

# Relazione laboratorio particelle

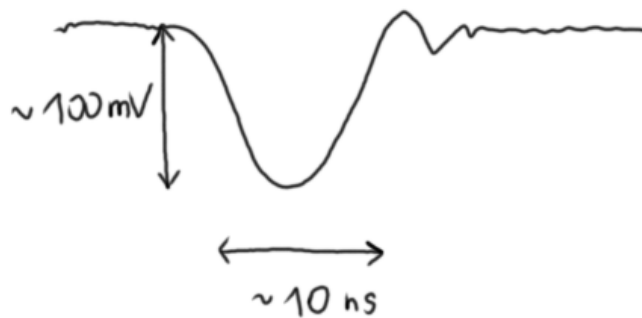
## Esperienza 0 (preliminare)

Andrea Marasciulli  
Giacomo Petrillo  
Roberto Ribatti

Dal 13 al 19 novembre 2017\*

Scegliamo di usare, in ordine dal basso verso l'alto, i PMT 2, 3, 4.  
Accendiamo il PMT 2 a 1500 V.  
Schizzo dei segnali del PMT visti sull'oscilloscopio:

punto 1  
punto 2  
punto 3



Con il trigger a  $-27 \text{ mV}$ , contando a mano su 1 min, otteniamo  $\sim 1 \text{ Hz}$ .

### Amplificazione

Stimiamo l'energia rilasciata da una particella nello scintillatore. Supponiamo MIP, quindi  $dE/\rho dx = 1.5 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$ . Lo spessore dello scintillatore è  $\sim 1 \text{ cm}$  e la densità  $\sim 1 \text{ g cm}^{-3}$ , quindi rilascia  $1.5 \text{ MeV} = 2.4 \times 10^{-13} \text{ J}$ .

Stimiamo l'energia del segnale in uscita. È  $\int dt I \cdot V \approx \Delta t \cdot V^2/R$  dove  $R = 50 \Omega$ , quindi otteniamo  $10 \times 10^{-9} \cdot (100 \times 10^{-3})^2/50 = 2 \times 10^{-12} \text{ J}$ .

L'amplificazione complessiva è quindi  $\sim 10$ , a naso ce la aspettavamo più grande.

### Dipendenza rate dall'alimentazione

Impostiamo la tensione di alimentazione a  $1600 \text{ V}$ . La frequenza di segnali aumenta notevolmente, per contarli a mano alziamo<sup>1</sup> il trigger a  $150 \text{ mV}$ , otteniamo  $85/1 \text{ min}$ .

\*Compilazione L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X di questo documento: 26 novembre 2017.

<sup>1</sup>Trattando la logica negativa, useremo alto-basso riferito al modulo e spesso tralascieremo il segno  $-$ , la strumentazione suggerisce questo approccio perché la vite della soglia del discriminatore aumenta (abbassa) la soglia in verso orario.

Con 1800 V otteniamo  $\sim 100$  Hz e con 2000 V  $\sim 1$  kHz (frequenze misurate dall'oscilloscopio).

punto 4

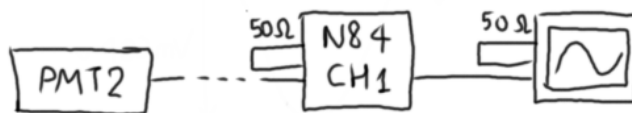
## Documentazione discriminatore

Non troviamo la documentazione del nostro discriminatore tra quella fornita; poiché è a 4 canali e l'unica documentazione per uno a quattro canali è il CAEN N84, e inoltre a parte colore e etichette appare identico, leggiamo la documentazione per quello e chiameremo il nostro «N84».

Documentazione: ritardo 14 ns, durata 6–400 ns, soglia massima 400 mV.

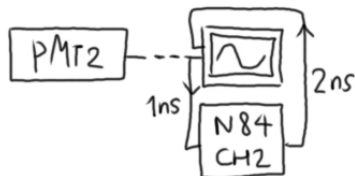
## Verifica discriminatore

Montiamo questo circuito:



Girando la vite della durata vediamo che l'intervallo impostabile è circa 40–300 ns. È di tipo “restarting” perché per soglia abbastanza bassa si vedono durate doppie in uscita, con soglia a opportuni valori intermedi si vedono alternativamente durate doppie oppure due singole, ravvicinate ma non più di tanto. L'ampiezza è 750 mV come atteso. Verifichiamo la durata impostabile anche per il canale 2, è la stessa.

