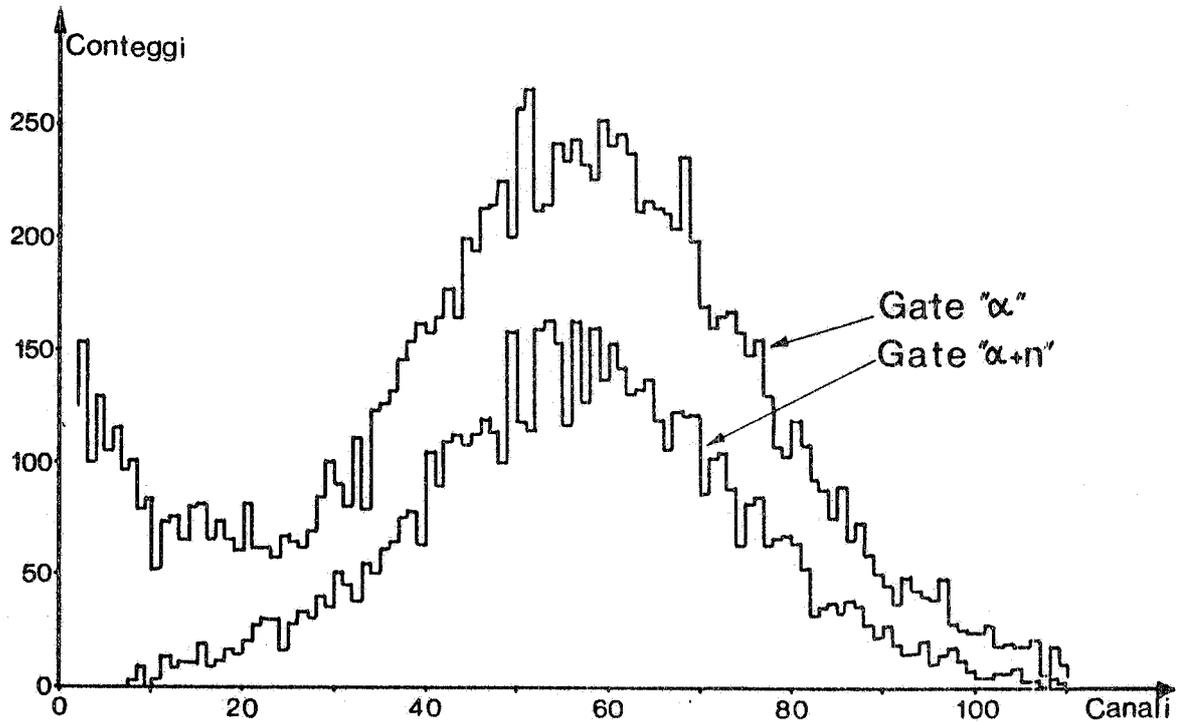


FIG. 5 - Spettri in ampiezza del contatore α .

