

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sezione di Lecce

INFN/TC-97/05
6 Marzo 1997

R. Perrino, E. Cisbani, R. De Leo, S. Frullani, F. Garibaldi, M. Iodice, L. Lagamba, A. Leone,
G.M. Urciuoli:

**MISURE DELLA LUNGHEZZA DI ATTENUAZIONE EFFICACE IN BARRE DI
SCINTILLATORE PLASTICO BC408**

PACS.: 29.40.Mc

*SIS-Pubblicazioni
dei Laboratori Nazionali di Frascati*

**MISURE DELLA LUNGHEZZA DI ATTENUAZIONE EFFICACE IN BARRE
DI SCINTILLATORE PLASTICO BC408**

R. Perrino¹⁾, E. Cisbani²⁾, R. De Leo³⁾, S. Frullani²⁾, F. Garibaldi²⁾,
M. Iodice²⁾, L. Lagamba³⁾, A. Leone¹⁾, G.M. Urciuoli²⁾

¹⁾INFN - Sezione di Lecce - via per Arnesano, 73100 Lecce, Italy

²⁾INFN - Sezione di Sanità - V.le Regina Elena, 199 - 00161 Roma, Italy

³⁾Dipt. Interateneo di Fisica and INFN - Sezione di Bari - via Amendola, 173 - Bari, Italy

Abstract

La risposta luminosa di barre di scintillatore plastico veloce BC408 di lunghezza 200 cm, larghezza 4 cm e spessori 0.5, 1, 2, 4 cm è stata misurata con fasci di pioni, protoni e positroni da 2 GeV/c attraversanti lo spessore delle barre. La risultante lunghezza di attenuazione e' parametrizzata in funzione dell'area di sezione.

La collaborazione ELETTRIO ha come scopo la costruzione di rivelatori di piano focale per gli spettrometri in alta risoluzione della Hall A presso il Thomas Jefferson National Accelerator Facility (TJNAF). Nell'ambito di tale attività sono stati condotti alcuni studi sulla caratterizzazione degli scintillatori di trigger. L'uso di scintillatori plastici veloci consente l'applicazione del metodo del tempo di volo per la identificazione di particelle. Una segmentazione dei piani di scintillatori per tale applicazione è necessaria a causa dell'attesa alta densità di particelle incidenti negli spettrometri. Allo scopo di caratterizzare le proprietà di temporizzazione e le caratteristiche della resa luminosa in barre lunghe e sottili di scintillatore plastico, sono state realizzate misure di risoluzione temporale e di lunghezza di attenuazione in barre di scintillatore plastico BC408 a sezione rettangolare della lunghezza di 200 cm e con aree di sezione da 2 a 16 cm² (Tab. I). Nel presente rapporto presentiamo alcuni aspetti dello studio delle lunghezze di attenuazione misurate.

Le misure sono state effettuate in modo parassitico durante un test di efficienza dei contatori Cherenkov ad aerogel di silice e a gas CO₂ [1,2,3] della citata collaborazione ELETTRIO, presso l'area sperimentale T10 del PS al CERN [4]. Una visione schematica dell'apparato sperimentale, con i contatori rilevanti per il presente lavoro, è mostrata in Fig. 1.

Il fascio da 2 GeV/c, composto di pioni, protoni e positroni, viene definito da tre *finger counters* di scintillatore plastico veloce BC408: S1 (5x5x1 cm³) posto nel punto di ingresso del fascio nell'area; S2 (5x5x1 cm³) alla distanza di 10.25 m; S3 (10x10x1 cm³) alla distanza di 13.25 m da S2. Le barre da misurare sono poste una per volta tra i fingers S2 ed S3, ed sono installate su un supporto a binario scorrevole per consentire una agevole variazione della posizione di incidenza del fascio. Le barre campione sono state affacciate al fascio sempre con la faccia di 200x4 cm², in modo da lasciare come unico parametro lo spessore (da 0.5 a 4.0 cm). L'impulso luminoso generato nelle barre è letto ai due lati destro (R) e sinistro (L) da fotomoltiplicatori Hamamatsu H2431. L'alimentazione dei due fototubi è aggiustata per equalizzare le altezze degli impulsi a destra e a sinistra per il fascio incidente nella posizione centrale delle barre. Nella Fig. 2 è presentato lo schema del read-out dei segnali. Il trigger, costituito dalla coincidenza dei segnali dei tre finger counters S1, S2 ed S3, fa partire i TDC per la misura dei tempi, ed apre la GATE per l'integrazione della carica sugli ADC. I segnali delle barre passano da uno splitter: delle due uscite, una è discriminata, ritardata e va a dare lo STOP ai TDC; l'altra viene opportunamente ritardata entro la GATE e convertita in un sistema LeCroy CAMAC FERA. I dati, accumulati in moduli di memoria, sono poi trasferiti su disco con un programma basato su computer MacIntosh, che consente inoltre una analisi on-line dei dati.

