

# ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Genova

---

INFN/TC-94/08  
9 Maggio 1994

M.Taiuti, M.Castoldi, P.Cocconi, F.Parodi e A.Rottura:

**REALIZZAZIONE DI UN BANCO DI PROVA PER BARRE DI  
SCINTILLATORE PLASTICO CON LUNGHEZZA FINO A 5 METRI**

**REALIZZAZIONE DI UN BANCO DI PROVA PER BARRE DI SCINTILLATORE  
PLASTICO CON LUNGHEZZA FINO A 5 METRI**

M.Taiuti, M.Castoldi, P.Cocconi, F.Parodi e A.Rottura  
I.N.F.N.-Sezione di Genova, I-16146 Genova, Italy

**SOMMARIO**

E' stato realizzato un sistema di test per lo studio delle caratteristiche dei componenti ottici dei moduli del calorimetro elettromagnetico dell'esperimento AIACE. E' stato finalizzato allo studio della raccolta della luce emessa dagli scintillatori plastici al passaggio della radiazione ionizzante con particolare riferimento all'efficienza di trasmissione, all'omogeneità di risposta ed alla risoluzione temporale. Per riprodurre le condizioni sperimentali è stata utilizzata una sorgente  $\beta^-$  di  $^{90}\text{Sr}$  resa monoenergetica mediante un'analisi multiparametrica. Il banco di prova ha permesso di studiare le proprietà degli scintillatori, guide di luce e fotomoltiplicatori in condizioni simili a quelle sperimentali.

## 1. INTRODUZIONE

La collaborazione AIACE [1] partecipa ai programmi di ricerca della Hall B a CEBAF [2] e fornirà i primi due moduli del calorimetro elettromagnetico (CE) per rivelare particelle emesse ad angoli maggiori a  $45^\circ$  nel laboratorio. I moduli del CE verranno installati sul rivelatore CLAS e saranno usati principalmente per a) la separazione  $e/\pi$ ; b) la rivelazione di fotoni provenienti dal decadimento di mesoni neutri ( $\pi^0$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$  ...) e di barioni ( $\Lambda^*$  ...) e c) la misura del momento dei neutroni, quest'ultima mediante la tecnica dei tempi di volo. Ogni modulo copre in  $\theta$  un intervallo angolare pari a  $\approx 25^\circ$  mentre in  $\phi$  la copertura è limitata a  $\approx 55^\circ$  dagli avvolgimenti delle bobine che generano il campo magnetico toroidale di CLAS.

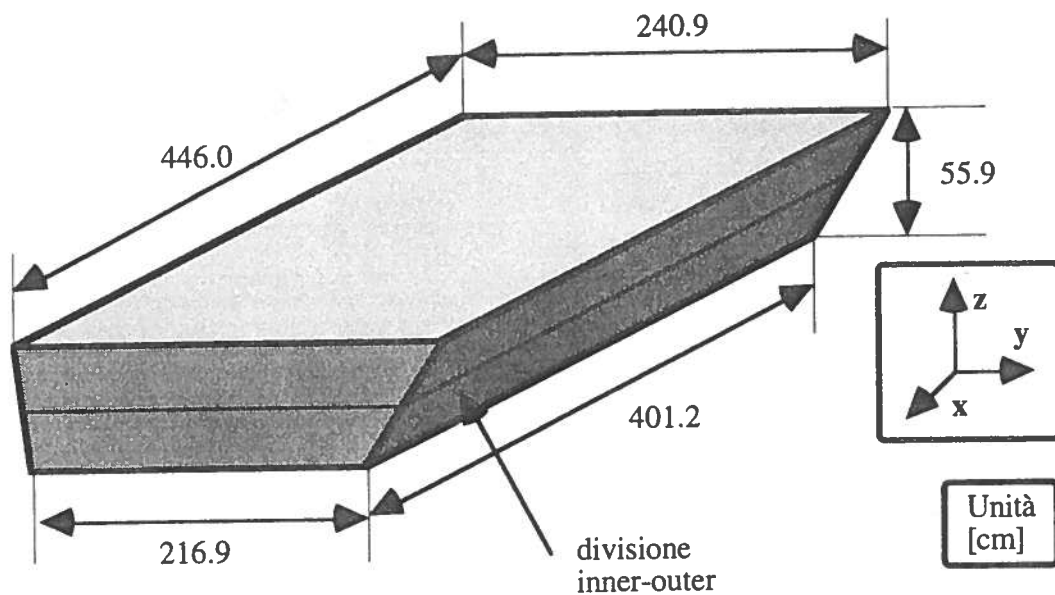


Figura 1 - Dimensioni esterne della parte sensibile del modulo del calorimetro elettromagnetico a  $\theta > 45^\circ$  (le dimensioni comprendono anche il primo strato di piombo).

