



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>6</b>
<b>3</b>	<b>Studio della risoluzione temporale al variare dell'energia</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Velocità della luce</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>appendice test</b>	<b>12</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

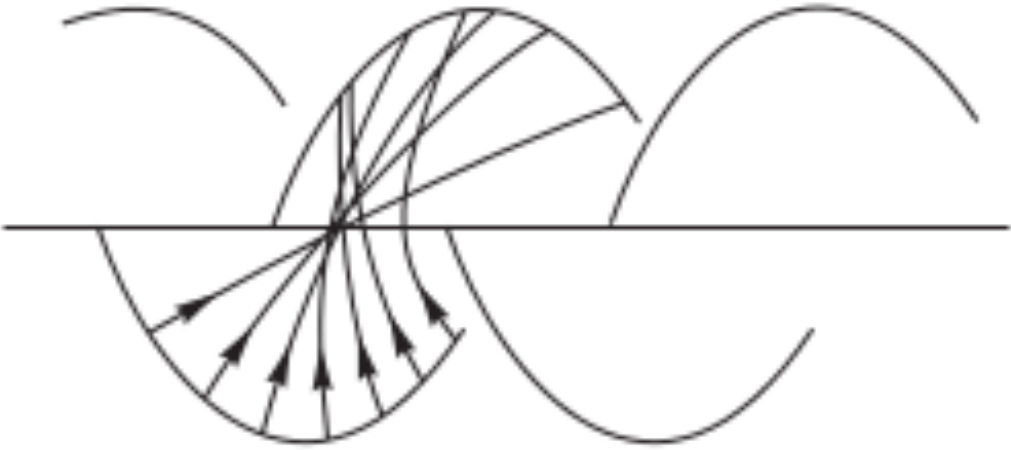


Figura 1: *testimage*

L'apparato strumentale consiste in una serie di moduli (amplificatori di alto voltaggio, un fan in/out, un amplificatore analogico, una cassetta di ritardi, un CFD e un TAC), due scintillatori organici, un oscilloscopio, un ADC e un digitizer. Durante la prima sessione di laboratorio si è preso confidenza con tutte le parti dell'apparato strumentale e si è fatta la calibrazione di tale apparato. Come prima cosa si sono collegati i rivelatori al fan in/out e il segnale è stato mandato all'oscilloscopio, in modo che fosse possibile vedere il segnale e misurarne ampiezza, tempo di salita e tempo di discesa e rumore. Poi si è ripetuto il procedimento collegando il rivelatore, e si sono anche collegati il CFD e il TAC per la prova della misura di tempo. Una volta capito il funzionamento dei vari moduli, si è proceduto con la regolazione della soglia: dopo aver collegato tutti i moduli all'oscilloscopio si è visto il segnale del del CFTD in concomitanza con il segnale in uscita direttamente dall'amplificatore: in questo modo è stato possibile verificare che non ci fossero falsi eventi, e regolando un trimmer si è regolata dal soglia del CFTD in modo che fosse la più bassa possibile ma senza registrare falsi eventi a causa del rumore elettronico. Infine si è preso un file di prova per verificare il corretto funzionamento del sistema di misura.

Subito dopo si è passati alla vera e propria calibrazione in energia, per prendere i dati si è impostato il sistema di acquisizione in modo che triggerasse prima sui segnali provenienti dal primo rivelatore e poi su quelli provenienti dal secondo rivelatore. Si sono quindi acquisiti dati per una durata di circa 15 minuti l'uno, che contenessero entrambe le spalle Compton del decadimento del sodio, da usare per la calibrazione in energia.

Durante la seconda sessione si è passati alla calibrazione in tempo e alla misura del ritardo dei cavi forniti. Per farla, si sono prese misure analoghe a quelle prese per la calibrazione in energia andando a modificare i ritardi introdotti, e poi si sono studiati i grafici risultanti. Dopodiché si sono misurati i ritardi legati ai cavetti aggiungendoli in serie all'uscita della scatola dei ritardi, e si sono presi altri campioni.

Successivamente si è passati allo studio della risoluzione temporale in funzione del delay: si è cambiato il cavo del delay interno del CFTD e si sono studiate le risoluzioni al variare della lunghezza di tale cavo, in modo da trovare la lunghezza ottimale per la presa dati successiva. Inoltre, collegando una delle uscite del CFTD assieme al CF MONITOR all'oscilloscopio si è modificato il potenziometro WALK ADJ in modo tale che l'intersezione dei segnali bipolari visti sull'oscilloscopio coincidesse con la baseline del segnale stesso, e che quindi la misura di tempo fosse la migliore possibile.