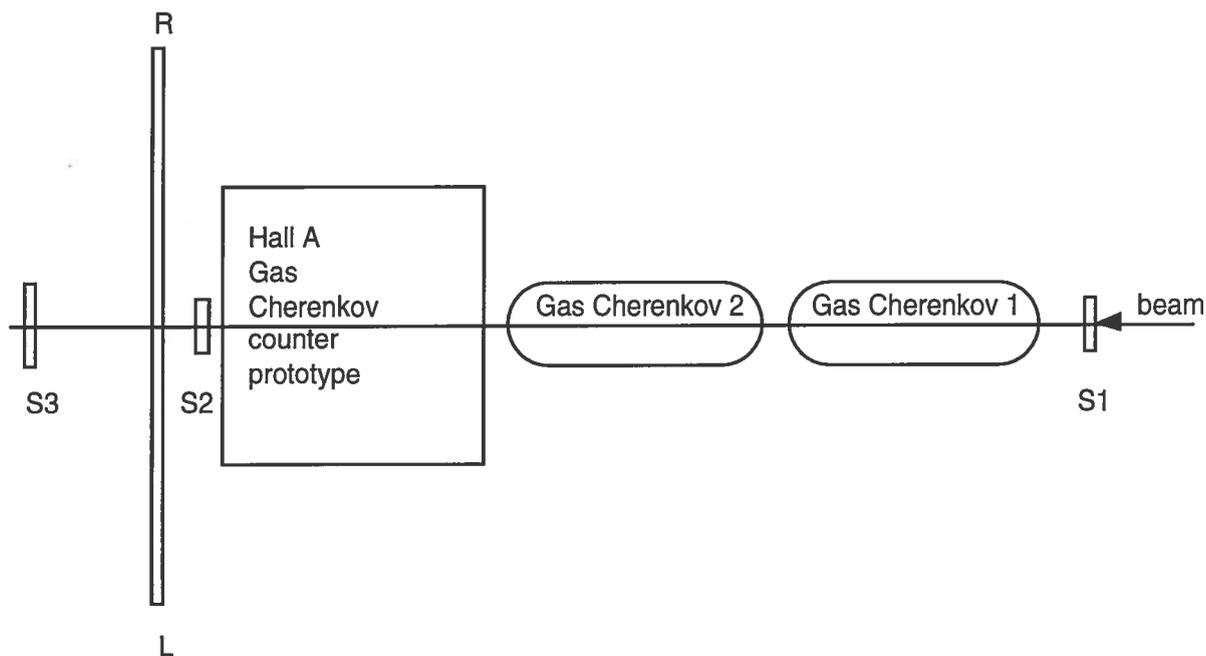


Fig. 1 – Schema dell'apparato sperimentale.

Tab. I – Sommario delle barre campione di BC408 misurate e dei rivestimenti usati.

Campione	Barra	Rivestimento	Scintillatore: BC408
A	200x4x4.0 cm ³	Teflon+Tedlar	Lunghezza di attenuazione di bulk: 380 cm
B	200x4x2.0 cm ³	Teflon+Tedlar	Indice di rifrazione: 1.58
C	200x4x1.0 cm ³	Teflon+Tedlar	
D	200x4x0.5 cm ³	Teflon+Tedlar	

La discriminazione delle diverse particelle componenti il fascio (pioni, positroni e protoni) è resa possibile dalla informazione combinata del tempo di volo S1-S3 (su una base di volo lunga 23.50 m), che consente la individuazione dei protoni (Fig. 3), e dei due contatori Cherenkov a gas, che consentono la individuazione dei positroni. In aggiunta a questi segnali, è stato anche usato il segnale del prototipo di Cherenkov a CO₂ per la Hall A del TJNAF (Fig. 4).