Il modulo, la cui parte sensibile è rappresentata schematicamente in figura 1, ha base rettangolare ed una forma a tronco di piramide determinata dalla geometria di CLAS; la base rivolta verso il bersaglio è quella a superficie minore. La parte sensibile del modulo è divisa verticalmente in due parti aventi la stessa struttura. Ogni modulo del CE è costituito da 33 strati costituiti da fogli di piombo spessi 2.0 mm e scintillatori spessi 1.5 cm. Gli scintillatori hanno larghezza media 10 cm mentre la lunghezza può variare da 217 a 446 cm. La luce emessa dagli scintillatori al passaggio della radiazione ionizzante viene raccolta agli estremi e convogliata ai fotomoltiplicatori mediante guide di luce multiple che permettono di accoppiare ad un singolo fototubo fino a 9 scintillatori diversi. Le prestazioni del CE sono strettamente legate alle proprietà di emissione e trasmissione della luce da parte degli scintillatori ed all'efficienza di raccolta di luce da parte delle guide multiple. Nella fase di progettazione del modulo si è quindi resa necessaria la misura delle proprietà principali degli scintillatori (emissione luminosa per unità di energia de-

positata e sue fluttuazioni locali, attenuazione dell'impulso luminoso in funzione della distanza, risoluzione temporale) e delle guide di luce (efficienza di trasmissione luminosa, omogeneità e risoluzione temporale).

Queste proprietà, in particolare le prestazioni degli scintillatori, sono influenzate in modo particolare dalla riflessione totale della luce sulle superfici. Si è reso quindi necessario lo studio dei materiali da usarsi nella fasciatura delle barre di scintillatore per evitare il deterioramento della qualità delle superfici, dovuto principalmente allo scorrimento relativo dei vari piani di scintillatore sul piombo a seguito di variazioni di temperatura nella sala sperimentale.

Abbiamo inoltre studiato una procedura di misura che potesse essere applicata con facilità all'analisi di molti prototipi, anche in vista dell'utilizzo per il controllo di qualità della produzione degli scintillatori.

In questo rapporto vogliamo descrivere il banco di prova che abbiamo realizzato per le misure in laboratorio discutendo le modalità delle misure scelte.

## 2. IL BANCO DI PROVA

L'apparecchiatura è stata progettata in modo da ottenere la massima modularità e versatilità: è composta da moduli della lunghezza di un metro che possono essere assemblati per poter controllare due scintillatori di lunghezza variabile fino a circa 5,5 m. L'apparecchiatura è composta da una parte fissa ed una parte mobile.

La parte fissa è formata da una serie di piastre di alluminio rettificato, di lunghezza 1 m, imbullonate tra loro, sulle quali è stata praticata una matrice di fori filettati. Tramite i fori filettati sono fissate a) delle barre rettificate, anche queste in spezzoni di 1 m, collegabili tramite spine di precisione, su cui scorre la parte mobile, b) la struttura atta a supportare il sistema di raccolta di luce, c) i supporti sui quali vengono posizionati gli scintillatori tramite dei dispositivi di fissaggio a leva e d) il sistema di trascinamento della parte mobile, effettuato tramite un motore passo-passo ed una catena.

La parte mobile è composta da un carrello che scorre con dei manicotti a sfere sulle barre rettificate, trascinato da una catena azionata dal motore passo-passo. Su di essa è posta la sorgente radioattiva, alloggiata in un involucro di plexiglas che funge da collimatore, ed uno o due fototubi, a seconda del numero di scintillatori verificati contemporaneamente. Sul carrello sono stati inoltre installati degli interruttori di fine corsa utilizzati per l'azzeramento della posizione e per emergenza. L'intera apparecchiatura è posta all'interno di una scatola in legno, anch'essa in moduli di un metro di lunghezza, atta a mantenere il tutto nella più assoluta oscurità. L'accesso al banco di prova avviene dall'alto, dal momento che la parte superiore della scatola di legno funziona come coperchio incernierato al resto della struttura per il senso della lunghezza. Una serie di micro-interruttori, collegati direttamente all'"enable" dell'alimentatore di tensione dei fotomoltiplicatori, controlla il corretto posizionamento del coperchio e quindi la tenuta di luce della scatola. Una foto dell'apparecchiatura è riportata in figura 2.