Una volta effettuate tutte le calibrazioni e le regolazioni necessarie si è deciso di prendere una misura che potesse dare una stima della risoluzione temporale al variare dell'energia, così si è sostituita la sorgente di  $^{22}\text{Na}$  con una sorgente di  $^{60}\text{Co}$  (che emette fotoni in coincidenza più energetici, sebbene non collineari) e si è verificato che tutte le regolazioni dell'apparato fossero quelle ottimali per prendere una misura che fosse la migliore possibile. Tale misura è stata presa nell'intervallo tra la seconda e la terza sessione di laboratorio (è servito un campione più lungo considerando che i fotoni erano collineari solo come accidente).

La terza sessione è stata dedicata alla misura della velocità della luce e all'utilizzo del sistema di acquisizione digitale. Per misurare la velocità della luce, come prima cosa, si è posizionata la sorgente di  $^{22}\text{Na}$ , che decade attraverso due fotoni collineari e si è controllato che tutti i parametri della strumentazione (in particolare i ritardi inseriti nella cassetta, il filo del delay del CFTD, la soglia e il Walk Adj) fossero quelli ottimali per la presa dati. Dopodiché si è avvicinata la sorgente al rivelatore 1 e triggerando su tale rivelatore si sono osservati i segnali in coincidenza;

poi si sono cambiati i valori dell'amplificatore e della cassetta dei ritardi per fare in modo che i segnali avessero una altezza di circa 150 ns e fossero distanziati circa 40 ns. Settato l'apparato, si è presa una misura di circa un'ora con la sorgente vicina al primo rivelatore e un'altra con la sorgente vicina al secondo rivelatore, misurando sempre le distanze tra i rivelatori e la sorgente.

Come ultima cosa si è passati al sistema di acquisizione digitale: si sono collegati i cavi del sistema (preimpostato) di acquisizione digitale, si è controllato che i rate di acquisizione fossero uguali per ogni canale e si è preso un campione di dati lungo circa una ventina di minuti.

## **2 Analisi Dati**

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

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

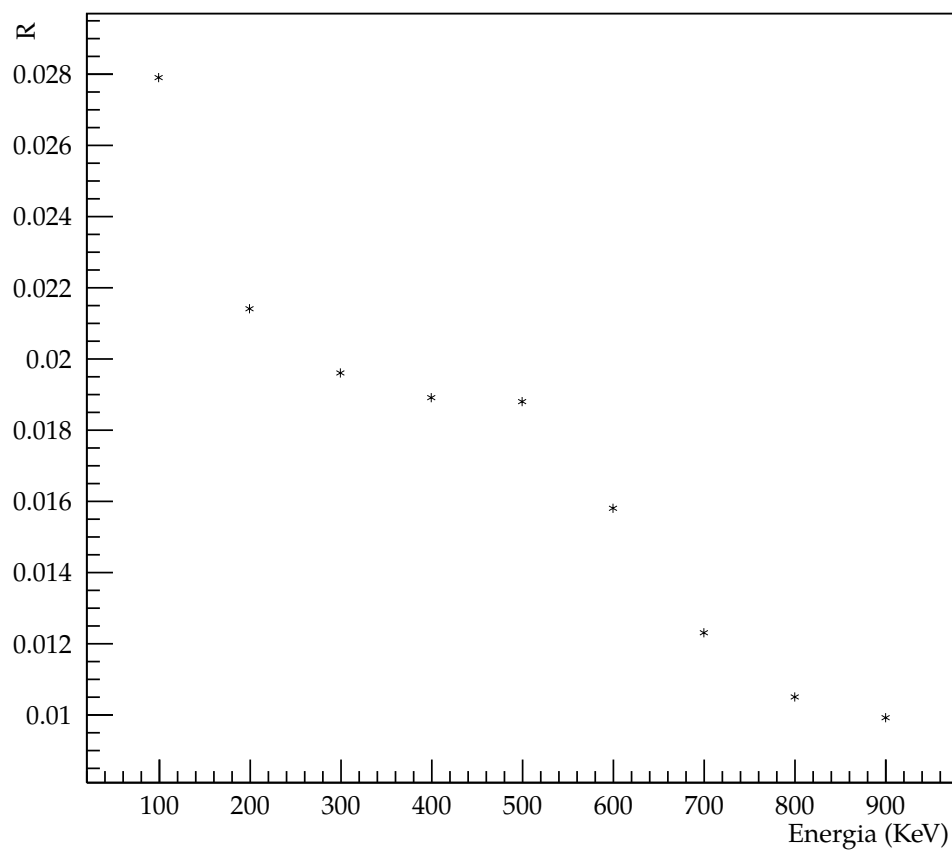
Una volta ultimata la calibrazione, si è voluto andare a stimare la risoluzione temporale dell'apparato al variare dell'energia depositata sui rivelatori. Per farlo, si sono analizzati i dati con riferimento all'energia depositata all'interno dei rivelatori: quando la media dell'energia depositata nei 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.

