



Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea Triennale in  
Fisica

Tesi di Laurea

**Caratterizzazione di fotomoltiplicatori di nuova concezione per  
esperimenti di grandi dimensioni dedicati allo studio delle  
oscillazioni di neutrini**

**Relatore**  
Alberto Garfagnini

**Correlatore**  
Riccardo Brugnera

**Laureando**  
Enrico Lusiani

Anno Accademico  
2015-2016

## Sommario

## Indice

<b>1</b>	<b>Test Chapter</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analisi Dati</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Studio della risoluzione temporale al variare dell'energia</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>appendice test</b>	<b>9</b>

## 1 Test Chapter

Questo è un capitolo e va in capitoli. Lo 01 davanti indica che è il primo. Può includere altri file, tipo

questo qua

Il percorso non è importante, ma deve essere relativo alla cartella latex, dove c'è il file principale e non deve essere dentro chapters or appendix

Può anche includere immagini, che devono essere messe in img nella cartella principale, e vanno incluse con

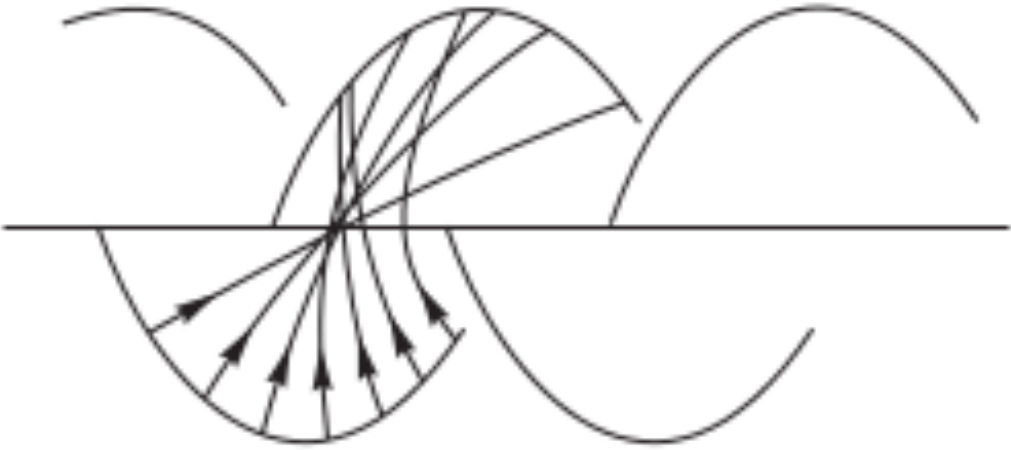


Figura 1: *testimage*

## 2 Analisi Dati

Capitolo inserito da Davide per l'analisi dati, voglio semplicemente vedere se la mia parte funziona, non prendetevela ragazzih

## 3 Studio della risoluzione temporale al variare dell'energia

Una volta ultimata la calibrazione, si è voluto andare a stimare la risoluzione temporale dell'apparato al variare dell'energia depositata sui rivelatori. Per farlo, si sono analizzati i dati con riferimento all'energia depositata all'interno dei rivelatori: quando la media dell'energia depositata nei due rivelatori era sopra una certa soglia (o al di fuori della finestra prescelta) si è rimosso tale dato dal campione: ripetendo più volte questo procedimento al variare della soglia e al variare della finestra è stato possibile stimare la risoluzione temporale. Tale risoluzione è stata stimata andando a fare un'interpolazione gaussiana dei dati ottenuti in uscita dal TAC, selezionati come precedentemente descritto. Dato che tale calcolo è stato fatto per molti intervalli di energia, non si riportano qui tutti i grafici creati ma si possono trovare nelle appendici, mentre nella tabella si possono leggere i risultati ottenuti. Nel grafico sottostante, inoltre, si possono vedere i risultati dell'analisi, cioè la risoluzione al variare dell'energia rappresentati su un grafico. Si vede con evidenza che la risoluzione tende a decrescere all'aumentare dell'energia. Si vuole utilizzare l'apparato a disposizione per misurare la velocità della luce. Si noti che con tale apparato è possibile misurare solamente differenze di tempi e non tempi assoluti (vista tutta l'elettronica utilizzata). Le misure sono state prese come descritto nell'analisi dati, e a disposizione quindi si hanno:

- la distanza tra i due rivelatori
- i diversi ritardi nella rivelazione nelle due diverse configurazioni
- le dimensioni del piombo contenente la sorgente
- il datasheet dei rivelatori

Si cerchi una formula per ricavare la velocità della luce date queste informazioni. Il ragionamento farà uso di due approssimazioni: la sorgente è puntiforme lungo la direzione di volo dei fotoni rivelati (assumibile in quanto consisteva in un disco posto in maniera perpendicolare a tale direzione) e si può pensare il fotone venga rivelato sempre nella stessa posizione dentro il rivelatore.