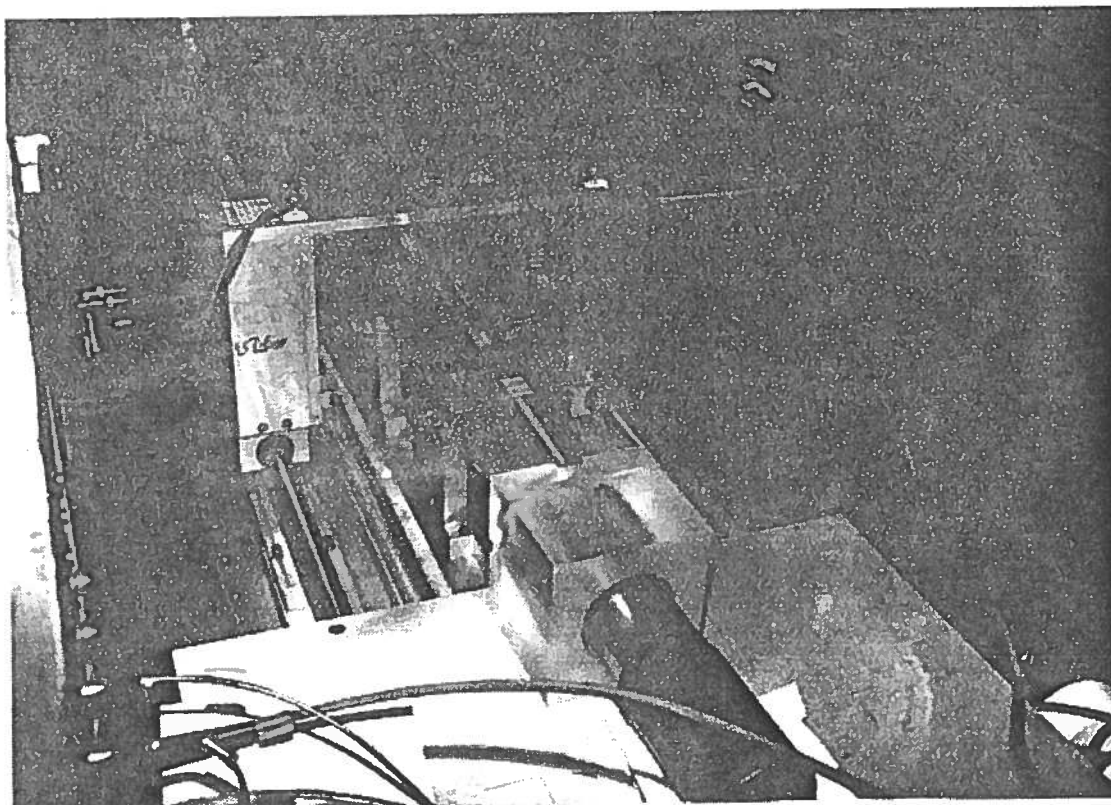


Figura 2 - Foto dell'apparato di misura con in primo piano il fototubo FA e lo scintillatore da misurare e sullo sfondo il carrello mobile con il fototubo FT e la sorgente radioattiva.