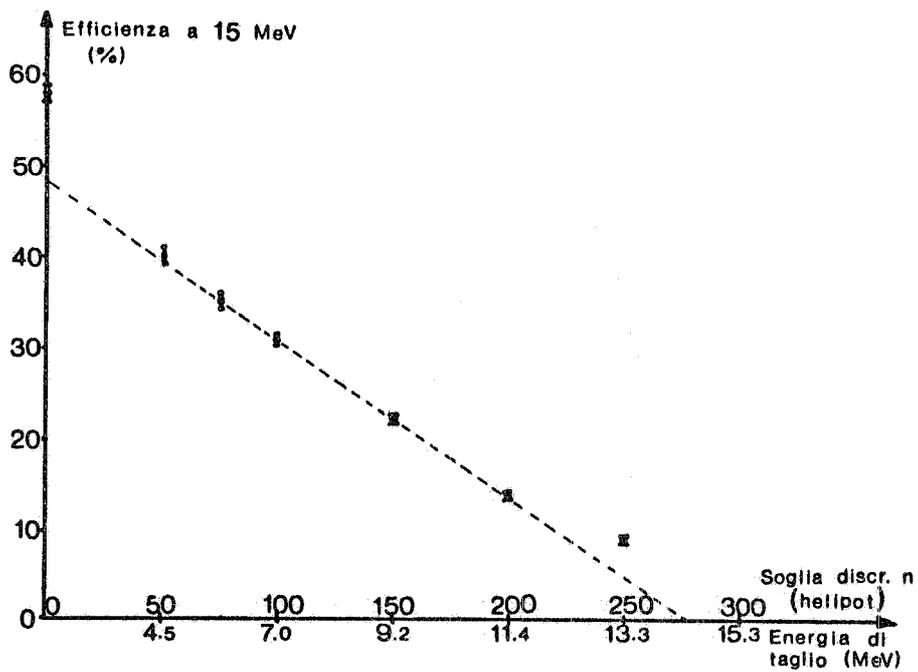


FIG. 6 - Efficienza per neutroni da 15 MeV, al variare del taglio del discriminatore n. (l'errore è solo statistico).

della soglia del discriminatore posto sull'anodo del contatore stesso.

I risultati sono mostrati in fig. 6. In ascisse di Fig. 6 è anche riportata la scala in energia di taglio T_S , anticipando i risultati del paragrafo successivo, in particolare quelli sintetizzati in fig. 10.

Contemporaneamente, sono stati raccolti gli spettri in ampiezza del contatore per neutroni per varie soglie del suo discriminatore: essi sono mostrati in Fig. 7.

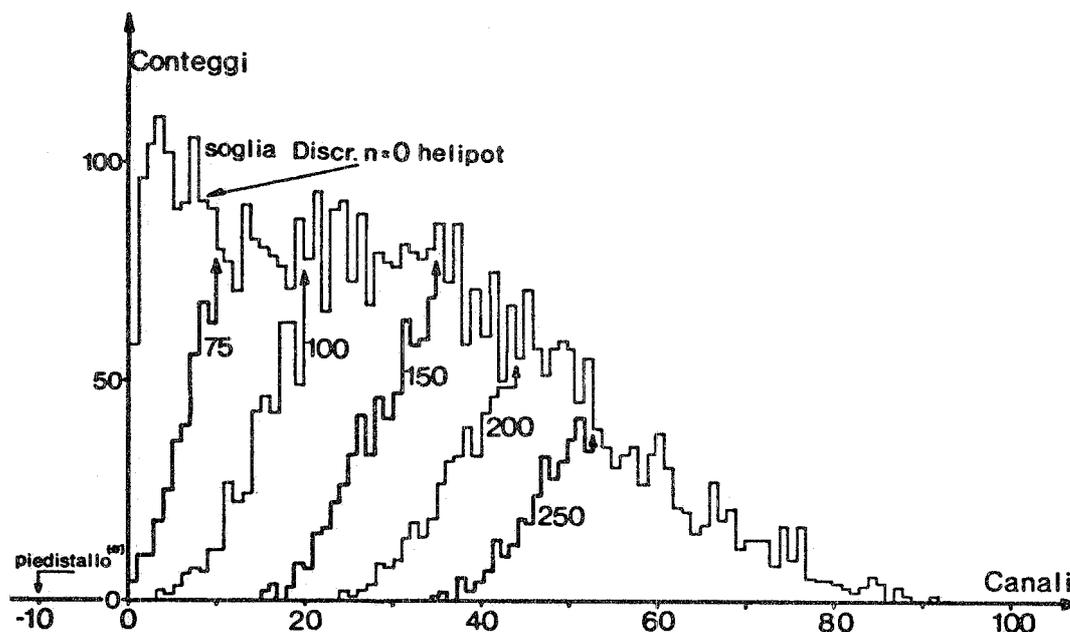


FIG. 7 - Spettri in ampiezza del contatore per neutroni con vari tagli del discriminatore n , normalizzati a parità di conteggi α . (Intendiamo per "pedistallo" l'uscita della catena di analisi per impulso nullo in ingresso).

Prendiamo, ad esempio, lo spettro con il taglio più basso. Esso si discosta dallo spettro rettangolare che ci si potrebbe aspettare^(x) per due motivi^(6, 7):

- a) Nella zona superiore interviene la risoluzione del contatore che, dalla Fig. 7; risulta essere del $30 + 40\%$.

(x) - Un neutrone da 15 MeV può essere rivelato, in uno scintillatore, quasi esclusivamente (Fig. 1b) mediante l'urto elastico neutrone-protone. Tale processo, a questa energia, dà luogo ad una distribuzione rettangolare dell'energia cinetica del protone urtato, compresa tra 0 e l'energia del neutrone incidente.

