

MISURA DEL TEMPO DI VOLO DEI MUONI COSMICI

Mattia Beretta Francesca Cova
Valerio Sacco

Anno Accademico 2013-2014

Powered by L^AT_EX

Indice

1	Introduzione	5
2	Descrizione e calibrazione dell'apparato	7
3	Efficienza dei rilevatori	8
3.1	Scelta della tensione di T1 e T2	9
3.2	Efficienza di S1 e S2	10
3.3	Coincidenze accidentali	12
4	Misura del flusso	15
5	Calibrazione dell'unità TDC	16
6	Tempo di volo	18
6.1	Correzione delle distanze	23
7	Binomiale	25
8	Conclusione	26
9	Allegato: Tabelle Dati	27

Elenco delle figure

1	Decadimento raggi cosmici primari	5
2	Apparato di misura	7
3	Visualizzazione di una coincidenza sull'oscilloscopio	8
4	Configurazione a 4 rilevatori	8
5	Andamento dei conteggi rilevati da T1 e T2 in funzione della tensione applicata	9
6	Configurazione a 3 rilevatori	10
7	Andamento dell'efficienza dei rilevatori S al variare della tensione	11
8	Andamento dei conteggi rilevati da S1 e S2 in funzione della tensione	11
9	Configurazione con aggiunta di ritardi	13
10	Andamento del rate di coincidenze accidentali	13
11	Distribuzione angolare del flusso dei muoni cosmici	15
12	Retta di calibrazione dell'unità TDC	17
13	Retta di calibrazione con esclusione del fondo scala	17
14	Configurazione per la misura dei tempi di volo	18
15	Distribuzioni senza correzione	19
16	Correlazione fra le ampiezze degli impulsi dei due scintillatori	20
17	Andamento del TDC in funzione delle ampiezze	21
18	Andamento del TDC rispetto alle ampiezze dell'ADC dopo la correzione	22
19	Distribuzione dei tempi dopo la correzione	22
20	Andamento lineare del tempo di volo in funzione della distanza	23
21	Simulazione delle distanze	24
22	Andamento lineare del tempo di volo in funzione della distanza	24
23	Configurazione a 3 rilevatori per verificare la distribuzione binomiale	25
24	Adattamento della distribuzione binomiale	26

L'importanza storica dei muoni è legata alla teoria della relatività speciale di Einstein: tali particelle hanno infatti una vita media pari a $2,2 \mu s$, durante la quale riescono a percorrere circa $600 m$ (viaggiano infatti ad una velocità prossima a quella della luce).

Questo significa che non potrebbero essere osservati a terra, essendo prodotti in alta atmosfera. In realtà, grazie all'effetto relativistico della *dilatazione dei tempi*, è possibile rilevarli anche a livello del mare; tale fatto costituisce una delle conferme sperimentali della teoria di Einstein.

Lo scopo di questa esperienza di laboratorio è verificare che i muoni cosmici viaggino ad una velocità prossima a quella della luce ($\beta \sim 1$): nella prima parte si è valutata l'efficienza dei rilevatori e si è calibrata l'unità TDC, nella seconda parte si è effettuata la misura del tempo di volo, da cui si è potuta ricavare la velocità dei muoni.

2 Descrizione e calibrazione dell'apparato

L'apparato di misura è costituito da due coppie di **scintillatori** collegati a tubi fotomoltiplicatori, un *CRATE CAEN* contenente un generatore di alta tensione a due vie, un generatore di alta tensione a quattro vie, un amplificatore, un discriminatore e una coincidence unit (CU) e infine un *CRATE CAMAC* contenente un ADC (*Amplitude to Digital Converter*), un TDC (*Time to Digital Converter*) e uno scaler.

Sono inoltre presenti un'unità per la generazione di ritardi ed un oscilloscopio per visualizzare i segnali. I dati sono acquisiti tramite un PC.