Modifichiamo il circuito in modo da visualizzare sia l'ingresso che l'uscita del discriminatore:



Misuriamo la soglia del discriminatore con l'oscilloscopio in questo modo: triggeriamo sull'ingresso del discriminatore, se la soglia del discriminatore è minore di quella del trigger si vede sempre l'uscita del discriminatore, viceversa a volte scompare. Trovando due soglie del trigger più vicini possibili in modo che con una a volte scompare l'uscita (verificato su un tempo abbastanza lungo rispetto alla differenza delle soglie) e con l'altra no, si ottiene una misura della soglia del discriminatore. Il problema di questa procedura è che il trigger dell'oscilloscopio funziona in modo diverso dal discriminatore, quindi non è detto che a parità di soglia vengano selezionati gli stessi segnali. Con la soglia del discriminatore al massimo otteniamo le soglie del trigger 368 e 376 mV, mentre il TP del discriminatore segna 0.411 V, quindi lo scarto è circa 8%.

Il ritardo è dato da quello dei cavi (3 ns) più quello del discriminatore. Puntando i cursori dell'oscilloscopio otteniamo un ritardo di 20 ns quindi il ritardo del discriminatore è circa 17 ns.

Ci è difficile misurare il jitter del discriminatore perché il trigger dell'oscilloscopio funziona in modo diverso dal discriminatore, perciò facciamo una stima

superiore in questo modo: mettiamo la soglia del trigger ai 376 mV trovati prima che facevano circa coincidere i segnali selezionati, triggerando il segnale del PMT, e guardiamo a occhio sull'oscilloscopio la variazione temporale del fronte di salita dell'uscita del discriminatore; otteniamo  $\pm 1$  ns.

punto 5

## Documentazione contatore

Modello: 130PCZ, frequenza massima 70 MHz, conta fino a  $10^8 - 1$ , l'input deve durare almeno 7 ns, l'output "clock" è un'onda quadra a 1 kHz.

Siamo sicuri o era l'unico datasheet?

Qual è il duty del clock? 50%?

## Clock del contatore

Si può collegare il clock all'ingresso 8 per misurare il tempo. Si può impostare in modo che dopo  $10^n$  ( $n = 2, \dots, 8$ ) conteggi si fermi. Se avviamo il conteggio con il pulsante «start» o con l'ingresso corrispondente e lo facciamo fermare in automatico con il clock, introduciamo un'incertezza sul tempo totale dovuta al non allineamento dello start con il clock<sup>2</sup>. L'incertezza è circa di mezzo periodo, quindi 0.5 ms.

o era  $1, \dots, 8$ ?

Visualizziamo il clock sull'oscilloscopio, che calcola una frequenza di 0.999 96 kHz, cioè la discrepanza è di 3 s al giorno. Non sappiamo in che proporzione i due strumenti contribuiscono all'incertezza.

Possiamo fare delle supposizioni?

## Primo test di conteggio

Montiamo questo circuito:



Il trigger dell'oscilloscopio è impostato a 376 mV. Mettiamo il clock a 1000 (1 s) e facciamo un po' di conteggi. Il contatore gira intorno a 20; la frequenza calcolata dall'oscilloscopio oscilla ampiamente perché probabilmente la calcola su intervalli di tempo piccoli rispetto al tasso di conteggi, quando si stabilizza per qualche secondo gira intorno a 30 Hz, quindi non troviamo incongruenze.

## Distribuzione dei conteggi

Ci aspettiamo che, per un tasso costante, i conteggi siano poissoniani con media = tasso  $\times$  tempo. Lo stimatore di massima verosimiglianza per la media è la media aritmetica ed è corretto<sup>3</sup>. La varianza dello stimatore è la media quindi, con la convenzione standard di calcolare la varianza nella stima, per  $k$  conteggi il risultato per la media  $\mu$  sarà scritto come

$$\langle \mu = k \pm \sqrt{k} \rangle$$

<sup>2</sup>Potremmo darlo per ovvio, però notiamo che quasi sicuramente i comandi manuali/ingresso non vengono allineati dallo strumento con il fronte successivo del clock perché gli ingressi possono definire intervalli di tempo con molta più granularità di 1 ms.