8.

b) Nella zona inferiore interviene la non linearità di risposta dello scintillatore al variare dell'energia in esso depositata dal protone di rinculo, (vedi Fig. 8).

Questa struttura dello spettro in ampiezza spiega la non completa linearità dell'efficienza al variare della soglia del discriminatore (Fig. 6).

3. - MISURA DELL'ENERGIA DI TAGLIO. -

Come si è detto nell'introduzione, la principale informazione che si vuole ricavare dalla misura è quella dell'andamento dell'energia di taglio, (espressa in energia minima dei protoni rivelabili), al variare della soglia del discriminatore posto sull'anodo del contatore per neutroni.

Tale relazione verrà ottenuta nel modo seguente:

1) Dagli spettri dei neutroni a varie soglie del discriminatore, (vedi Fig. 7), si ricava la relazione "canale di taglio di ciascuno spettro versus soglia del discriminatore".

2) Tarando il nostro sistema di analisi, si ricava la relazione "canale di risposta versus energia dei protoni di rinculo rivelati".

3) Confrontando le due relazioni suddette, siamo in grado di ricavare la relazione cercata "energia di taglio versus soglia del discriminatore n".

Vediamo come è stata ottenuta ciascuna relazione.

Relazione 1: discriminatore \rightarrow canale di taglio.

Prendiamo gli spettri in ampiezza del contatore per neutroni mostrati in Fig. 7: ciascuno di essi è stato ricavato con un valore prescelto della soglia del discriminatore, ed appare quindi tagliato al di sotto di un certo canale. Il taglio di ciascuno spettro può essere individuato, ad esempio, dal canale dove viene raggiunta la semialtezza dello spettro stesso: si ha così una corrispondenza biunivoca tra i suddetti canali e la soglia del discriminatore con cui ciascuno spettro è stato raccolto.

Relazione 2: energia di protone \rightarrow canale.

Vogliamo tarare in energia di protoni la risposta del nostro contatore, (risposta espressa in canali del multicanale analizzatore).

Innanzitutto ciò è possibile immediatamente per due valori dell'energia:

a) $T_p = 0$ è associata al canale del cosiddetto "piedistallo" della catena di analisi indicato in Fig. 7.

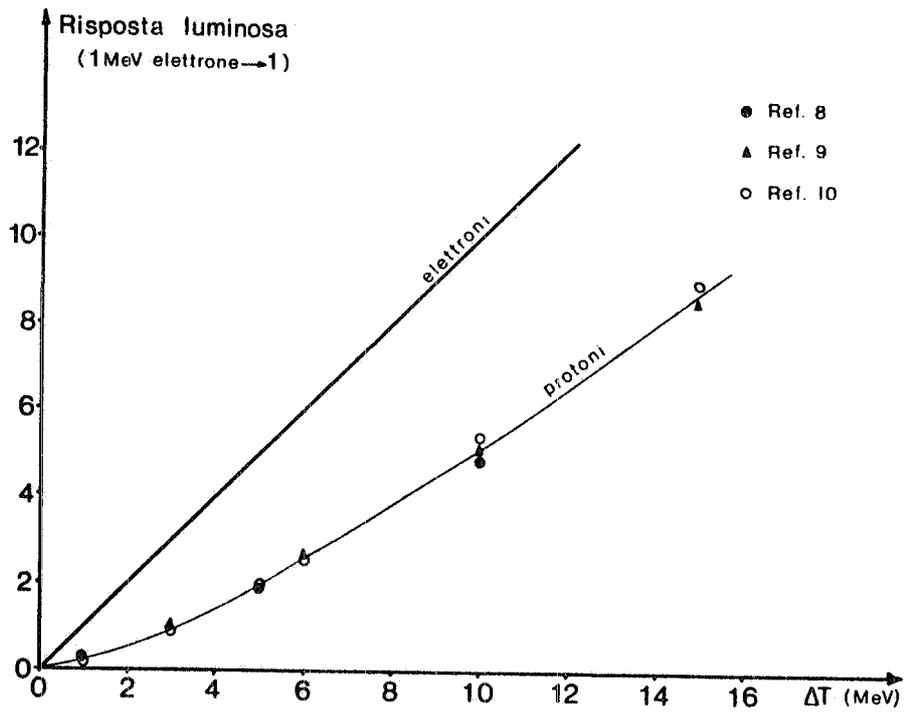


FIG. 8 - Risposta luminosa dell'NE 102 A a protoni ed elettroni.