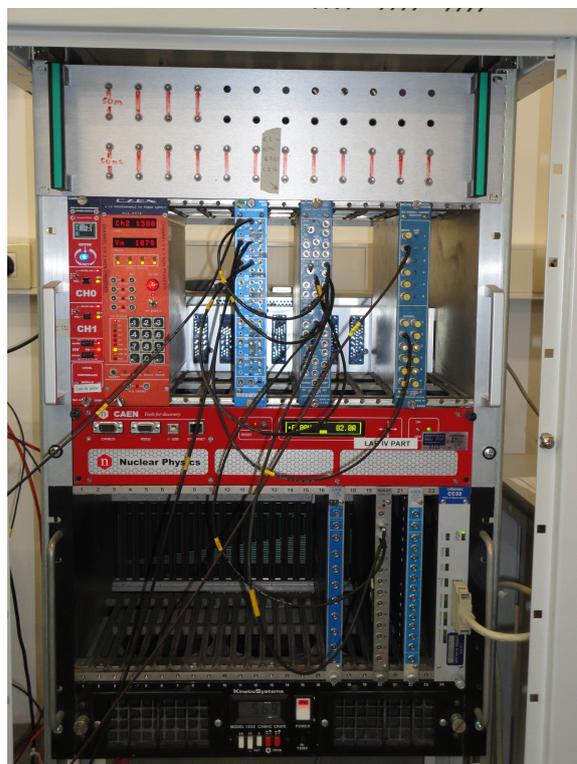


Figura 2: Apparato di misura

Per evitare perdite o distorsioni nella trasmissione del segnale sono stati usati tappi da 50Ω nelle uscite non utilizzate dell'amplificatore.

Per ottenere una buona risoluzione dei segnali logici prodotti da discriminatore e CU è stato necessario effettuare delle calibrazioni preparatorie: agendo sulla vite di minimo del discriminatore e della CU si è selezionata la minima larghezza possibile per gli impulsi logici generati da questi blocchi.

L'effetto di questa operazione è stato quello di minimizzare il numero di conteggi accidentali, aumentando di conseguenza i tempi di misura.

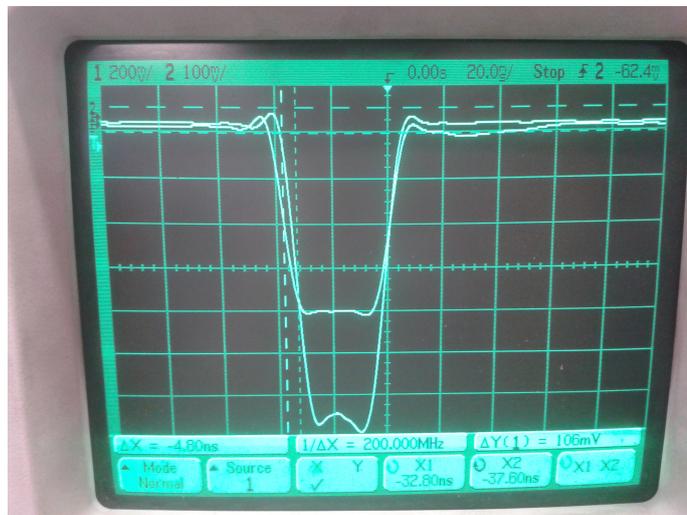


Figura 3: Visualizzazione di una coincidenza sull'oscilloscopio

3 Efficienza dei rilevatori

Prima di effettuare misure dettagliate sui tempi di volo è necessario trovare le tensioni di lavoro ottimali per tutti gli scintillatori, ovvero le tensioni che permettono loro di visualizzare più muoni possibili.

Si è utilizzata la configurazione seguente

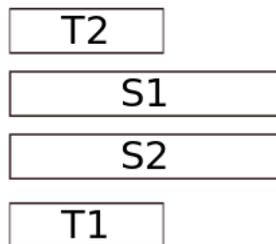


Figura 4: Configurazione a 4 rilevatori

La disposizione dei rilevatori è tale da massimizzare l'area efficace sovrapposta.

3.1 Scelta della tensione di T1 e T2

I rilevatori piccoli **T1** e **T2** serviranno in seguito per valutare l'efficienza dei rilevatori con area efficace maggiore, **S1** e **S2**, attraverso un conteggio di coincidenze. Quindi la loro tensione di lavoro ottimale è quella che permette di rilevare più muoni possibili senza provocare un eccesso nella capacità di conteggio degli scintillatori.