Per riprodurre le condizioni di misura abbiamo scelto di studiare le caratteristiche luminose degli scintillatori usando una sorgente  $\beta^-$  di  $^{90}\text{Sr}$ . La scelta è giustificata dal fatto che, poichè gli elettroni della testa dello spettro  $\beta$  ( $E_e \approx 2.2 \text{ MeV}$ ) sono assorbiti completamente nei 15 mm di spessore dello scintillatore, eventuali fluttuazioni di spessore dello scintillatore non alterano la misura delle fluttuazioni locali di luminosità; inoltre l'energia depositata corrisponde a quella media per neutroni con impulso fino a 2 GeV/c. La configurazione realizzata è riportata in figura 3: la sorgente, di attività 100  $\mu\text{Ci}$  e collimata usando un cilindro in plexiglas di spessore 2 cm provvisto di un foro di collimazione di diametro 1 mm, è montata su un carrello comandato dal motore passo-passo ed in grado di scorrere lungo l'intera lunghezza degli scintillatori. Di fronte alla sorgente, con lo scintillatore interposto nel senso dello spessore, un fotomoltiplicatore (FT) Hamamatsu R1828-01 seleziona la parte di alta energia dello spettro energetico della sorgente  $\beta$ . La distanza media  $d_{fs}$  del fotocatodo dalla superficie dello scintillatore è di 2 mm e la dimensione del fotomoltiplicatore è tale da contenere il cono della luce emessa dallo scintillatore attraverso la superficie laterale, anche a seguito di variazioni del valore di  $d_{fs}$  di qualche millimetro dovute a deformazioni elastiche delle barre di scintillatore. Questo accorgimento ha permesso di utilizzare il fototubo FT per la misura della quantità di luce emessa localmente nello scintillatore a parità di energia depositata. Il fototubo FT fornisce un segnale lineare per l'energia e due segnali logici, il primo, corrispondente al valore dell'energia depositata  $> 2 \text{ MeV}$ , è utilizzato come "gate" per la conversione dei segnali lineari ed il secondo, ottenuto con una soglia di discriminazione minore

per ridurre le fluttuazioni dovute al tempo di salita dei segnali, fornisce il segnale di trigger per la misura di risoluzione temporale.

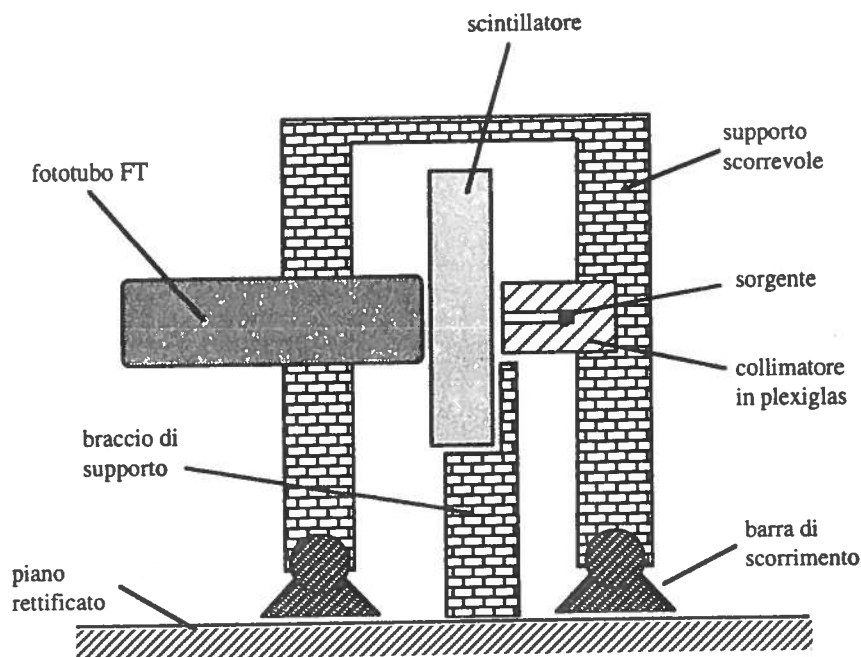


Figura 3 - Sezione trasversale dell'apparato di misura.

La luce trasmessa dallo scintillatore viene invece misurata ad un estremo con un fotomoltiplicatore (FA) EMI 9954B del stesso tipo di quelli scelti per essere montati sul modulo del CE. Il fotomoltiplicatore FA fornisce un segnale lineare per l'energia ed un segnale di temporizzazione per le misure di "timing". Per poter effettuare le misure di test, lo scintillatore è privo di fasciature ed è sostenuto da una serie di bracci in alluminio rivestito in Teflon. La scatola è inoltre fornita di una sistema di riscaldamento costituito da un tubo in rame di lunghezza 28 metri e diametro 14 mm che corre lungo la parete interna della scatola ed è collegato all'esterno con un termostato modello LAUDA RC20. Con questo sistema è possibile effettuare escursioni termiche fra 5 e 30 °C pari alla variazione di temperatura ammessa nella sala sperimentale Hall B di CEBAF.

