

Relazione

Stage Residenziale, luglio 2003

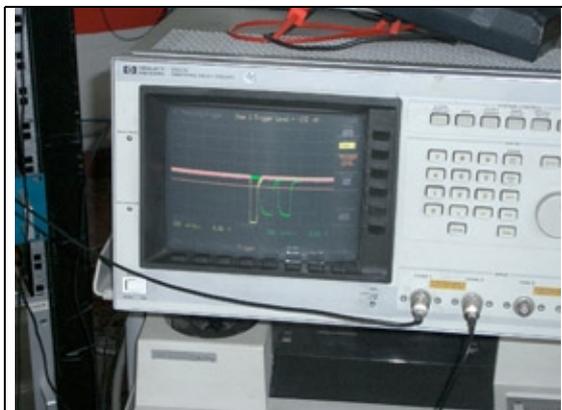
“Rilevazione della velocità dei raggi cosmici”

Durante lo Stage Residenziale presso il Centro di Fisica Nucleare di Frascati (svoltosi dal 14 al 18 luglio 2003), oltre alle lezioni teoriche abbiamo partecipato ad una ricerca sperimentale guidata finalizzata a calcolare la velocità dei raggi cosmici, particelle di circa 2 GeV di energia, provenienti dal sole e dalle altre stelle.

Per l'esperimento sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- 2 scintillatori solidi in plexiglas drogato con relative guide di luce.
- 2 fotomoltiplicatori con relativi alimentatori per l'alta tensione.
- Un discriminatore multicanale.
- Ritardi (bobine di filo atte a ritardare i segnali).
- Una coincidenza.
- Un TDC con standard CAMAC interfacciato ad un PC tramite porta SCSI.

Gli scintillatori hanno il compito di rilevare il passaggio delle particelle. Si presentano come “palette” di un particolare tipo di plexiglas, ben foderate da nastro isolante nero in modo che una qualsiasi fonte luminosa non simuli falsi eventi o generi un compromettente rumore di fondo. Al passaggio del raggio cosmico, le particelle riescono ad eccitare gli atomi dello scintillatore che emettono energia sotto forma di fotoni. Questa luce (nel nostro caso emessa nella frequenza del blu-viola) viene raccolta dalla guida di luce e “incanalata” nel fotomoltiplicatore. In esso il segnale luminoso viene prima convertito in segnale elettrico, poi amplificato e inviato al discriminatore. Il discriminatore ha come prima funzione quella di digitalizzare, secondo lo standard NIM, i segnali analogici provenienti dal fotomoltiplicatore con un tempo morto di 50 ns (nano-secondi). Inoltre tarando opportunamente la soglia di questo strumento (il trigger), abbiamo potuto tagliare una buona parte del rumore, svolgendo quindi una prima selezione/analisi dei dati utili.



Dopo aver scelto il valore migliore sull'oscilloscopio, le soglie dei due canali del discriminatore erano così settate:

- * CH1 (UP) 99,8 mV
- * CH2 (DOWN) 47,6 mV

A questo punto attraverso opportuni ritardi i segnali digitalizzati dei due canali del discriminatore entrano in una coincidenza la quale ci permette di selezionare i segnali

prodotti dai cosmici che effettivamente passano da entrambe le “palette”. L’uscita della coincidenza è collegata ad un TDC che ci è servito per cronometrare il tempo di passaggio nel seguente modo: l’uscita della coincidenza dà il segnale di start al TDC mentre direttamente dal CH1 del discriminatore (con opportuni ritardi) arriva il segnale di stop al TDC.

Infine per la raccolta dei dati ci siamo serviti di un PC collegato tramite interfaccia SCSI al Crate CAMAC in cui era alloggiato il TDC.

I due scintillatori erano posizionati uno sopra l’altro ad una distanza di $4,3 \pm 0,1$ m.

In realtà la distanza tra le palette è stata misurata con una precisione del millimetro ($4,274 \pm 0,001$). Tale precisione risulta tuttavia inutile perché ipotizzando che i raggi cosmici si propagano ad una velocità prossima a quella della luce, un millimetro verrebbe percorso in circa 3×10^{-12} secondi, equivalente a 0,000 000 000 003 secondi, cioè 3 ps (pico-secondi). Questa precisione non ha utilità dato che gli strumenti usati hanno una sensibilità sull’ordine del nano-secondo.