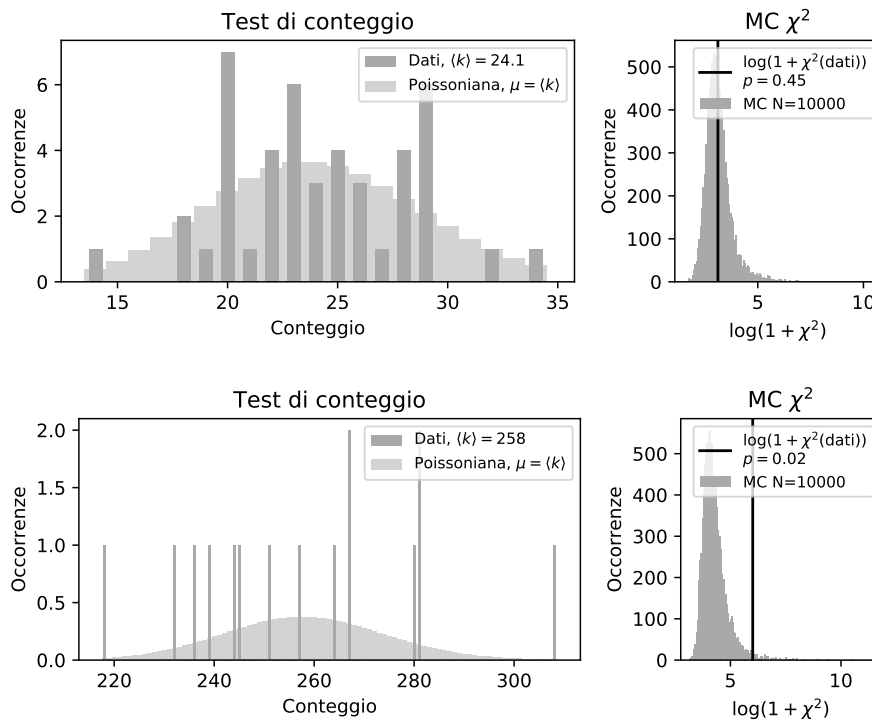
<sup>3</sup>Unbiased.

Questo è problematico per  $k$  piccoli perché la varianza varia velocemente, risolveremo nell'analisi dati.

punto 6

## Secondo test di conteggio

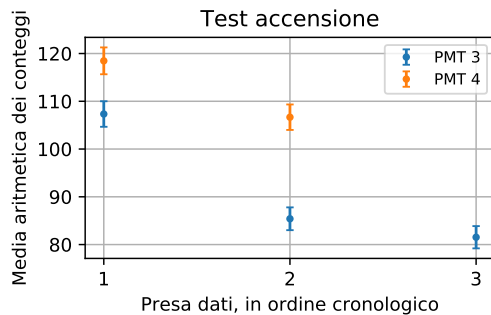
Facciamo una serie di conteggi trascrivendo i risultati. Facciamo 45 conteggi con clock 1000 e 15 con clock 10 000. Verifichiamo che siano poissoniane con un test del  $\chi^2$  senza allargare i bin rispetto ai valori discreti; poiché il numero di conteggi è basso calcoliamo la distribuzione della statistica con monte carlo. Risultati:



Vediamo che la poissonianità della serie da 10 s è in dubbio.

## Tempo dall'accensione

Può darsi che il PMT, dopo l'accensione, ci metta un po' ad arrivare in una condizione stazionaria di funzionamento. I PMT 3 e 4 li abbiamo lasciati spenti, quindi li usiamo per fare un test. Accendiamo il PMT 3 e subito prendiamo una serie di 15 conteggi con clock 1000. Poi accendiamo il PMT 4 e prendiamo una serie, poi proseguiamo alternando PMT 3 e 4, per un totale di 5 serie. Grafichiamo le medie con la varianza nell'ipotesi di poissoniane:



Chiaramente il tasso varia nel tempo, quindi in futuro aspetteremo sempre qualche minuto dopo che abbiamo acceso i PMT e almeno 1 minuto quando cambiamo tensione di alimentazione.