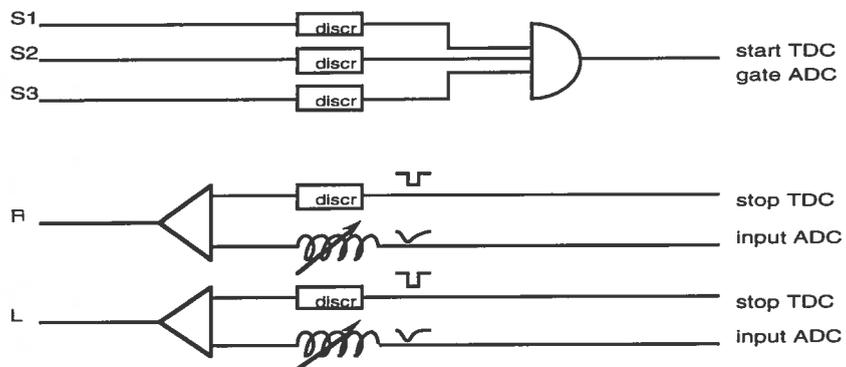


Fig. 2 – Definizione del trigger e dei segnali misurati.

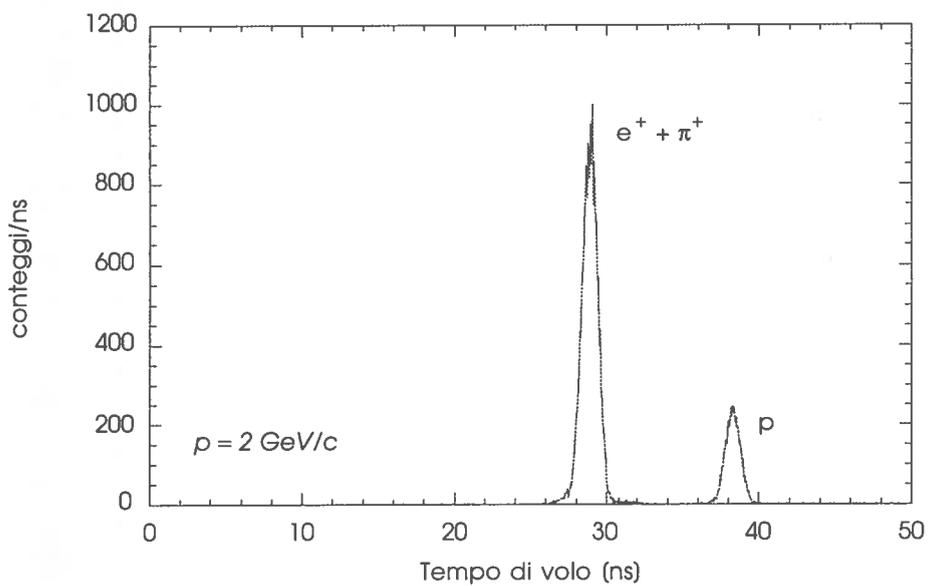


Fig. 3 – Spettro del tempo di volo S1-S3 per fascio di momento $p=2 \text{ GeV}/c$ su una base di volo di 23.50 m.