Dopo una settimana di raccolta dei dati, abbiamo potuto fare il Fit di un appena accettabile numero di risultati (sicuramente scarso per un rigoroso studio statistico), ma sufficiente per ricavare un’idea della velocità di queste particelle. Utilizzando il programma, sviluppato al CERN, Paw abbiamo calcolato il picco della gaussiana che meglio ricalcava la nostra distribuzione di misure: **12,6 ns**.

Successivamente abbiamo ripetuto la prova con gli scintillatori appoggiati uno sull’altro. Essendo in questo modo praticamente nulla la distanza tra loro, siamo stati in grado di misurare il ritardo complessivo in risposta delle apparecchiature elettroniche. Utilizzando nuovamente Paw e facendo il Fit di questa nuova serie di misure, il picco della gaussiana era sopra **1,4 ns**. A questo punto abbiamo tolto dal primo risultato quello relativo al ritardo dell’elettronica:

$$12,6 - 1,4 = 11,2 \text{ ns}$$

La velocità dei raggi cosmici da circa 2 GeV che volevamo misurare è quindi approssimativamente di 11,2 ns ogni 4 metri.

$$= 2,8 \text{ ns per fare un metro}$$

$$= 0,3|571428| \text{ m/ns} \quad \approx 0,36 \text{ m/ns}$$

$$357.142.857 \text{ m/s} \quad \approx 357.000.000 \text{ m/s}$$

Questo risultato è fisicamente impossibile dato che la luce si propaga ad una velocità di 3×10^8 m/s (la luce impiega circa 13 nanosecondi per fare 4 metri)

Allo stesso modo $\beta = v/c$ (che deve sempre risultare minore di uno) risulta:

$$(3,57 \times 10^8) / (3 \times 10^8) = 1,19$$

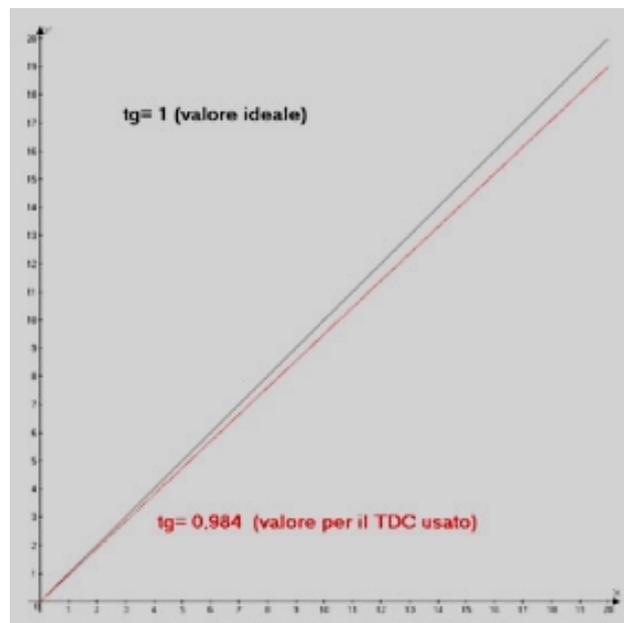
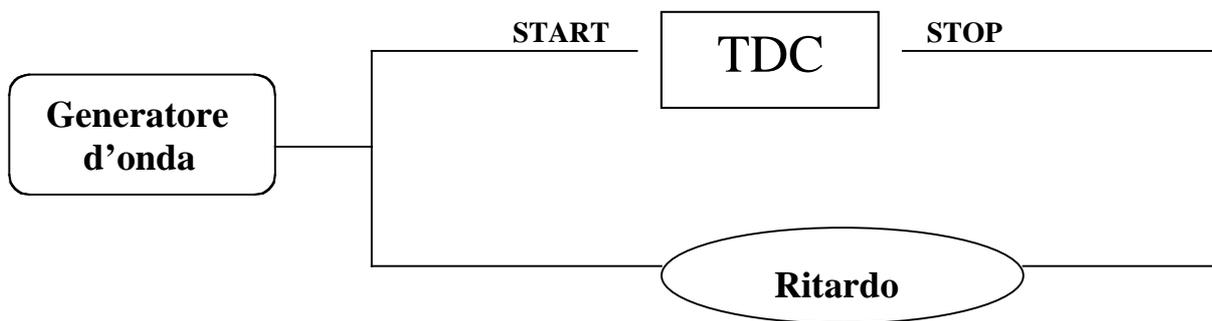
A questo punto dobbiamo fare un'ulteriore precisazione riguardo l'errore del "cronometro" (il TDC) usato. I dati che abbiamo analizzato fino ad ora hanno come presupposto che la conversione:

[tempo del TDC] => [tempo fisico] sia 1 (1ns misurato col Tdc = 1 ns reale).

