Timing

Riccardo Antonelli, Federico Chiossi, Patato Schiavi

18 maggio 2015

0.1 Obiettivi

- Misura dell'andamento del guadagno dei PMT in funzione della tensione applicata e determinazione del punto di lavoro ottimale
- determinazione della calibrazione in energia degli scintillatori organici e la risoluzione energetica dell'analisi dei Compton edge
- determinazione del ritardo esterno CFTD che ottimizza la risoluzione temporale del sistema
- determinazione dell'andamento della risoluzione temporale in funzione del range dinamico dei segnali analizzati dal CFTD

Fit del profilo Compton

Per la calibrazione dei rivelatori in energia dei raggi X e in risoluzione energetica forniamo i risultati di due metodi: il primo (**SEMIGAUSS**), basato su i risultati di una simulazione Monte-Carlo fatta dal professor Viesti, che utilizza i valori di un fit Gaussiano sui due profili Compton troncati. Il secondo (metodo **FIT**) è un modello semi-empirico da noi sviluppato basato su un fit esplicito di un profilo Compton.

Come profilo energetico "grezzo" (senza considerare la risoluzione dell'apparato) consideriamo la distribuzione di Klein-Nishina integrata. Definiamo $\text{edge}_{1,2} \approx 340\,\text{keV}, 1062\,\text{keV}$ gli edge Compton per i fotoni rispettivamente a 511 e 1275 keV. Se c è il canale, e (y, e_1, e_2, k) sono parametri che descrivono la distribuzione, definiamo E_0 la stima dell'energia al canale 0:

$$E_0 := \left(\text{edge}_1 - \frac{e_1}{e_2}\,\text{edge}_2\right) / \left(1 - \frac{e_1}{e_2}\right)$$

I parametri e_i sono le posizioni in canali dei due Compton edge. Sia

$$E(c) := E_0 + \left(\frac{\text{edge}_1 - E}{e_1}\right) c$$

la stima dell'energia al canale c. Notare che abbiamo semplicemente effettuato la calibrazione tale per cui $E(e_i) = \text{edge}_i$.

A questo punto definiamo la distribuzione

$$A(c) := y \sum_i k_i \left(2 - 2\frac{E}{\epsilon_i - E} + \frac{E^2}{(\epsilon_i - E)^2} + \frac{E^2}{\epsilon_i(\epsilon_i - E)}\right) \chi(c < e_i)$$

La somma è sui due picchi Compton; $k_1 = 1$ e $k_2 = k$, parametro che racchiude il rapporto in ampiezza fra i due picchi Compton. y è un fattore di scala globale sulle frequenze. ϵ_i sono le energie dei fotoni, $\sim$ 1275 e 511 keV. χ è una funzione indicatrice che tronca il profilo in corrispondenza del picco Compton.

Per tenere conto della risoluzione dello strumento effetuiamo una convoluzione del profilo $A(c)$ con una gaussiana di integrale unitario. Questa nuova distribuzione ha un parametro addizionale, la deviazione standard della gaussiana σ:

$$B(c; y, e_1, e_2, k, \sigma) = A(c; y, e_1, e_2, k) * \text{gauss}(c'; \sigma)$$

Tuttavia questo modello non fitta bene i dati. Vogliamo qui suggerire un modello che trova un migliore riscontro coi dati sperimentali. Supponiamo che la FWHM generato da un fascio di raggi X di fissata energia sia proporzionale all'energia stessa del fascio, ovvero che la σ sia una funzione lineare del canale:

$$\sigma(c) = \gamma c$$

Con γ un parametro adimensionale. Per cui la distribuzione risultante è

$$B(c; y, e_1, e_2, k, \gamma) = A(c; y, e_1, e_2, k) * \text{gauss}(c'; \gamma c)$$

(la scrittura è formale, dal momento che non si tratta più di una convoluzione vera e propria.) Nel dettaglio il calcolo effettuato è stato

$$B(c) = \sum_j A(c+j)\, \text{gauss}(j; \gamma c)$$

con un range ragionevole per j.

La distribuzione finale è fittata ai dati mediante un metodo a forza bruta; lo spazio dei parametri è diviso in celle e queste sono esplorate per trovare il set che minimizza lo scarto quadratico totale. Si ripete la ricerca raffinando la griglia. Lo svantaggio di questo metodo è il costo computazionale: per avere tempi di esecuzione nell'ordine di alcuni minuti è necessario fornire al programma un range non eccessivo in cui far variare i parametri.