Si è fatta variare la tensione tra 1400 V e 1700 V mantenendo fisso il tempo di acquisizione dello scaler a 180 s.

I risultati della misura sono mostrati nel grafico seguente

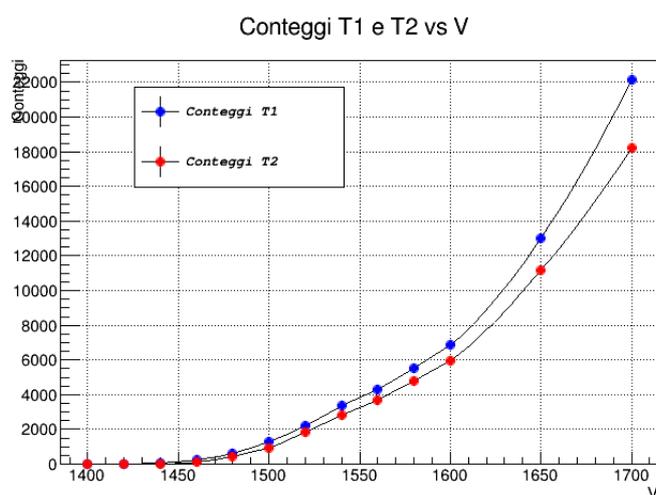


Figura 5: Andamento dei conteggi rilevati da T1 e T2 in funzione della tensione applicata

Si è quindi scelta la tensione di 1500 V per entrambi i rilevatori poiché è il punto in cui i conteggi risultano ancora confrontabili prima della crescita rapida a tensioni maggiori.

3.2 Efficienza di S1 e S2

Per problemi al rivelatore T2 è stato necessario ridefinire il setup per questa misura utilizzando al posto di T2 uno dei due rivelatori S alternandoli. Il rivelatore S1 di cui si vuole misurare l'efficienza è posto in mezzo agli altri due come in figura

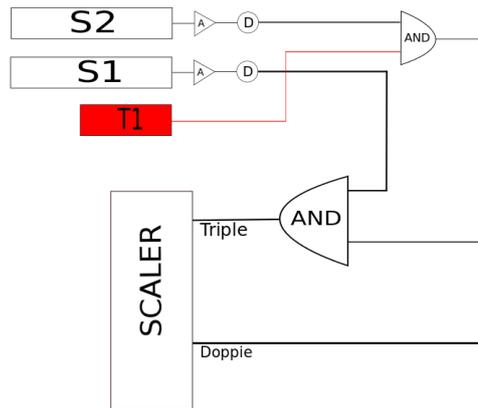


Figura 6: Configurazione a 3 rivelatori

Attraverso la CU sono state formate le seguenti coincidenze:

S2 & T1 coincidenza doppia

(S2 & T1) & S1 coincidenza tripla

contate attraverso lo scaler.

L'efficienza è definita come

$$\varepsilon_{S1} = \frac{N_{triple}}{N_{doppie}} \quad (2)$$

ed è stata misurata al variare della tensione di S1 nell'intervallo [800, 2000] V mantenendo fisso il tempo di acquisizione a 200 s; i rivelatori esterni sono stati tenuti alle tensioni

$$S2 = 1600 \text{ V}$$

$$T1 = 1500 \text{ V}$$

Scambiando i rilevatori S, si è effettuata la misura analoga per S2, mantenendo le stesse tensioni e lo stesso tempo di acquisizione.