In realtà lo strumento che abbiamo usato aveva questo fattore di conversione:

[1 step Tdc] => [1,298 ns] cioè il Tdc usato perde 0,298 ns ad ogni step.

La precisione di un TDC (e in particolare il suo scostamento dal fattore di conversione ideale) è misurata mediante un generatore d'onda e dal processo riassunto schematicamente qui sotto:



Ai valori cronometrati dobbiamo quindi aggiungere i nano-secondi persi ad ogni passo:

$$\Rightarrow 12,6 + (12,6 \cdot 0,298) = 12,6 + 3,7 = 16,3$$

$$\Rightarrow 1,4 + (1,4 \cdot 0,298) = 1,4 + 0,4 = 1,8$$

(Ciò è del tutto equivalente a moltiplicare direttamente il valore calcolato per 1,298)

Ora calcolando la reale velocità del cosmico si ottiene:

$$16,3 - 1,8 = 14,5 \text{ ns ogni 4 metri}$$

e seguendo gli stessi passaggi svolti sopra:

$$14,5 \text{ ns/ 4metri} = 3,625 \text{ ns/m} \Rightarrow 0,276 \text{ m/ns}$$

cioè la velocità dei raggi è circa $2,76 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\Rightarrow \beta = v/c = (2,76 \times 10^8) / (3 \times 10^8) = \boxed{0,92}$$

Questo risultato, sebbene ancora gravato da errori, approssima bene l'effettivo valore cercato con il nostro esperimento.

Di seguito sono riportate le immagini dei principali strumenti usati:



**Scintillatore
con guida di luce applicata
(protetto dalla luce mediante
nastro adesivo nero)**

**Fotomoltiplicatore
(la parte nera è quella che va
appoggiata alla guida di luce)**

Guida di luce sagomata

Cavi



**Guida di luce per
scintillatori più grandi**

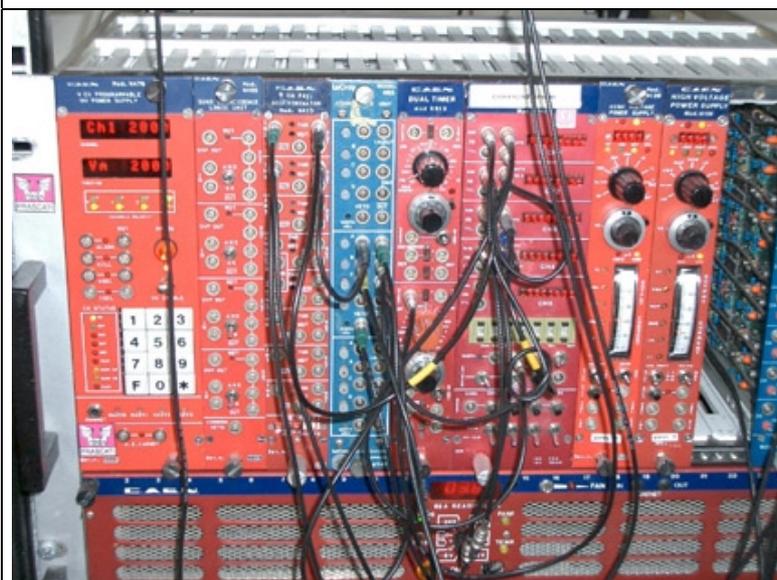


**Discriminatore multicanale.
(azzurro)**

**Uno dei due alimentatori
dell'alta tensione
per i fotomoltiplicatori.
(rosso)**



Ritardi



**Veduta d'insieme del
Crate NIM.**

Partendo da destra, quasi del tutto tagliato, si vede il discriminatore.

Seguono i due alimentatori dei fotomoltiplicatori e una coincidenza con contatori (usata solo come verifica).

La scheda azzurra centrale è la coincidenza principale e subito dopo è alloggiato un secondo discriminatore (usato secondo lo schema a fondo relazione).



Veduta d'insieme del Crate CAMAC.