Con tali ipotesi, si considerino le misure di lunghezze con la seguente notazione:

- $R_1$  indica lo spazio medio percorso dai fotoni nel rivelatore prima di interagire con lo stesso
- $x_1$  indica la distanza tra la placca in piombo più vicina e il rivelatore 1
- $\delta_1$  indica lo spessore della placca in piombo più vicina al rivelatore 1

**Tabella 1:** La risoluzione temporale in funzione dell'energia

intervallo energetico	centroide	errore	sigma	errore	risoluzione
0-100	33.608	0.006	0.494	0.007	0.0346
0-200	33.670	0.002	0.347	0.002	0.0243
0-300	33.3778	0.0009	0.311	0.001	0.0219
0-500	33.6811	0.0006	0.2945	0.0007	0.0206
0-600	33.6880	0.0005	0.2899	0.0005	0.0203
0-700	33.6962	0.0004	0.2705	0.0005	0.0189
0-800	33.7002	0.0004	0.2498	0.0005	0.0175
0-900	33.7018	0.0003	0.2369	0.0003	0.0166
0-1000	33.7033	0.0003	0.2280	0.0003	0.0159
50-150	33.640	0.002	0.399	0.002	0.0279
150-250	33.6382	0.001	0.306	0.001	0.0214
250-350	33.6825	0.0009	0.281	0.001	0.0196
450-550	33.6965	0.0008	0.2707	0.0009	0.0189
550-650	33.7038	0.0007	0.2687	0.0008	0.0188
650-750	33.7069	0.0006	0.2261	0.0007	0.0158
750-850	33.7108	0.0005	0.1763	0.0005	0.0123
850-950	33.7194	0.0005	0.1503	0.0004	0.0105
950-1050	33.7245	0.0005	0.1412	0.0004	0.0099

E analoga notazione per quanto riguarda il rivelatore 2. In poche parole le ipotesi fatte consistono nel fatto che  $R_1 = R_2$  e che questi valori si possono prendere come esatti.<sup>1</sup>

A questo punto, se la configurazione è la A, si possono descrivere i tempi di percorrenza dei fotoni prima che vengano rivelati come<sup>2</sup>

$$t_{1A} = \frac{\delta_1 + nR_1}{c} \quad t_{2A} = \frac{\delta_2 + x_2 + nR_2}{c}$$

Ove  $n$  indica il coefficiente di rigrazione all'interno del rivelatore stesso. Quindi il TAC rivelerà l'intervallo temporale:

$$\delta t_A = t_{2A} - t_{1A} = \frac{\delta_2 + x_2 + nR_2 - \delta_1 - nR_1}{c}$$

Analogamente per la configurazione B si trova:

$$t_{1B} = \frac{\delta_1 + x_1 + nR_1}{c} \quad t_{2B} = \frac{\delta_2 + nR_2}{c}$$

<sup>1</sup>In realtà, questa ipotesi viene verificata nel limite delle infinite misure; dato che il campione preso è sufficientemente grande, si suppone essa sia valida

<sup>2</sup>;