I risultati dei due set di misure sono mostrati in figura

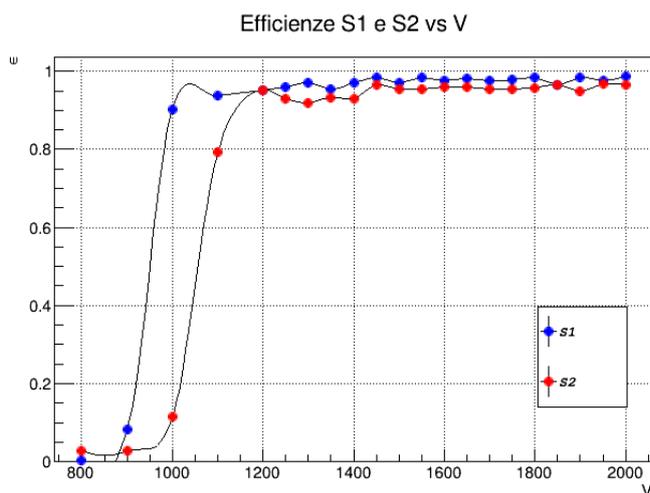


Figura 7: Andamento dell'efficienza dei rilevatori S al variare della tensione

Per stimare correttamente la tensione ottimale di lavoro è stato necessario misurare i conteggi rilevati da S1 e S2 al variare del voltaggio, nell'intervallo $[1200, 2000] V$, in modo da scegliere un punto di lavoro di massima efficienza e conteggi limitati.

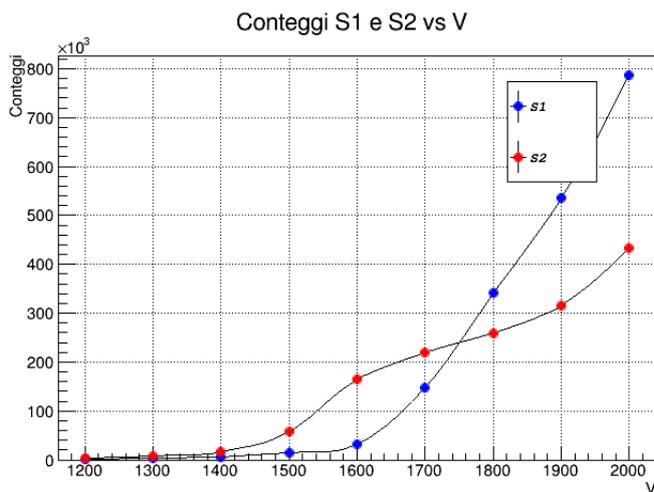


Figura 8: Andamento dei conteggi rilevati da S1 e S2 in funzione della tensione

Confrontando i grafici precedenti si sono scelte per i rilevatori S le seguenti tensioni ottimali

$$S1 = 1600 V$$

$$S2 = 1500 V$$

3.3 Coincidenze accidentali

Nella valutazione dell'efficienza è importante tenere conto delle coincidenze accidentali: per coincidenze accidentali si intendono tutti i conteggi non dovuti al passaggio di un singolo muone, ma alla rilevazione contemporanea di due muoni sui due rilevatori.

Per averne una stima sono stati utilizzati due metodi:

- durante la misura dell'efficienza è stato valutato, attraverso l'oscilloscopio, il tempo utile nel quale la rilevazione di un muone fa scattare una coincidenza tripla¹;
il **rate di coincidenze accidentali** è dato da

$$Rate_{acc} = rate_{triple} \cdot rate_{doppie} \cdot \Delta t_{utile} \quad (3)$$

Questo calcolo fornisce una prima stima delle coincidenze spurie, utilizzata come indicatore qualitativo della bontà della misura durante la presa dati.

- Dopo aver concluso la misura di efficienza, mantenendo sempre lo stesso setup utilizzato in precedenza, si sono misurati i **conteggi di coincidenze triple** per entrambi i rilevatori S. Ad ogni misura è stato *aggiunto manualmente un tempo di ritardo* rispetto al tempo in cui i segnali in uscita dalla coincidenza doppia e dal rilevatore S in esame arrivano in contemporanea.

Il ritardo è stato aggiunto nei punti indicati in figura

¹la larghezza dell'impulso delle coincidenze doppie

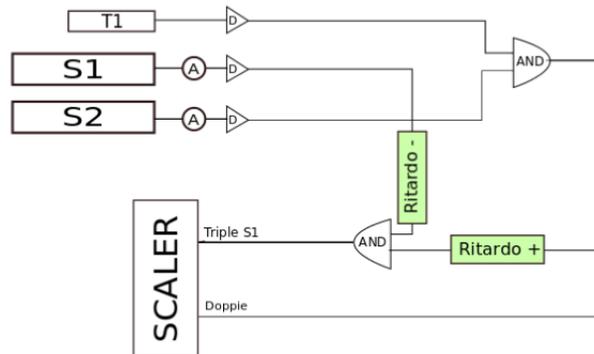


Figura 9: Configurazione con aggiunta di ritardi

Per convenzione si sono indicati come positivi i ritardi aggiunti alla coincidenza doppia e come negativi quelli associati al rivelatore con cui si forma la coincidenza tripla.