Un tipico esempio dell'utilizzo del programma è mostrato di sequito. (Mettere immagine) Si noti che il fit riesce ad approssimare bene anche il compton edge a 1275 keV. Per dare una stima dell'errore sui valori ottenuti in grafico è anche mostrato il fit in cui il parametro σ (o compton edge) è stato incrementato (o diminuito) di un 20% (forse 30%?) dal valore ottimale.

0.2 Analisi

Guadagno - Voltaggio

Vogliamo studiare il comportamento dei PMT in funzione della differenza di potenziale dei dinodi. Chiaramente aumentando il voltaggio aumenta il guadagno, ma per i limiti dell'elettronica (dell'ADC in particolare) per i voltaggi di 1800 e 1900 V è necessario ridurre il guadagno dell'amplificatore da x100 a x40. Il risultato è che il valore ottimale di lavoro è di 1700 V.

Dal parametro σ/C (Rapporto adimensionale tra il centro e la σ del fit gaussiano eseguito in un interno del compton edge) si ha una stima della risoluzione dell'apparato. Osserviamo dalle figure di seguito che tale parametro rimane pressochè lo stesso col variare del voltaggio. L'errore è stato ottenuto per propagazione tenendo conto della covarianza dei due valori.

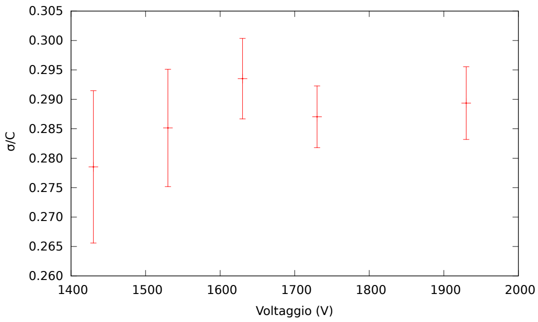

Figura 1: Andamento della risoluzione energetica in funzione del voltaggio per il rivelatore 1

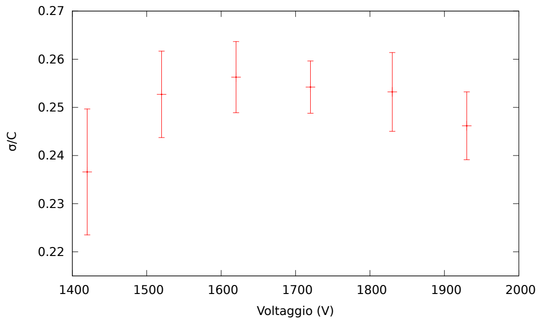

Figura 2: Andamento della risoluzione energetica in funzione del voltaggio per il rivelatore 2

Usando il metodo (FIT) si trovano risultati analoghi.

Risoluzione energetica

Metodo SEMIGAUSS

Calcoliamo il parametro σ/C per il voltaggio di circa 1730 V per il rivelatore 1 e 2 sia per il compton edge dei fotoni di 511 keV e che per quello di 1275 keV. Dai grafici sulle dispense fatti da viesti posssiamo stimare qialitativamente la risoluzione energetica e lo shift dal centroide misurato al vero valore del compton edge. Introduciamo per la calibrazione i parametri m, q secondo energia $= m$ canali $+ q$.

Tabella 1: Calibrazione in energia per i rivelatori

Energia fotone (keV)	σ/C	Risoluzione energetica (keV)	Shift (keV)
511 R1	0.287 ± 0.005	$50 - 65$	$60 - 85$
1275 R1	0.219 ± 0.013	$35 - 50$	$40 - 80$
511 R2	0.254 ± 0.006	$45 - 60$	$50 - 75$
1275 R2	0.255 ± 0.030	$40 - 60$	$50 - 100$

Metodo FIT

Tabella 2: Calibrazione in energia per i rivelatori

Rivelatore	σ/C	Risoluzione a 511 keV	m	q
$R1$	0.15	76 keV	1.45 keV/canale	140.8 keV
$R2$	0.14	72 keV	1.72 keV/canale	119.2 keV

Risoluzione temporale

Vogliamo determinare il ritardo che ottimizza la risoluzione temporale dell'apparato.

La calibrazione temporale è stata effettuata acquisendo lo spettro temporale del TAC variando il delay utilizzando ritardi predefiniti. Dopodiché fittiamo una gaussiana su ogni spettro; infine fittiamo il ritardo noto con i centroidi ottenuti:

Risulta $t = (0.0247 \pm 0.0002)\,\mathrm{ns\,canali}^{-1} \cdot C + (0.53 \pm 0.16\,\mathrm{ns})$.