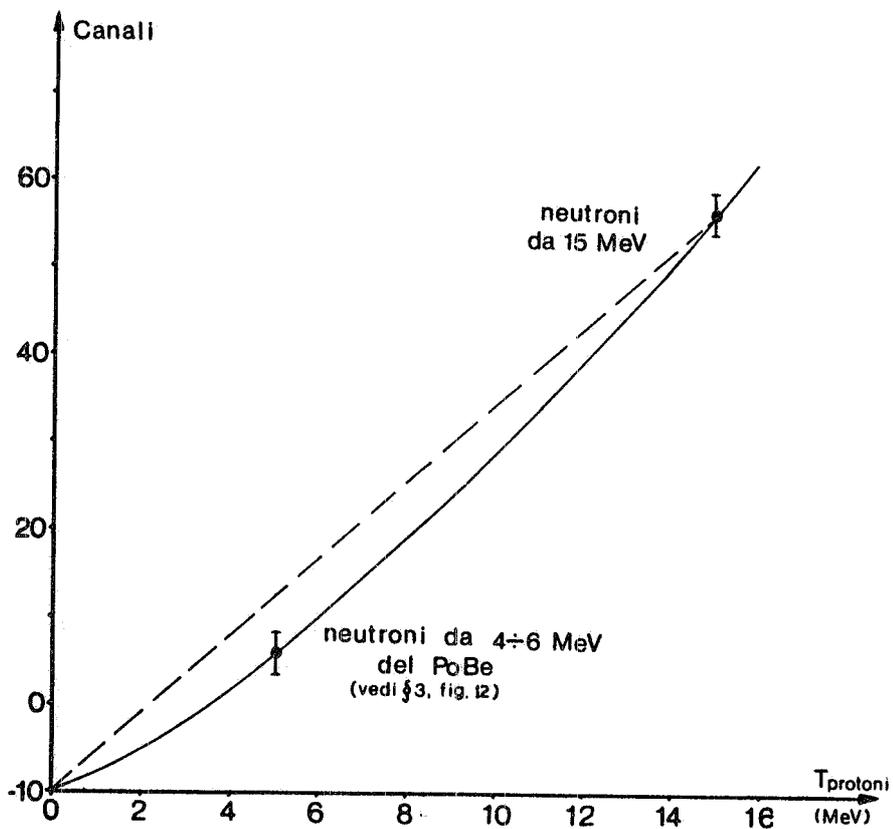


FIG. 9 - Taratura in energia del contatore per neutroni.

10.

b) $T_p = 15$ MeV è associata al canale corrispondente al flusso degli spettri dei neutroni da 15 MeV, come indicato sempre in Fig. 7.

Per completare la taratura in energia del nostro contatore si deve interpolare fra i suddetti due valori, ma non linearmente.

Infatti, come si è detto, la risposta dello scintillatore ai protoni è, in questo intervallo di energia, tutt'altro che lineare^(8, 9, 10), come appare dalla Fig. 8.

Siccome si è precedentemente misurata la linearità di risposta della catena di analisi, multicanale compreso, l'unica causa di non linearità è quella dovuta alla risposta dello scintillatore: l'interpolazione cercata è stata fatta quindi, secondo la legge di Fig. 8.

La Fig. 9 mostra il risultato della taratura ora descritta.

Relazione 3: discriminatore \rightarrow energia di taglio.

A questo punto la relazione cercata "energia di taglio versus soglia del discriminatore n" può essere ricavata facilmente utilizzando le due relazioni precedenti: fissata la soglia del discriminatore, si avrà il taglio ad un certo canale (Relazione 1), canale che corrisponde, (Relazione 2), ad una determinata energia di protone.

Il risultato di queste operazioni è mostrato in Fig. 10.

Per completare le informazioni necessarie per il calcolo dell'efficienza mediante il programma di Montecarlo già citato⁽¹⁾, si deve ricavare anche la risoluzione sull'energia di taglio, anche se l'efficienza non ne dipende molto criticamente, per lo meno per energia dei neutroni 2 o 3 volte maggiore dell'energia di taglio.

Tale risoluzione è stata misurata in base alla salita degli spettri di Fig. 7, e risulta essere di circa il 20%.