L'andamento dei conteggi delle coincidenze triple in funzione dei tempi di ritardo aggiunti dovrebbe mostrare un picco attorno al ritardo nullo e un fondo costante a ritardi elevati, determinato unicamente dalle coincidenze accidentali.

I dati raccolti sono mostrati nei seguenti grafici

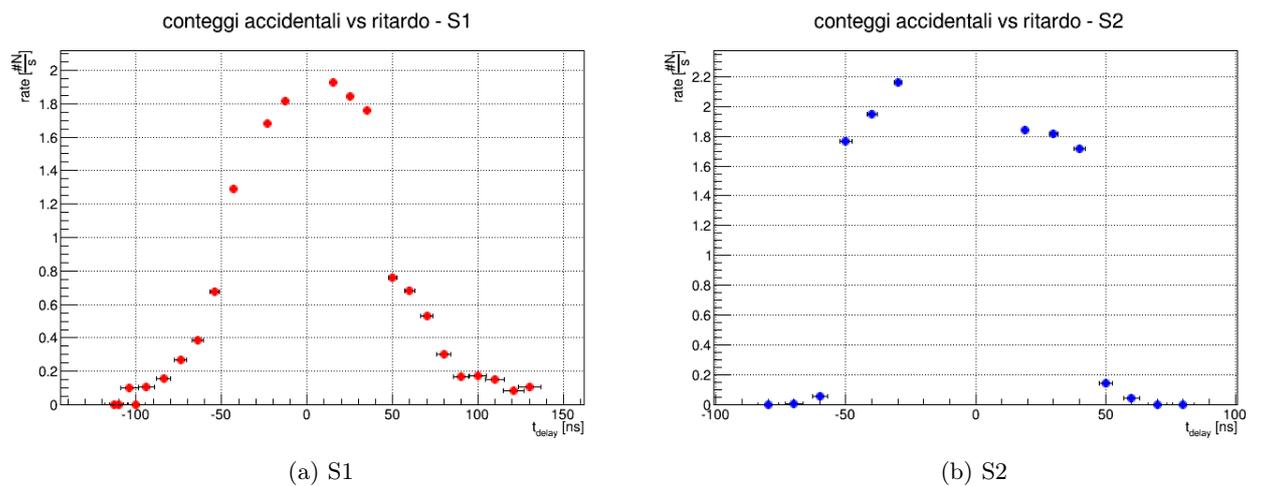


Figura 10: Andamento del rate di coincidenze accidentali

Si nota che l'andamento ottenuto si adatta qualitativamente a quello previsto, ma se ne discosta in quanto la regione centrale risulta allargata e il fondo misurato non è costante e tende ad annullarsi.

Date queste caratteristiche non è possibile ricavare il rate di coincidenze accidentali attraverso una procedura di fit del fondo: per questo motivo si utilizza come stima una media calcolata sui rate misurati a ritardi molto grandi.

Il risultato ottenuto è 0,1 conteggi accidentali al secondo.

La correzione alle efficienze calcolate precedentemente è pari al 5%.

4 Misura del flusso

Misurare il flusso dei muoni cosmici è necessario per:

- verificare l'andamento quantitativo della *dispersione angolare* dei muoni
- capire come variano i cammini dei muoni tra un rivelatore e l'altro nell'ambito della misura dei tempi di volo.

L'andamento angolare atteso è dato dall'espressione

$$\Phi_{\mu}(\vartheta) = \Phi_{\mu}(0)(\cos \vartheta)^2 \quad (4)$$

dove

ϑ è l'angolo di inclinazione zenitale,

$\Phi_{\mu}(0)$ è il flusso lungo la verticale,

$\Phi_{\mu}(\vartheta)$ è il flusso ricavato dalle misure attraverso la formula

$$\Phi_{\mu}(\vartheta) = \frac{N_{conteggi}}{T_{misura} \cdot A_{efficace}} \quad (5)$$

Inoltre è attesa un'*asimmetria EST-OVEST* del 10 % dovuta all'effetto di curvatura del campo magnetico terrestre sui raggi cosmici primari da cui si generano i muoni.