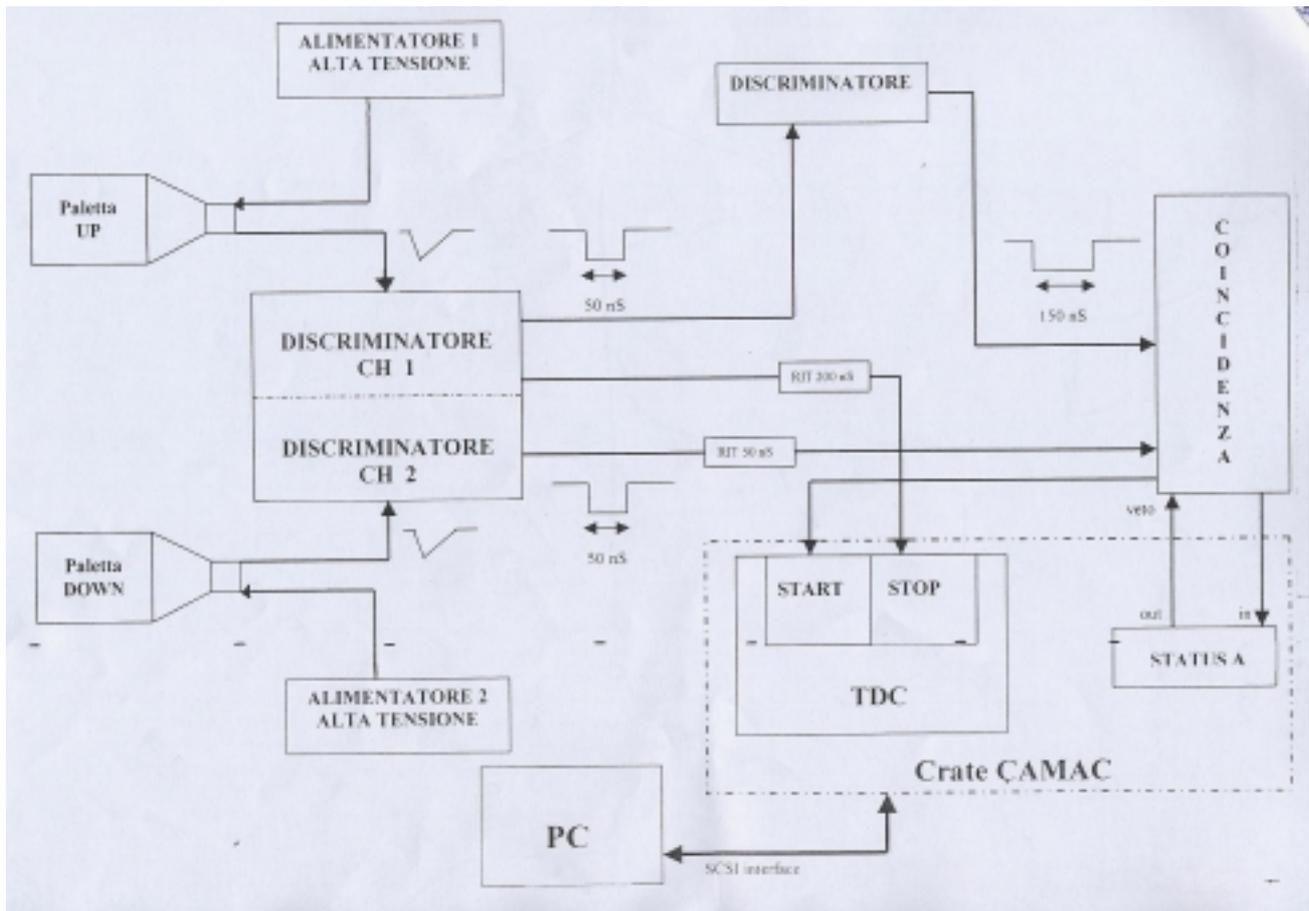
In particolare si può notare sulla sinistra il TDC a cui arriva il segnale di start e stop.

Tramite interfaccia SCSI il Crate è collegato ad un pc che gestisce ed elabora i dati raccolti (ogni singolo tempo cronometrato).



In questa foto si possono vedere i due scintillatori, con relativi fotomoltiplicatori, posti uno sopra l'altro durante la prova per valutare il ritardo dell'elettronica.

Schema riassuntivo delle apparecchiature usate e dei collegamenti:



Lorenzo Gobbi

**Liceo Scientifico A.Messedaglia
Verona**