Il problema del controllo della stabilità del contatore (e quindi della sua energia di taglio, una volta che ci si assicuri della stabilità del suo discriminatore), è stato risolto con l'uso di sorgenti di γ (Co⁶⁰ e MsTh₁), di α (Am²⁴¹), e di neutroni (PoBe), con procedure standard.

4. - PROVE CON IL PoBe. -

Per controllare la validità dell'interpolazione precedentemente descritta, abbiamo utilizzato i neutroni di una sorgente di PoBe.

Tale sorgente emette⁽¹¹⁾, fra l'altro, neutroni con energia compresa tra 2 e 6 MeV, associati a γ da 4.43 MeV emessi dal C^{12*} della

reazione $\text{Be}^9(\alpha, n)\text{C}^{12*}$, nella transizione allo stato fondamentale.

Uno scintillatore plastico (10 x 10 x 10 cm) rivelava il γ da 4.43 MeV, mentre il neutrone ad esso associato veniva rivelato dal nostro contatore, che distava dalla sorgente 130 cm.

L'energia del neutrone veniva misurata con la tecnica del tempo di volo, mediante un convertitore tempo-ampiezza (CTA).

Per ciascun evento si registrava il tempo di volo, l'altezza di impulso del contatore per neutroni, e quella del contatore per fotoni; queste tre informazioni venivano inviate ad un calcolatore PDP8 on line, che per metteva, nell'analisi successiva, di selezionare in energia i neutroni rivelati.

Lo spettro in tempo di volo dei neutroni è mostrato in Fig. 11.

Per controllare, almeno qualitativamente, l'accordo del nostro spettro con quello già noto⁽¹¹⁾, abbiamo tarato in energia dei neutroni la scala di tempo di volo: sempre in Fig. 11 appare infatti uno spettro in tempo di volo degli eventi γ di una sorgente di Co^{60} , sostituita a quella del PoBe.

Questo spettro ci fornisce lo "zero" del tempo di volo, e quindi, nota la pendenza di conversione del CTA, ci permette di prevedere i tempi di volo dei neutroni delle varie energie.

Come si vede, la scala in energia così ricavata indica che lo spettro dei neutroni nasce a ~ 6 MeV e ciò era quanto ci si doveva aspettare in base alla misura⁽¹¹⁾ già citata.

A questo punto, ricavando lo spettro in ampiezza del contatore per neutroni per un certo intervallo di tempo di volo dei neutroni stessi, (e quindi per una certa energia), abbiamo potuto verificare le validità della taratura in energia ottenuta con i neutroni da 15 MeV.

La Fig. 12, infatti, mostra uno spettro di altezza d'impulso per neutroni di energia 6 MeV: in ascisse è riportata la scala di energia che era stata ottenuta con l'interpolazione, (tra 0 e 15 MeV), precedentemente descritta.

Come si vede, il flesso dello spettro dei neutroni da 6 MeV è nella zona prevista, e ciò dà fiducia sul metodo di interpolazione usato (vedi Fig. 9).

12.

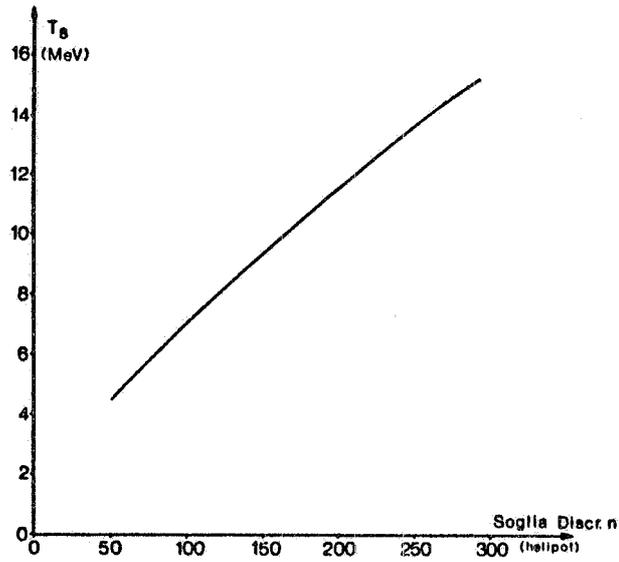


FIG. 10 - Energia di taglio al variare del discriminatore per neutroni.