### 3. IL SISTEMA DI ACQUISIZIONE

E' stato disegnato per poter essere facilmente trasportato ed utilizzato presso le ditte fornitrici degli scintillatori dove verranno effettuati i test o presso quella presso la quale avverrà l'assemblaggio del modulo. E' composto da a) un crate VME con un processore FIC8232 ed unità disco DSK8133/F, un CAMAC Branch Driver CBD8210, una interfaccia C.A.E.N. V288 verso l'alimentatore di alta tensione ed una memoria HSM8170 collegata agli ADC FERA, b) un crate CAMAC con gli ADC e TDA FERA e c) un crate NIM con i discriminatori C.A.E.N. N413 ed il timer C.A.E.N. N93B utilizzati per la produzione dei trigger. Il tutto è alloggiato in un unico rack assieme all'alimentatore di alta tensione per i fototubi C.A.E.N. SY403 e l'alimentatore per il motore passo-passo. La struttura del sistema di acquisizione è riportata in

figura 4: la conversione analogica e temporale viene fatta usando un "gate" unico ed i valori convertiti vengono memorizzati nella HSM8170. Alla fine di ogni misura i dati vengono letti e salvati su disco. Il programma di controllo esegue quindi una breve analisi che si basa sul fatto che gli spettri sia energetico che temporale del fototubo FA presentano sempre una forma gaussiana per cui ne viene calcolato il valore medio e la deviazione standard. In particolare il valor medio della distribuzione energetica viene utilizzato per il calcolo della lunghezza di attenuazione ottenuto mediante il "metodo dei minimi quadrati" usando come funzione interpolante  $c(x) = c_0 e^{-x/\lambda}$ . I due parametri  $c_0$  e  $\lambda$  rappresentano rispettivamente la luce raccolta per unità di energia depositata e la lunghezza di attenuazione. Le fluttuazioni locali della luminosità dello scintillatore vengono invece calcolate valutando gli scarti delle singole misure dalla funzione interpolante e, poichè l'energia depositata non viene misurata direttamente ma viene estrapolata usando la funzione  $c(x)$  una volta noto il punto  $x$  di passaggio della radiazione ionizzante, sono questi gli scarti significativi da usarsi per la stima delle fluttuazioni locali di emissione luminosa. L'ultimo parametro necessario per definire la qualità dello scintillatore o del sistema di raccolta della luce è data dalla larghezza  $\sigma$  della distribuzione gaussiana delle correlazioni temporali.