## Luce ambientale

Verifichiamo la sensibilità alla luce esterna passando una torcia vicino allo scintillatore e al PMT e verificando se il numero di conteggi cambia sensibilmente. Testiamo i PMT 2, 3, 4.

PMT	Risultato
4	Troviamo un “buco ottico” sull’attacco della guida ottica al PMT, puntando la torcia i conteggi passano da $\approx 100$ a $\approx 200$ .
3	Anche qui l’attacco del PMT alla guida ottica è problematico; la luce entra riflettendosi sulla base del PMT. I conteggi variano da $\approx 100$ a $\approx 280$ .
2	Tutto ok.

Sistemiamo tutto con il nastro isolante e ricontrolliamo.

## Alimentazione

Abbiamo variato l’alimentazione dei vari PMT per vedere come cambia il numero di conteggi. I risultati di queste misure sono riportati nel grafico di *Figura 1*.

Il grafico mostra chiaramente l’assenza di qualsiasi *plateau* tranne nei punti a conteggio nullo. Abbiamo deciso di alimentare i PMT a 1800 V perché la derivata in quel punto è minore di quella corrispondente a 1900 V e ci sono abbastanza conteggi da permetterci una loro analisi statistica.

Dal *Particle Physics Booklet 2016* sappiamo che il flusso di raggi cosmici è mediamente  $180 \text{ Hz/m}^2\text{s}$ . Essendo il nostro rivelatore di area  $A = l_1 l_2 = 48.0 \pm 0.1 \text{ cm} \cdot 40.0 \pm 0.1 \text{ cm} = 1920 \pm 6 \text{ cm}^2$  ci aspettiamo il passaggio di  $34.6 \pm 0.1$  particelle/s. Questo numero è simile ai conteggi ottenuti a 1800 V con soglia  $V_{thr} \simeq -376 \text{ mV}$ .

## Modulo di coincidenze

Per effettuare il conteggio delle coincidenze abbiamo collegato le uscite dei discriminatori al modulo di coincidenze FE260 e la sua uscita al canale 5 dello

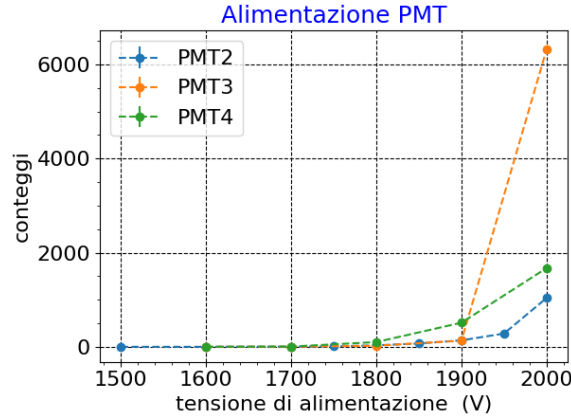


Figura 1: Numero di conteggi in funzione della tensione di alimentazione

scaler. I canali 1 e 2 di quest'ultimo sono collegati al PMT4 e al PMT2 attraverso il discriminatore. Le soglie di entrambi sono massime, ovvero  $-0.410 \pm 0.002$  V misurate dal testpoint. Con questi settaggi i nostri rivelatori misurano circa 40 eventi al secondo, quindi facciamo un calcolo approssimativo del rate di coincidenze casuali usando la formula  $R_C = R_1 R_2 \Delta t$ . Siccome il modulo di coincidenze scatta quando c'è una sovrapposizione di due segnali di livello 1 per più di 1.5 ns, possiamo dire che il  $\Delta t$  vale circa il doppio della durata dell'uscita del discriminatore, ovvero 80 ns. Abbiamo allora  $R_C \simeq 128 \cdot 10^{-6} \approx 1 \cdot 10^{-4}$ , ovvero una coincidenza casuale ogni 3 ore.