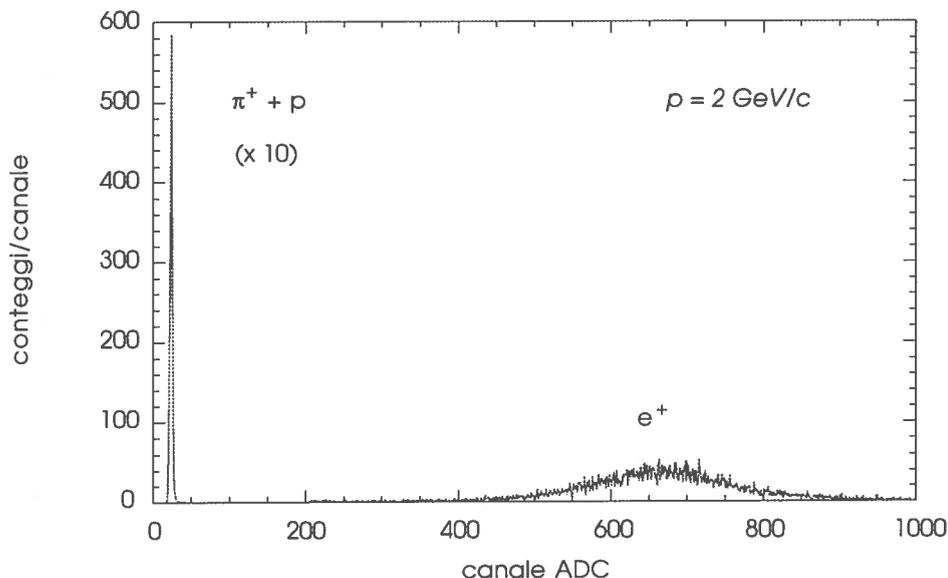


Fig. 4 – Spettro dell'altezza d'impulso per il prototipo di contatore Cherenkov a CO_2 usato per la discriminazione dei positroni (sopra soglia) da pioni e protoni (sotto soglia).

Per un dato evento di scintillazione in una barra alla distanza lineare x dal fotomoltiplicatore, la intensità del segnale misurata in uscita dal fototubo è proporzionale alla intensità della luce prodotta, e attenuata secondo la regola:

$$Y = Y_0 e^{-x/\lambda} \quad (1)$$

con λ lunghezza di attenuazione efficace. La lunghezza λ , come dettagliato nel seguito, risulterà dipendente dalla lunghezza di attenuazione caratteristica del materiale λ_B (*bulk attenuation length*), dalla geometria della barra, e dalle proprietà di riflettività delle pareti determinate dalla rifinitura e dal rivestimento usato.

La resa luminosa Y riportata nel presente lavoro e' ottenuta a partire dagli spettri di altezza d'impulso misurati alle due estremita' della barra, un esempio dei quali e' visualizzato nella Fig. 5. Dagli spettri destro e sinistro misurati alla stessa distanza x dal fototubo, si determina il valor più probabile della distribuzione, poi si calcola il valore finale quotato attraverso la media pesata. Gli errori quotati sono in parte statistici, in parte (5%) sistematici. Questi ultimi sono stati stimati dalla riproducibilita' delle condizioni di misura dopo alcuni successivi assemblaggi e disassemblaggi del sistema fototubi-scintillatore di prova.