## Risoluzione al variare dell'energia

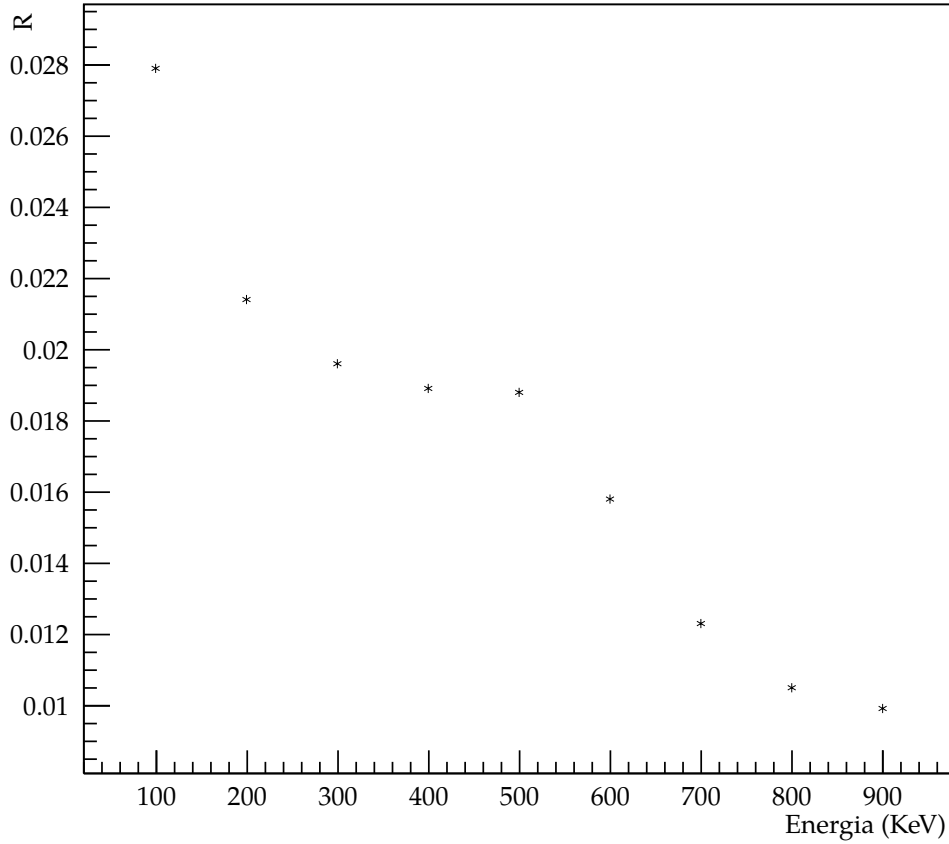


Figura 2: cobalto risoluzioni

e l'intervallo rilevato dal TAC sarà:

$$\Delta t_B = t_{2B} - t_{1B} = \frac{\delta_2 + nR_2 - \delta_1 - x_1 - nR_1}{c}$$

A questo punto, però, questi due intervalli non hanno senso presi singolarmente, in quanto non rivelano effettivamente un intervallo temporale ma il tempo riferito ad uno zero che, sebbene non sia noto oggettivamente, è lo stesso per entrambe le misure (infatti non si è toccato l'apparato strumentale se non per spostare la sorgente racchiusa tra le placche di piombo). Perciò ha senso fisico la loro differenza, che si può stimare con facilità:

$$\Delta t = \Delta t_A - \Delta t_B = \frac{\delta_2 + x_2 + nR_2 - \delta_1 - nR_1 - \delta_2 - nR_2 + \delta_1 + x_1 + nR_1}{c} = \frac{x_1 + x_2}{c}$$

Perciò per stimare la velocità della luce è sufficiente andare a misurare la distanza dei due rivelatori a meno delle placche di piombo e la distanza temporale tra i due picchi nei grafici calibrati del TAC. Però, in sede di esecuzione dell'esperimento, non si è effettivamente misurata quella distanza ma solamente le distanze tra la sorgente e i rivelatori nelle due configurazioni, quindi si ha una stima di  $\delta$  e una stima di  $2 * \delta + x$  per i due casi.



Si venga alla vera e propria analisi dati: si vuole applicare la formula, appena dimostrata:

$$c = x_1 + x_2 \Delta t$$

si ragioni sul numeratore, cioè la misura di lunghezza: si conoscono i valori, misurati con il metro:

$$d = 173.2 \text{ cm} \quad \delta = 3.7 \text{ cm}$$

ove  $d$  indica la distanza tra i due rivelatori e  $\delta$  indica le misure (uguali) dei blocchi di piombo. Ora si è interessati a  $x_1 + x_2$ , per motivi geometrici si può riscrivere in funzione delle variabili misurate come:

$$x_1 + x_2 = 2(d - \delta)$$

Come errore sulle variabili si considera un errore triangolare associato al fatto che il metro aveva una scala dei millimetri, quindi si ha

$$\sigma_d = \sigma_\delta = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{6}} = 0.2 \text{ mm}$$