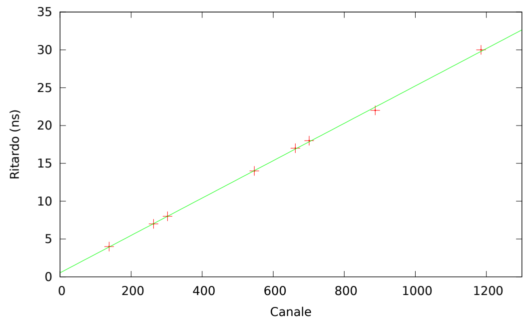

Figura 3: Calibrazione tempo-canale

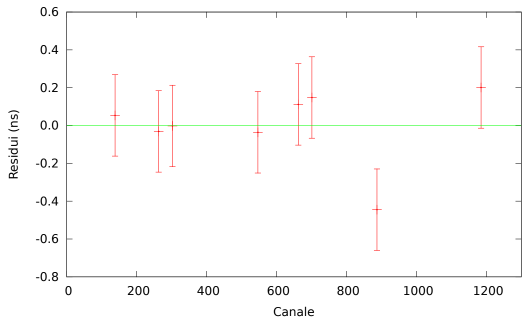

Figura 4: Residui della cal. tempo-canale

Tabella 3: Dati della calibrazione tempo-canale

Ritardo (ns)	Centroide	$\sqrt{\chi^2/\mathrm{ndf}}$	Residui
4	138.20	0.22	0.06
7	263.09	0.22	−0.03
8	302.41	0.22	0.00
14	546.71	0.22	−0.03
17	662.20	0.22	0.11
18	701.20	0.22	0.15
22	887.17	0.22	−0.44
30	1184.93	0.22	0.20

È necessario stimare inoltre il ritardo corrispondente ai cavi LEMO. Fittiamo il ritardo misurato con la lunghezza totale di LEMO:

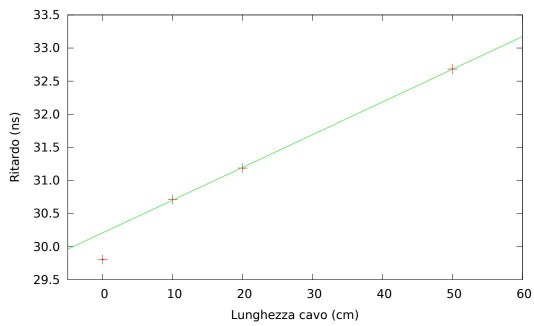

Figura 5: Stima ritardo per lunghezza dei cavi LEMO

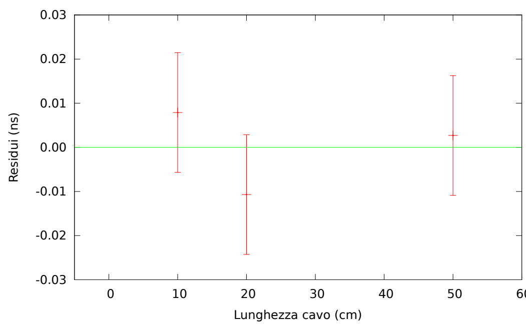

Figura 6: Residui ritardo per lunghezza dei cavi LEMO

Dal fit lineare risulta: ritardo (ns) $= 0.0494 \pm 0.0005 (ns/cm) \cdot$ Lunghezza (cm) $+ (30.211 \pm 0.015 ns)$. In buon occordo con il dato teorico di 0.05 ns/cm. Rispetto al ritardo predefinito (30 ns) si sono aggiunti tramite una I, cavi da 10, 20 e 50 cm. Possiamo stimare il ritardo dovuto alla I estrapolando dal fit il ritardo a 0 cm e sottraendo il ritardo predefinito ottenendo 0.405 ± 0.013 ns.

0.3 Conclusioni

Tabella 4: Dati della calibrazione tempo-canale

Lunghezza (cm)	Centroide	Ritardo (ns)	Residui	$\sqrt{\chi^2/\text{ndf}}$
0	1185.23	29.806	–	0.014
10	1221.91	30.712	0.008	0.014
20	1241.16	31.188	−0.010	0.014
50	1301.71	32.683	0.003	0.014