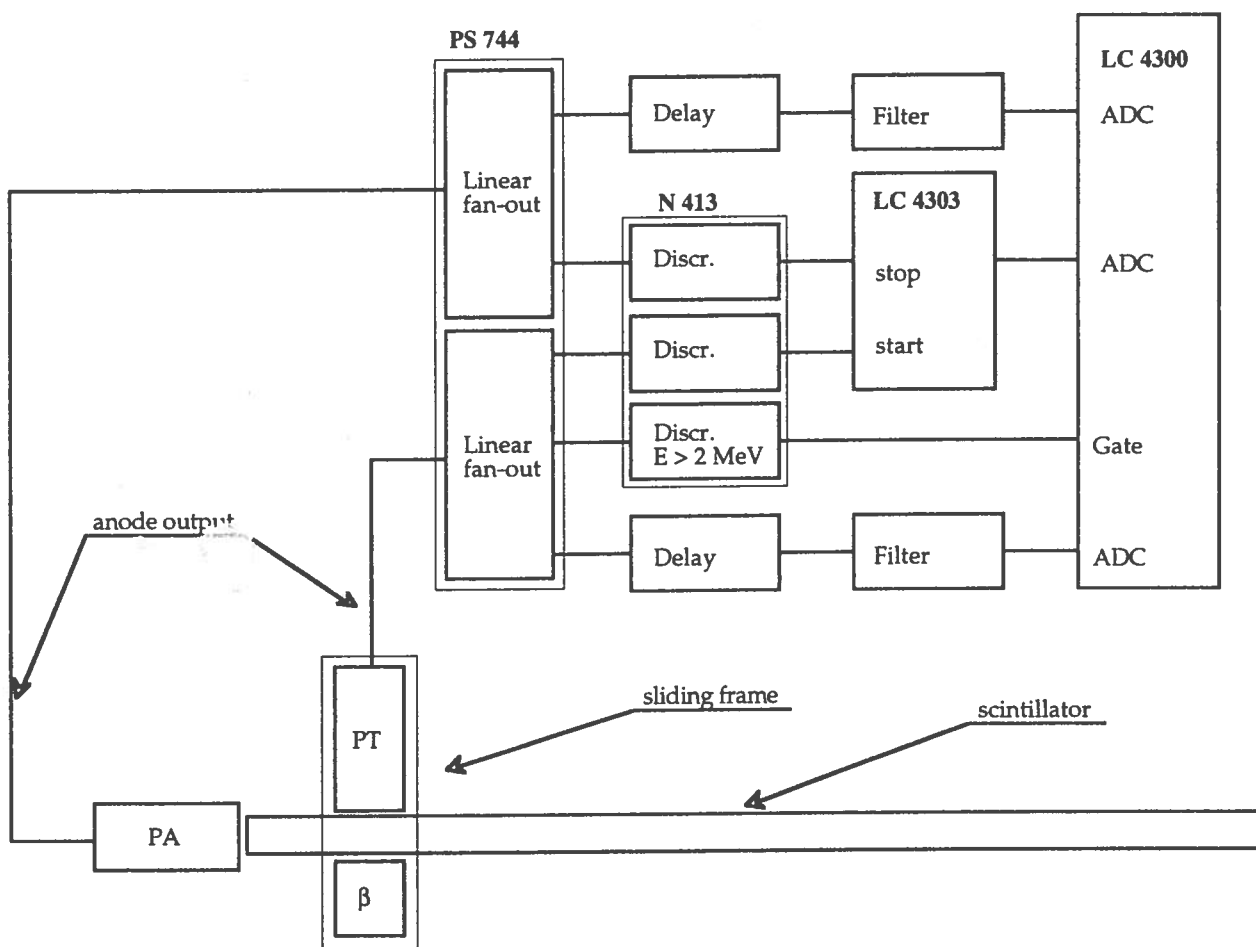


Figura 4 - Schema della logica di acquisizione.

Il banco di misura permette inoltre di misurare le correlazioni tra le correlazioni temporali ed il punto di passaggio della radiazione ionizzante o l'energia depositata dalla stessa nello scintillatore.

La memoria viene quindi azzerata per iniziare un nuovo ciclo di misura ed il motore posizionato alla stazione successiva mediante l'invio all'unità di controllo di una stringa di comando. Il programma richiede come input le dimensioni degli scintillatori (anche se solo la lunghezza viene usata per l'acquisizione) ed il codice relativo letto mediante una penna ottica per codici a barre.

#### **4. IL SISTEMA DI CONTROLLO DEL MOTORE PASSO-PASSO**

Il sistema è costituito da una parte di potenza costituita dalla scheda di gestione del motore passo-passo con relativa alimentazione e dal modulo di controllo che gestisce varie situazioni di allarme quali Power-Fail o fine-corsa e permette l'interfaccia con un terminale o porta terminale da VME. La parte di potenza fornisce, oltre ai segnali di azionamento del motore, una serie di sicurezze in caso di sovracorrente o sovratemperatura del motore. Tramite il modulo di controllo è possibile impostare la direzione del movimento ed il numero di passi da effettuare. E' possibile inoltre conoscere lo stato degli allarmi del motore. Il modulo di controllo permette di comandare il motore da terminale VT100 o porta seriale del processore VME tramite una serie di stringhe corrispondenti ai comandi più frequenti (numero di passi per movimento, direzione di movimento, esecuzione di movimento, posizionamento del motore alla posizione iniziale). L'esecuzione di un comando è confermata mediante un invio al terminale di un carattere di conferma differente per ogni comando. Il modulo di controllo è costituito da un cassetto standard NIM con un microprocessore INTEL 8052 ed interfacce sia seriale RS232 per il dialogo con il VME che parallela opto-isolata per la gestione della parte di potenza. Il software di controllo è costituito da un programma scritto in BASIC e residente nel modulo di controllo il quale interpreta le stringhe inviate tramite la porta RS232 e le converte in comandi eseguibili dalla parte di potenza. Inoltre, effettuato il controllo dell'avvenuta esecuzione del comando e verificato che non siano insorte condizioni di allarme, restituisce tramite la porta seriale un carattere significativo l'avvenuta esecuzione del comando.