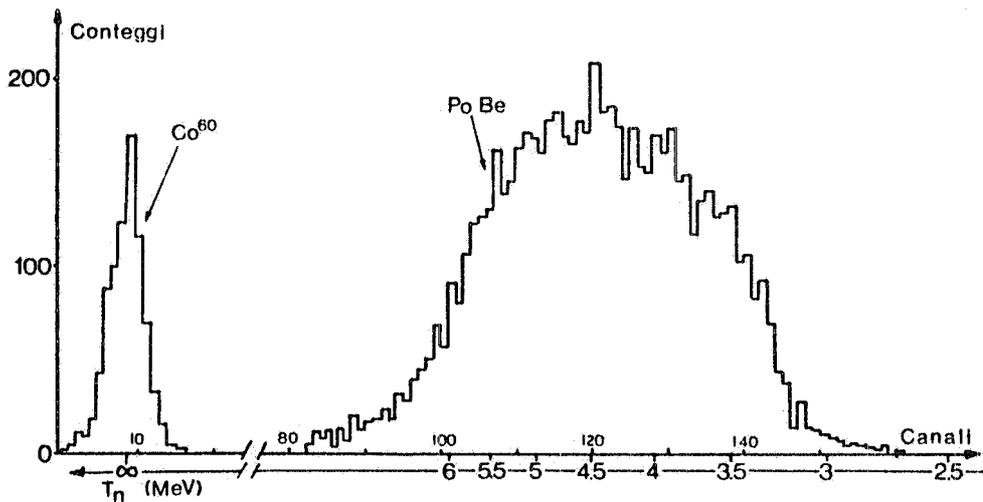


FIG. 11 - Spettri in tempo di volo: neutroni del PoBe e γ del Co^{60} .

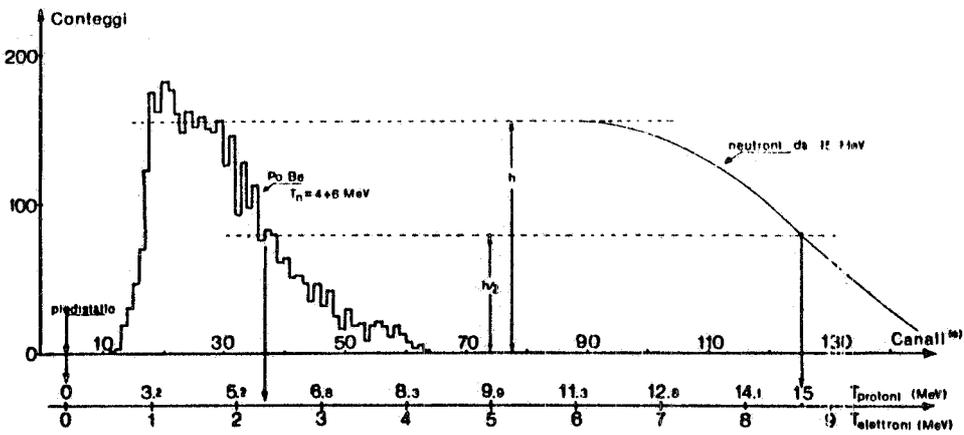


FIG. 12 - Spettri in ampiezza dei neutroni da 15 MeV e da 6 MeV. (La scala in canali non è la stessa della Fig. 7).

CONCLUSIONI -

I risultati sintetizzati nella Fig. 10 ci permettono di conoscere l'energia di taglio del nostro sistema al variare della soglia del discriminatore.

Come abbiamo detto nell'introduzione, utilizzando tale dato, (insieme alla sua risoluzione e alla geometria dello scintillatore), come parametro di ingresso al programma di Montecarlo⁽¹⁾, si può calcolare l'efficienza di rivelazione del contatore per neutroni fino a 300 MeV.

Durante la misura $\gamma + n \rightarrow \pi^0 + n$ è stato possibile lavorare, in tutte le condizioni cinematiche, con un unico valore dell'energia di taglio (15 MeV).

L'efficienza del nostro contatore, ricavata dal calcolo citato, è mostrata nella Fig. 13: la banda tratteggiata tiene conto dell'incertezza (± 1 MeV) nella misura dell'energia di taglio e della sua risoluzione.