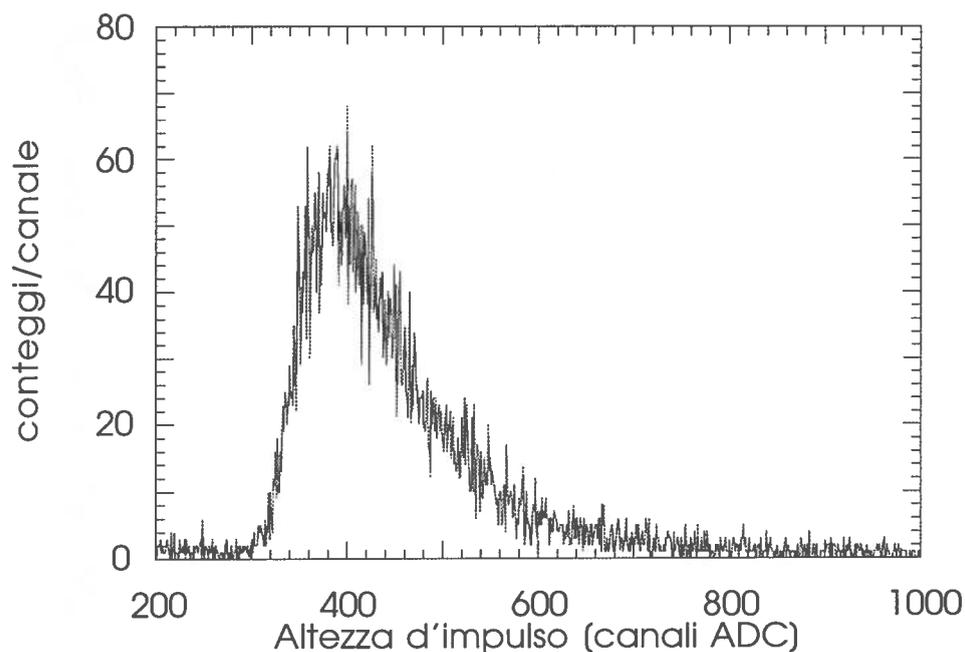


Fig. 5— Spettro tipico dell'altezza d'impulso dello scintillatore per pioni incidenti a $p=2 \text{ GeV}/c$.

Le curve di attenuazione misurate per la barra campione A della Tab. I per le diverse particelle del fascio incidente, sono rappresentate nella Fig. 6. I punti sono stati normalizzati in $x = 10 \text{ cm}$, per meglio evidenziare le eventuali variazioni di pendenza. Un analogo andamento e' mostrato dagli altri campioni misurati. Nella successiva Fig. 7, e' messa a confronto la diversa resa luminosa delle quattro barre per i soli pioni incidenti. La lunghezza di attenuazione efficace λ dedotta, in quest'ultimo insieme di dati, usando una procedura di *best-fit* con l'Eq. (1) e' mostrata nella Tab. II per le quattro barre campione.

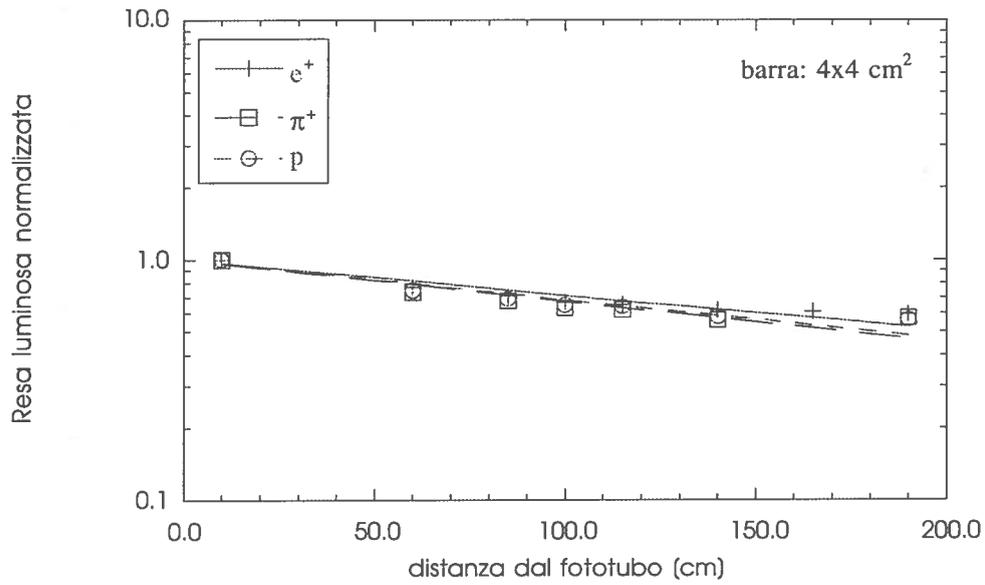


Fig. 6 – Curve di attenuazione misurate per il campione A descritto nella Tab. I. Le curve rappresentano l'adattamento della Eq. (1) ai dati sperimentali.

Tab. II – Lunghezza di attenuazione efficace dedotta dalle curve di attenuazione misurate per i pioni incidenti a 2 GeV/c.

Campione	λ [cm]	r [cm]
A	330 ± 6	2.257
B	204 ± 7	1.596
C	191 ± 5	1.128
D	145 ± 6	0.797

Allo scopo di interpretare i dati sperimentali si è adottato un semplice modello della attenuazione del segnale luminoso lungo la barra [5]. L'attenuazione è, in tale modello, attribuita alla combinazione di due effetti distinti: le proprietà di attenuazione del materiale scintillatore, caratterizzate dalla sua lunghezza di attenuazione (di *bulk*) λ_B ; le proprietà di riflettività delle facce dello scintillatore e del rivestimento usato, caratterizzate, nell'insieme, da un *coefficiente di riflettività R*.