**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



## Risoluzione al variare dell'energia

**Figura 2:** cobalto risoluzioni

## 4 Velocità della luce

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

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>

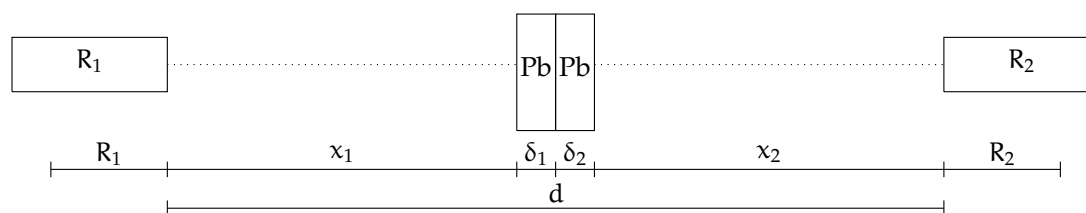


Figura 3: schema cobalto

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>

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

<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>:

Ove  $n$  indica il coefficiente di rifrazione 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:

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

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:

$$c = \frac{x_1 + x_2}{\Delta t}$$

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:

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

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

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

SOrta 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

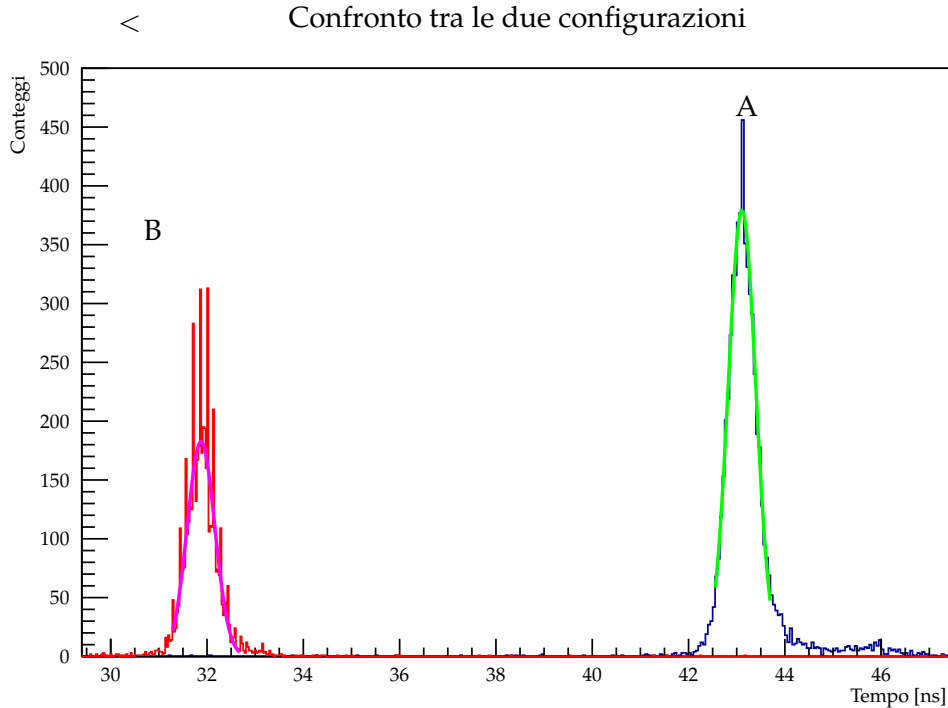


Figura 4: *light*

centroidi non calibrati se si vuole avere un'analisi che tenga 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):

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

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)

## **5 appendice test**

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