Per effettuare queste misure si sono utilizzati i rivelatori T, fissati parallelamente agli estremi di un parallelepipedo di polistirolo, che viene fatto ruotare per misurare la variazione di coincidenze doppie rispetto all'angolo di inclinazione del blocco.

I risultati ottenuti sono mostrati nei grafici seguenti

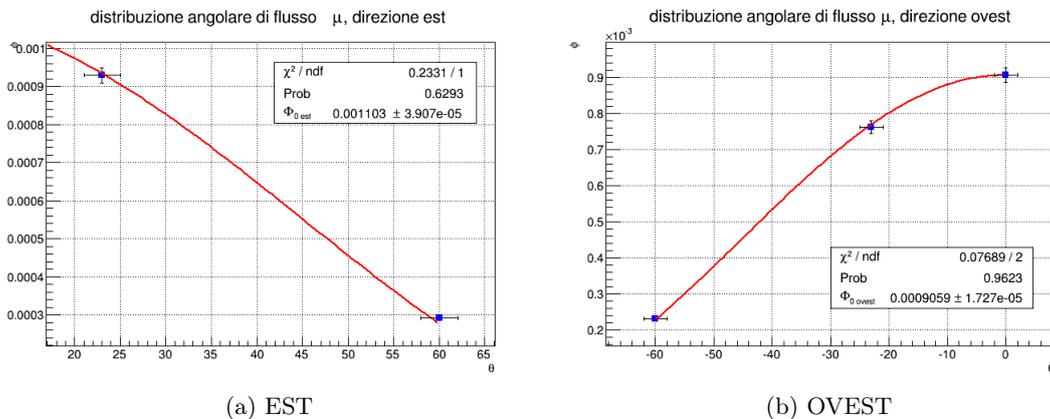


Figura 11: Distribuzione angolare del flusso dei muoni cosmici

L'andamento rispecchia quello atteso, mentre l'asimmetria EST-OVEST risulta essere del 20%; questa discrepanza può essere dovuta al fatto che è stato possibile prendere solo pochi punti a causa dell'instabilità strutturale dell'apparato (si veda tabella in allegato).

5 Calibrazione dell'unità TDC

L'unità TDC converte gli intervalli di tempo tra un segnale di *start* e un segnale di *stop* in valori digitali a 10 bit (1024 canali). È possibile impostare il fondo scala dello strumento scegliendo tra 100, 200 e 500 *ns*; per le misure successive è stata scelto il valore di 100 *ns*.

Prima di poter utilizzare il TDC per le misure del tempo di volo dei muoni è necessario effettuare una calibrazione per poter *convertire la risposta in canali in un intervallo di tempo*.

Questa calibrazione è stata fatta sovrapponendo a contatto i rilevatori S, usando come segnale di start la coincidenza S1 & S2 e come segnale di stop la stessa coincidenza ritardata: al variare del tempo di ritardo inserito vengono acquisiti i dati con il TDC.

Ad ogni tempo di ritardo corrisponde una distribuzione in canali dalla quale è possibile ricavare informazioni, sia attraverso i parametri dell'istogramma, sia attraverso una procedura di fit con una funzione gaussiana: le informazioni ottenute sono la media e la risoluzione (FWHM) in canali.

Confrontando questi dati con il valore noto del tempo di ritardo è possibile caratterizzare l'unità TDC.

Nelle misure di calibrazione è stato scelto di tenere i parametri forniti dall'**istogramma** rispetto a quelli forniti dal fit, perché in vari casi tutti i dati misurati dal TDC cadono in un unico bin, rendendo impossibile la procedura di fit e obbligando a scartare alcune misure (si veda tabella in allegato).

Dalle misure effettuate si è poi notato che l'intervallo di tempo massimo misurabile dal TDC corrisponde a 84 *ns* al posto di 100 *ns*, comportando una diminuzione del fondo scala.