## Tempi di propagazione dei segnali

Usiamo l'oscilloscopio per visualizzare le coincidenze, ovvero colleghiamo i due discriminatori utilizzati al nostro strumento ed osserviamo degli impulsi NIM quasi simultanei, in particolare vediamo che il segnale che arriva più tardi si discosta solo di qualche nanosecondo da quello precedente, ma questa asincronia non ci causa nessun problema perché vale al massimo il 10% della lunghezza dei nostri impulsi. Ciò non dovrebbe mascherare l'arrivo di una seconda coincidenza in quell'intervallo di tempo perché il rate atteso è di decine di hertz, come già detto nella sezione **calibrazione**, che equivale in media al passaggio di un raggio cosmico ogni decimo di secondo in caso di accettazione geometrica unitaria.

Per trovare il miglior punto di lavoro inseriamo nel crate due *delay unit* che colleghiamo in serie ai discriminatori di cui sopra. Prima di effettuare i conteggi testiamo una *delay unit* mandandole in ingresso l'onda quadra data dal clock dello scaler. Confermiamo che il ritardo minimo introdotto da questo modulo è  $2.5 \pm 0.2$  ns e che tutti gli altri inseribili sono compatibili con quanto dichiarato con un'accuratezza del 10%. La *Figura 2* mostra la curva di cavo che, come atteso, mostra un massimo di conteggi quando il ritardo relativo è inferiore alla durata dell'impulso del discriminatore ed è quasi nulla altrove. La variabile utilizzata è  $\Delta t = D2 - D4$  dove questi ultimi sono i ritardi selezionati per i rispettivi PMT. Nel  $\Delta t$  non compaiono termini dipendenti dai cavi coassiali

utilizzati perché i due segnali sono stati collegati ai vari moduli NIM con cavi di uguale lunghezza.

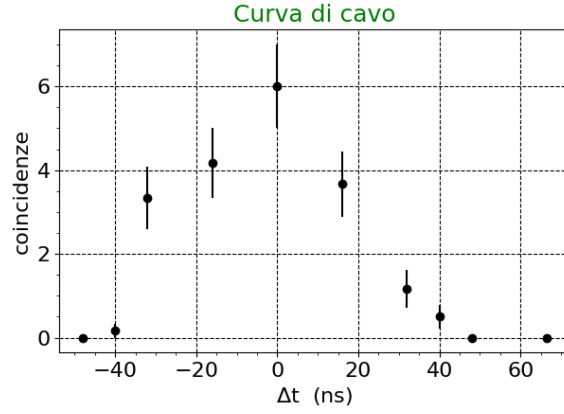


Figura 2: Curva di cavo in funzione della differenza di tempi impostati sulle delay unit.

## Rapporto segnale/fondo

Dopo aver tolto le delay unit abbiamo variato la tensione di un PMT e la soglia del discriminatore a cui era collegato mentre l'altro era lasciato ad un punto di lavoro costante in modo che non influenzasse le misure fatte sul primo. Abbiamo analizzato dapprima il PMT2 lasciando fisso il 4 ad una tensione nominale  $V_4 = 1800$  V ed una soglia  $V_{thr_4} = -353 \pm 2$  mV in modo che le coincidenze casuali non potessero verificarsi in un intervallo di tempo di 10 s. Il rapporto tra le coincidenze ed i conteggi rappresenta il rapporto tra segnale e segnale più rumore, in quanto il numero mostrato dallo scaler comprende sia i disturbi che le particelle. Il risultato è visibile in *Figura 3*.

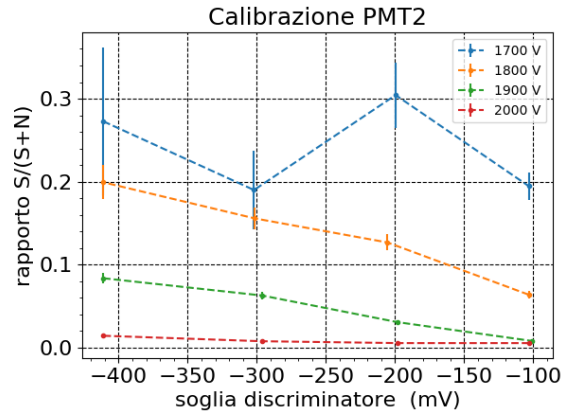


Figura 3: Rapporti  $S/(S+N)$  per il PMT2 in diversi punti di lavoro.