SOra si pensi al denominatore dell'equazione per la velocità della luce, cioè la differenza tra le distanze temporali nelle due diverse configurazioni dell'esperimento. Si riscriva tenendo conto della calibrazione:

$$\Delta t = \Delta t_A - \Delta t_B = m \Delta t_A + q - m \Delta t_B - q = m(\Delta t_A - \Delta t_B)$$

Ove  $m$ ,  $q$ , sono i coefficienti della calibrazione stimati nelle sezioni precedenti. I due picchi si possono vedere, già calibrati, nella figura sottostante.

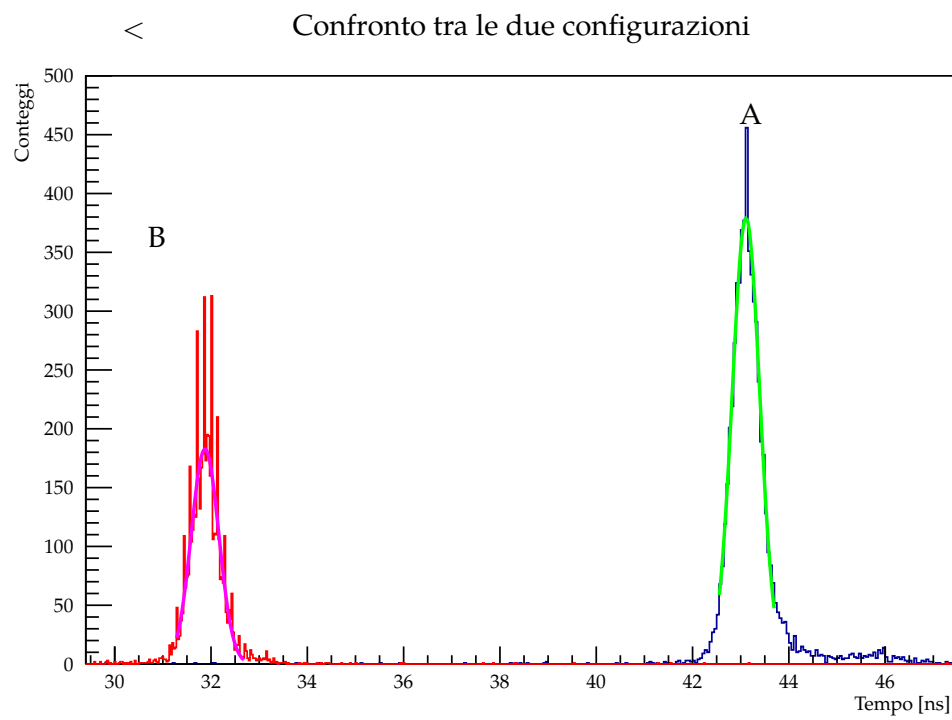
Nonostante questa figura sia utile da vedere in quanto calibrata, è necessario operare con i centroidi non calibrati se si vuole avere un'analisi che tengo conto anche della correlazione degli errori di calibrazione. Quindi, nella tabella sottostante, si riportano i valori dei centroidi sia prima della calibrazione (quindi in canali) che dopo la calibrazione (e quindi in nanosecondi), con gli errori presentati come errori sui parametri dell'interpolazione fatta:

Configurazione	Valore in canali	Errore	Valore in nanosecondi	Errori
A	1647.3	0.3	43.110	0.005
B	1194.2	0.2	31.867	0.005

Presentati questi dati, è possibile passare alla vera e propria stima della velocità della luce, alla quale è ovviamente necessario associare un errore. Dati i preamboli fatti, si può considerare la formula (espansa in modo da risolvere i problemi di correlazione, perciò è possibile ottenere l'errore tramite semplice propagazione lineare):

$$c = \frac{2(d - \delta)}{m(\Delta t_A - \Delta t_B)_{\text{canali}}} = (2.95 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

Si noti che non si sta considerando correlazione tra le misure spaziali (cioè si considera il metro supponendo che la scala su di esso stampata sia perfetta)

Figura 3: *light*

## 4 appendice test

Le appendici invece vanno qua, con la stessa convenzione di numeri che per i capitoli