In generale ci si aspetta che la risposta del TDC vari rispetto al t_{delay} secondo la relazione

$$t_{delay} = A + B \cdot Ch \tag{6}$$

dove

A e **B** sono i parametri della relazione lineare ricavati in seguito dal fit,

Ch è il valore in canali restituito dal TDC.

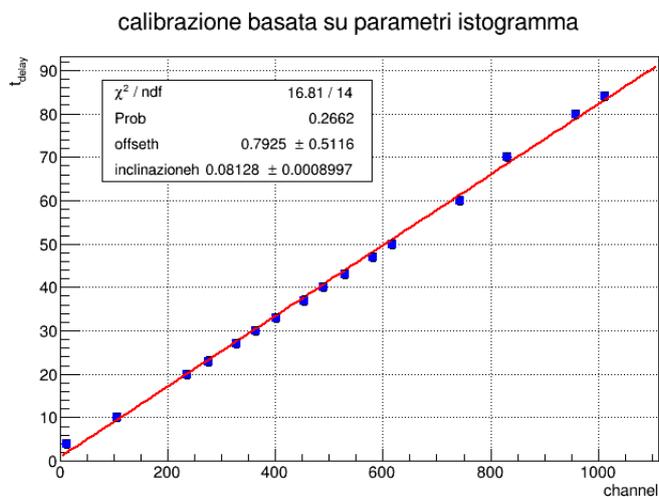


Figura 12: Retta di calibrazione dell'unità TDC

Dato lo scarso allineamento delle misure a fondo scala si è scelto di considerare solo le misure comprese fra 0 e 700 canali, all'interno delle quali ci si aspetta che cadano i tempi di volo dei muoni.

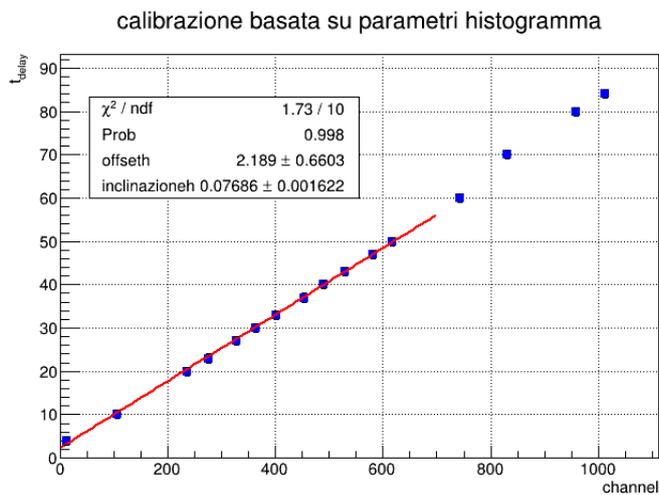


Figura 13: Retta di calibrazione con esclusione del fondo scala

Da questo adattamento si ricavano i parametri della relazione (6)

$$A = 2.2 \pm 0.6$$

$$B = 0.08 \pm 0.002$$

utilizzati in seguito per convertire la risposta in canali del TDC nella misura del tempo di volo dei muoni.

6 Tempo di volo

Per la misura del tempo di volo dei muoni, i rivelatori sono stati posti a diverse distanze d e sono stati misurati, attraverso il TDC, gli intervalli di tempo Δt tra il passaggio dei muoni in S1 e in S2, con la configurazione mostrata in figura