La stessa cosa è stata fatta per il PMT4 lasciando il PMT2 al punto di lavoro  $V_2 = 1820 \text{ V}$  e  $V_{thr_2} = -298 \pm 2 \text{ mV}$  come mostrato in *Figura 4*.

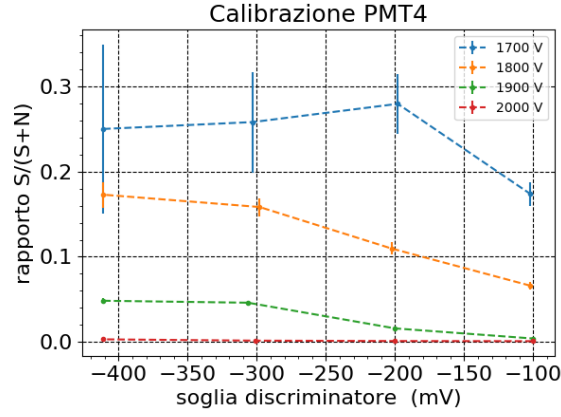


Figura 4: Rapporti  $S/(S+N)$  per il PMT4 in diversi punti di lavoro.

## Efficienza assoluta

Per misurare l'efficienza assoluta del PMT3 è necessario eseguire i rapporti tra le coincidenze di tutti i tre rivelatori e quelle dei due più esterni. Per fare ciò abbiamo usato un secondo modulo di coincidenze per visualizzare quelle di tutti e tre. Non avendo ancora analizzato i dati riguardanti la sezione precedente, abbiamo stimato il punto di lavoro  $V = 1800 \text{ mV}$  e  $V_{thr} = -200 \text{ mV}$  essere il migliore per i fotomoltiplicatori esterni. Quindi abbiamo variato soglia e alimentazione di quello centrale e disegnato il grafico di *Figura 5* per varie tensioni di alimentazione.

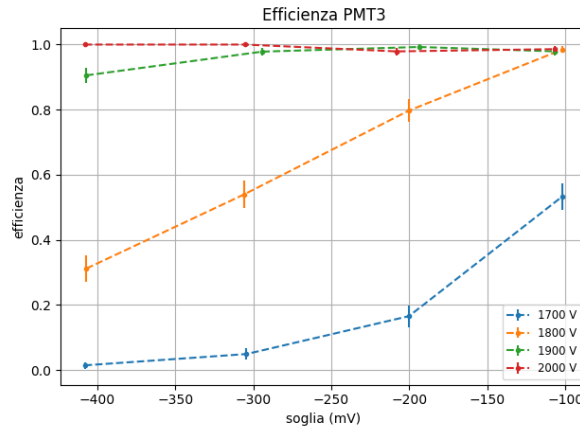


Figura 5: Efficienza assoluta del PMT3.

L'analisi effettuata contrassegna il punto di lavoro scelto prima come migliore perché il PMT che lavora in quelle condizioni ha una buona efficienza ed anche



un buon rapporto  $S/(S+N)$ . Quest'ultimo ci permette di avere meno coincidenze casuali ed evita la possibilità di overflow in caso di conteggi su un tempo molto lungo. L'efficienza corrispondente a questo punto di lavoro vale  $\eta = 80 \pm 3$  %. Possiamo adesso determinare il rate di particelle cosmiche avvalendoci della relazione

$$R_V = \frac{R_m}{1 + R_m \Delta t}$$

in cui  $R_m$  è il rate misurato,  $R_V$  quello vero e  $\Delta t$  stimato in precedenza. Essendo quest'ultimo dell'ordine dei nanosecondi,  $R_m \Delta t \ll 1$ . Il rate misurato si ottiene dividendo le coincidenze a 3 per l'efficienza. Nel punto di lavoro in questione abbiamo osservato. Quindi il rate di raggi cosmici risulta essere  $R_V = 14 \pm 1$  particelle/s. Esso è inferiore alla metà di quanto atteso ma ciò è dovuto all'accettanza geometrica minore di uno.