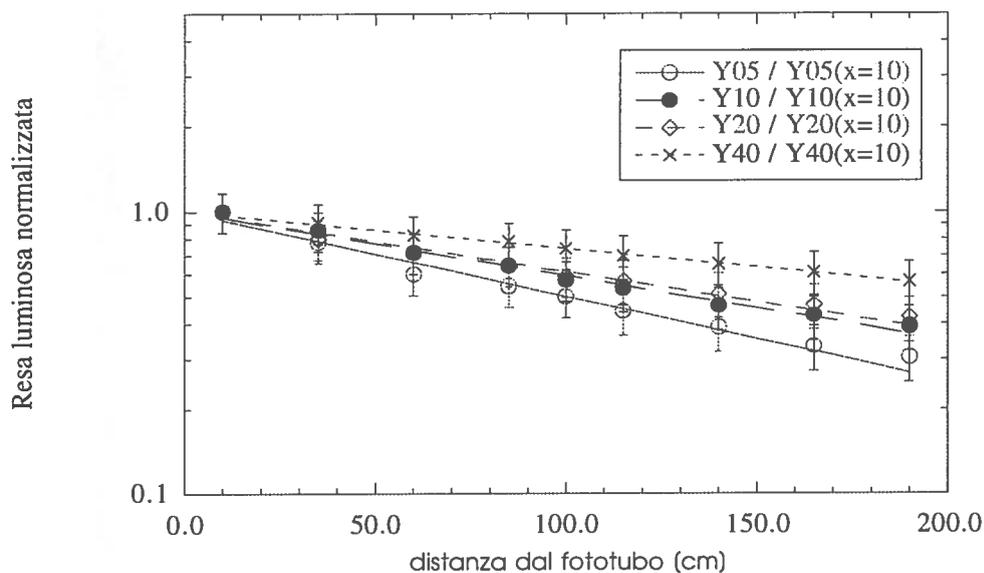


Fig. 7 – Curve di attenuazione misurate per i campioni descritti nella Tab. I. Le curve rappresentano l'adattamento della Eq. (1) ai dati sperimentali.

Sulla base di quanto stabilito possiamo scrivere:

$$Y = Y_0 e^{-d/\lambda_B} R^n \quad (2)$$

dove d è la distanza totale media percorsa dalla luce per una scintillazione che avviene alla distanza lineare x dal fototubo ed n è il numero medio di riflessioni che la luce subisce prima di giungere al fototubo. Per poter descrivere i risultati secondo questo semplice modello occorre stabilire una dipendenza delle grandezze d ed n dalla distanza x dal fototubo. Questo fa entrare in gioco la geometria della barra. Se si adotta per la barra con sezione rettangolare di area S una geometria equivalente a sezione circolare di raggio $r = \sqrt{S/\pi}$ (i valori di r per le quattro barre studiate sono riportati nell'ultima colonna della Tab. II), allora è possibile semplificare il problema. Infatti, se consideriamo la distanza media d come risultante di tutti i tratti di spezzata che la luce percorre fra una riflessione e la successiva, procedendo verso il fotomoltiplicatore, possiamo introdurre un angolo medio θ tale che $2nr = d \sin\theta$ e $x = d \cos\theta$. Risulta, in tal caso, la seguente dipendenza di d ed n dalla distanza lineare x dal fototubo:

$$d = \frac{x}{\cos\theta} \quad n = \frac{x}{2r} \tan\theta \quad (3)$$

e, conseguentemente, si può assumere che la attenuazione del segnale prodotto a distanza x dal fototubo si descriva sostituendo le (3) nella Eq. (2):

$$Y = Y_0 e^{-x/\lambda_B \cos \theta} R^{x/2r \tan \theta} \quad (4)$$

Combinando la (1) e la (4), si ottiene una relazione fra λ ed r , attraverso i parametri di modello R e θ :

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_B \cos \theta} + \frac{1}{2r} \tan \theta \cdot \ln \left(\frac{1}{R} \right) \quad (5)$$