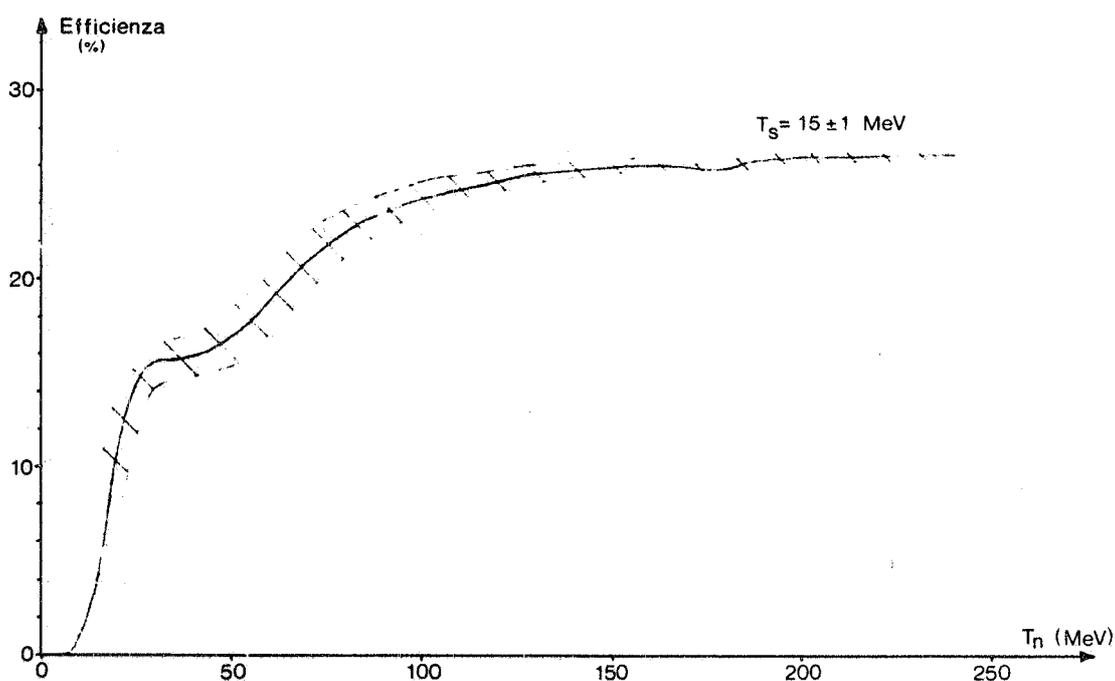


FIG. 13 - Efficienza calcolata per il nostro contatore per neutroni: $T_S = 15 \pm 1$ MeV, risoluzione su $T_S = 30 \pm 5\%$.

Ringrazio vivamente il Dr. G. Di Giugno ed il Sig. A. Lauro per la preziosa assistenza durante la misura con il Van de Graaf dell'Università di Napoli.

Desidero inoltre ringraziare il Prof. C. Bacci, il Sig. I. Bruno, il Prof. C. Mencuccini ed il Dr. A. Zallo che hanno partecipato alla misura effettuata a Napoli, nonché il Dr. B. Esposito che ha eseguito i calcoli di efficienza.

BIBLIOGRAFIA -

- (1) - R.J. Kurz, UCRL 11339 (1964).
- (2) - D.G. Crabb, J.G. McEwen, E.G. Auld and A. Langsford, Nuclear Instr. and Meth. 48, 87 (1967).
- (3) - J.C. Young, J.L. Romero, F.P. Brady and J.R. Morales, Nuclear Instr. and Meth. 68, 333 (1969).
- (4) - J.E. Brolley jr. and J.L. Fowler, Monoenergetic neutron sources, in "Fast neutron physics". (Interscience, New York 1960, Parte I.)
- (5) - A.O. Hanson, R.F. Taschek and J.H. Williams, Revs. Mod. Phys. 21, 635 (1949).
- (6) - C.D. Swartz and G.E. Owen, Recoil detection in scintillators, in "Fast neutron physics". (Interscience, New York, 1960, Parte I.)
- (7) - M. Bormann, R. Kühn, K. Schäfer and U. Seebeck, Nuclear Instr. and Meth. 88, 245 (1970).
- (8) - H.C. Evans and E.H. Bellamy, Proc. Phys. Soc. 74, 483 (1959).
- (9) - T.J. Gooding and H.G. Pugh, Nuclear Inst. and Meth. 7, 189 (1960).
- (10) - R.L. Craun and D.L. Smith, Nucl. Inst. and Meth. 80, 239 (1970).
- (11) - R. Del Fabbro, G. Matone and M. Roccella, Report LNF-69/11 (1969).