#### **5. DISCUSSIONE DELLE MISURE**

Vogliamo brevemente analizzare la qualità delle misure effettuate con il banco di prova precedentemente descritto. A tal proposito riportiamo alcuni risultati relativi alla misura della lunghezza di attenuazione degli scintillatori, all'efficienza di vari sistemi di raccolta di luce ed agli effetti delle variazioni termiche sulle prestazioni degli scintillatori. Lasciamo comunque l'approfondimento e la discussione dei risultati ad altri lavori dedicati all'argomento ed in fase di stesura.



- Lunghezza di attenuazione: in figura 5 sono riportate le misure relative a due prototipi NE110A di lunghezza 380 cm e 400 cm rispettivamente. Nel grafico a) sono riportati, assieme al relativo fit esponenziale  $c(x) = c_0 e^{-x/\lambda}$  ed in funzione della posizione della sorgente, i valori della carica corrispondente ad una energia depositata nello scintillatore pari a 2.2 MeV mentre nel grafico b) sono riportati gli scarti relativi rispetto al fit. L'errore tipico sulla misura della lunghezza di attenuazione  $\lambda$  è di  $\approx 10$  cm. Il sistema di controllo ha permesso inoltre di evidenziare il seguente effetto: gli scarti riportati nel grafico b) mostrano un andamento oscillante attorno al valor medio dovuto essenzialmente ad una maggior luce trasmessa a grandi distanze nello scintillatore rispetto alle previsioni. Questo effetto è dovuto alla riflessione a  $180^\circ$  sulla superficie opposta a quella di contatto con il fototubo FA ed è amplificato dal valore di  $\lambda$  confrontabile con la lunghezza della barra di scintillatore. Un fit accurato, che tenga conto di questo effetto, del tipo  $c(x) = c_0 \left( e^{-x/\lambda} + \alpha e^{-(2L-x)/\lambda} \right)$ , dove  $L$  è la lunghezza della barra di scintillatore ed  $\alpha$  la frazione di luce riflessa, mostra infatti una riduzione degli scarti dal 5% riportato in figura al 2%.

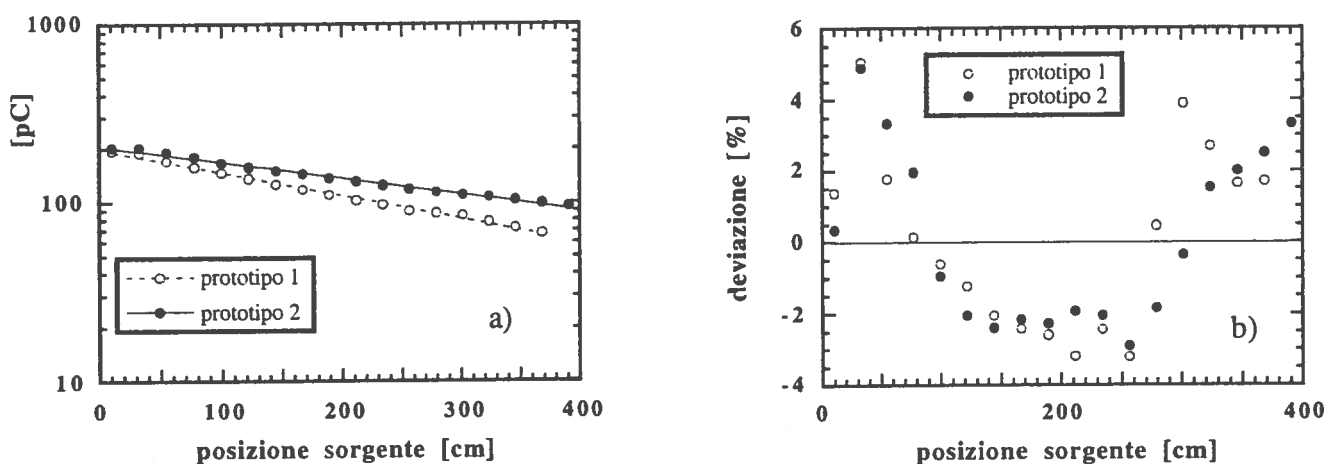


Figura 5 - a) Carica raccolta corrispondente ad una energia depositata nello scintillatore pari a 2.2 MeV e b) scarti relativi al fit esponenziale.

- Il sistema di raccolta di luce: sono state analizzate diverse configurazioni di guide di luce e fasci di fibre ottiche fino alla massima lunghezza di 100 cm richiesta per il modulo. In fig.6 è riportato il riassunto delle misure effettuate sui vari prototipi. Le misure hanno permesso di evidenziare la migliore efficienza delle guide nella raccolta di luce. E' stato inoltre possibile studiare le fluttuazioni fra i vari prototipi ed eventuali effetti di assorbimento della luce.