Il primo termine della Eq. (5) domina per sezioni trasversali più grandi, mentre il secondo domina per barre più sottili. Dalla Fig. 8, nella quale i valori di $1/\lambda$ misurati sono rappresentati in funzione dei valori di $1/r$ corrispondenti alle barre campione (vedi Tab. II) ci è possibile individuare un intervallo di variazione dei parametri R e θ , in particolare $R = 0.95-0.99$, e $\theta = 4^\circ-35^\circ$. Una più precisa determinazione di θ ed R sarebbe possibile solo estendendo le misure a valori di r nella regione di transizione dalla condizione di *bulk* a quella di barra.

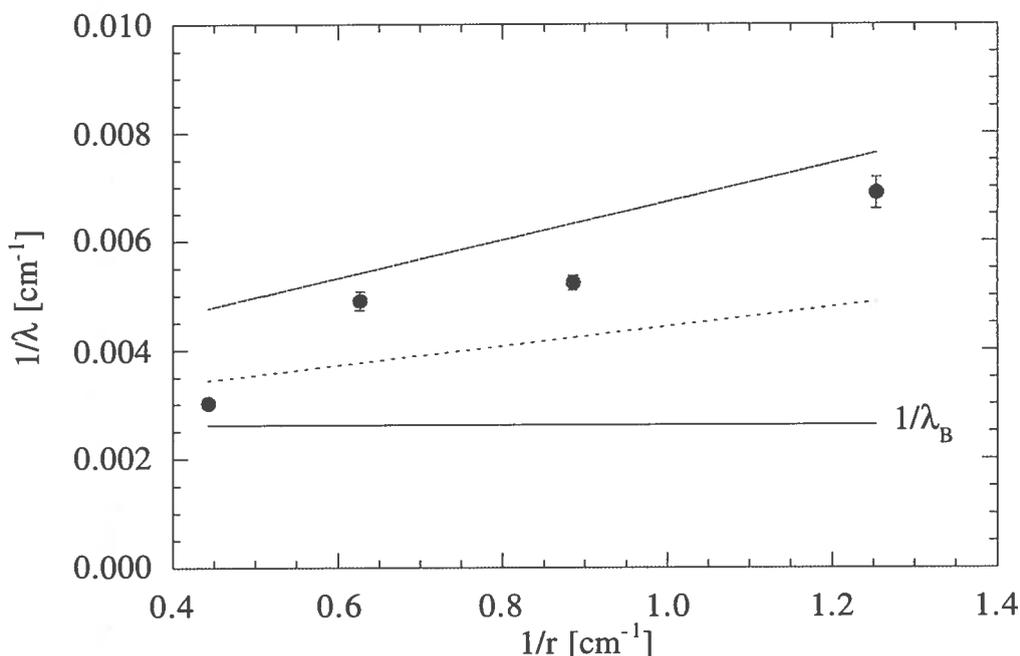


Fig. 8 – Lunghezze di attenuazione dedotte dai fit di Fig. 7, in funzione del parametro r . Le rette individuano gli intervalli di variazione di R e θ che riproducono i valori misurati.

In conclusione, in questo rapporto abbiamo investigato l'attenuazione della luce in barre di scintillatore plastico BC408 lunghe 2 m, larghe 4 cm e con spessori 0.5, 1.0, 2.0 e 4.0 cm. La grandezza caratteristica, la lunghezza di attenuazione efficace λ , e' stata determinata misurando la luce prodotta nello scintillatore da un fascio incidente di impulso $p = 2 \text{ GeV}/c$, raccolta da fototubi alle due estremita' delle barre, variando il punto di impatto. I valori misurati di λ sono stati interpretati con un modello parametrico della propagazione della luce nello scintillatore, che prevede una relazione semplice fra λ e l'area di sezione S

References

- [1] Conceptual Design Report CEBAF Basic Experimental Equipment, 1990.
- [2] L.C. Alexa *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A365 (1995) 299-307.
- [3] G.J. Lolos *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A, (1997), in print.
- [4] K. Batzner *et al.*, CERN PS/PA-EP Note 88-26.
- [5] M. Kurata *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A349 (1994) 447.