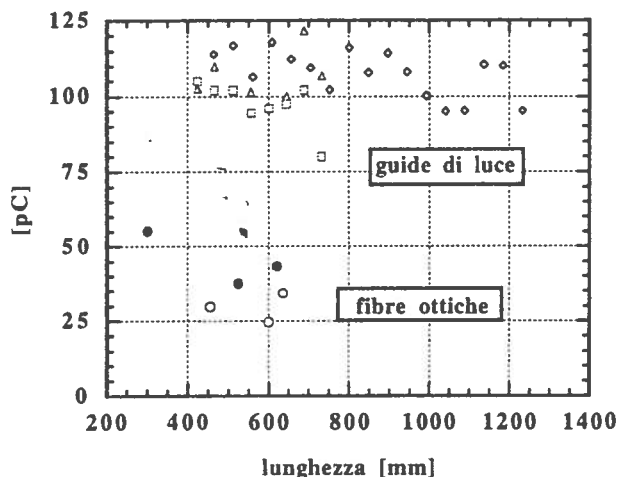


Figura 6 - Trasmissione luminosa per guide di luce e fasci di fibre ottiche in funzione della lunghezza.

- L'effetto della fasciatura dello scintillatore: grazie alla possibilità di raffreddare o riscaldare l'interno della scatola nell'intervallo 5°-30°, è stato possibile vedere l'effetto delle deformazioni lineari dello scintillatore soggetto alle stesse condizioni di carico di quelli montati nel modulo del calorimetro in funzione dei diversi tipi di materiale utilizzato per la fasciatura. In particolare abbiamo potuto verificare che sono accettabili tutti quei materiali che mantengono inalterata la riflessione totale sulle superfici dello scintillatore.

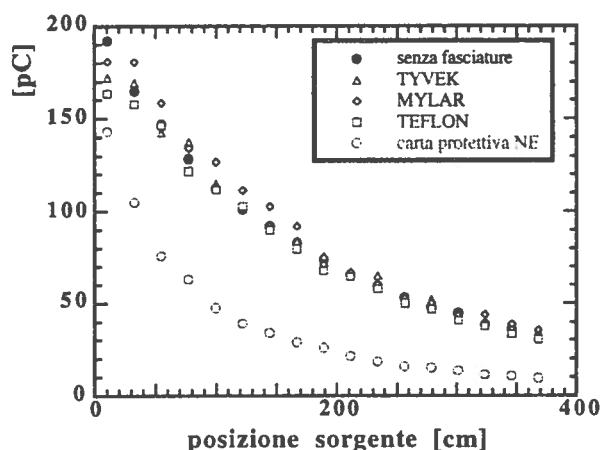


Figura 7 - Effetto della fasciatura sulle proprietà di trasmissione luminosa di uno scintillatore NE110 per vari materiali.

## 6. CONCLUSIONI

La costruzione del banco di prova descritto in questo rapporto ha permesso alla collaborazione AIACE di effettuare i tests necessari per la scelta degli scintillatori e del sistema di raccolta di luce per i moduli del calorimetro elettromagnetico dell'esperimento AIACE. In particolare ha permesso di effettuare misure comparative sui diversi prototipi ricevuti dalle case costruttrici o realizzati in laboratorio, ha permesso inoltre di definire un criterio oggettivo e riproducibile per il controllo della qualità degli scintillatori una volta iniziata la produzione. Una particolare attenzione è stata prestata alla realizzazione di una sistema facilmente utilizzate dal personale addetto al controllo di qualità curando in particolar modo le sicurezze sull'alimentazione dei fototubi e l'automatismo dei test sugli scintillatori.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M.Anghinolfi et al., Proceedings of the *International Workshop on Flavour and Spin in Hadronic and Electromagnetic Interactions*, Torino September 21-23, 1992, ed. by F.Balestra, R.Bertini and R.Garfagnini, Italian Physical Society vol.39 (1993) p.237.
- [2] J.J.Domingo, Proceedings of the *5th Workshop on Perspectives in Nuclear Physics at Intermediate Energies*, Trieste May 6-10, 1991, ed. by S.Boffi, C.Ciofi degli Atti and M.Giannini, World Scientific (1992) p.260.