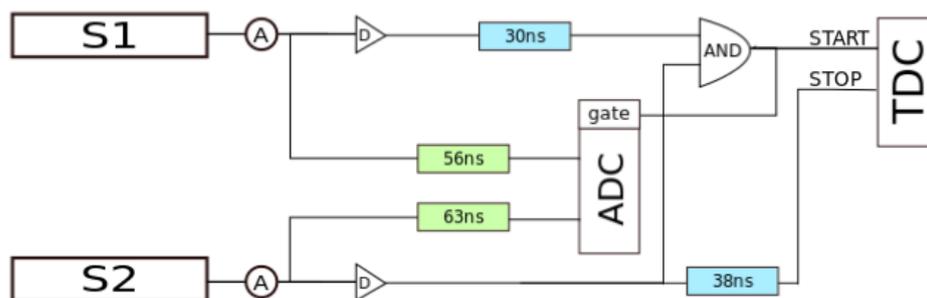


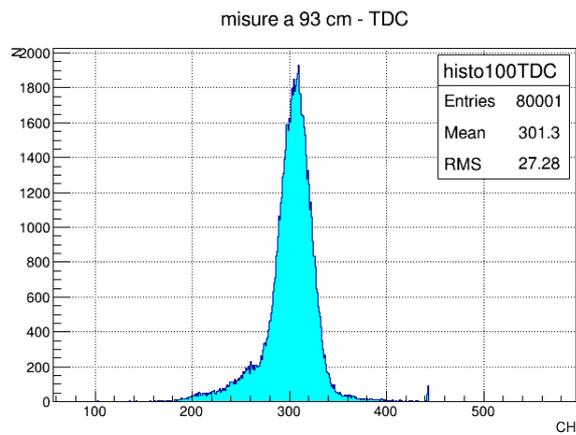
Figura 14: Configurazione per la misura dei tempi di volo

Nei punti evidenziati sono stati inseriti i rispettivi ritardi per due motivi:

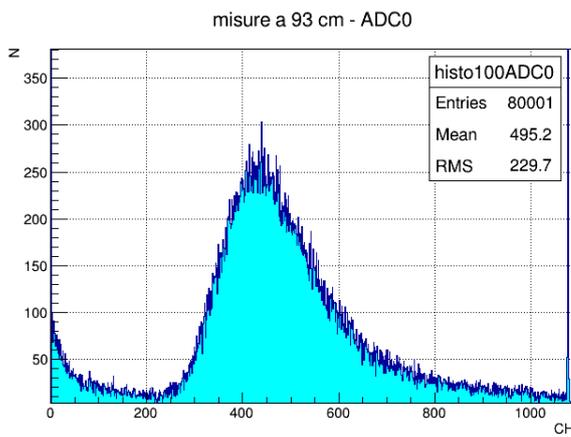
- per fare in modo che i segnali di arrivo di S1 e S2 cadano all'interno del *GATE* dell'ADC e siano così rilevati (verde),
- per fare in modo che i canali più utilizzati del TDC siano quelli al centro della retta di calibrazione perché è la zona meglio caratterizzata (blu);
- inoltre a tempi minori di 4 ns il TDC non rileva alcun segnale.

Per le misure si sono scelte le distanze di 12,5 cm, 50 cm, 93 cm, 137 cm e 186 cm: per ogni distanza sono stati fissati 80.000 conteggi e sono stati ottenuti i seguenti risultati: ²

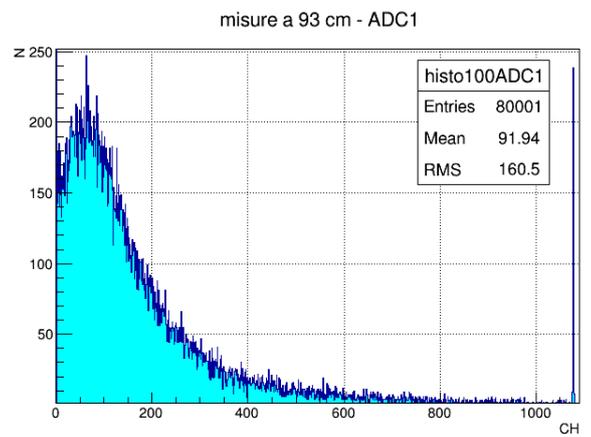
²come esempio sono state scelte le misure relative alla distanza di 93 cm



(a) Distribuzione dei conteggi



(b) Spettro in ampiezza degli impulsi di S1



(c) Spettro in ampiezza degli impulsi di S2

Figura 15: Distribuzioni senza correzione

dove

TDC riguarda la distribuzione dei tempi di volo,

ADC0 e ADC1 riguardano le ampiezze dei segnali rispettivamente di S1 e S2.

Per poter fare le successive correzioni dell'*amplitude walk* è necessario selezionare i dati in corrispondenza dei picchi principali degli ADC: per visualizzare con precisione la regione nella quale effettuare i tagli si è utilizzato il seguente grafico

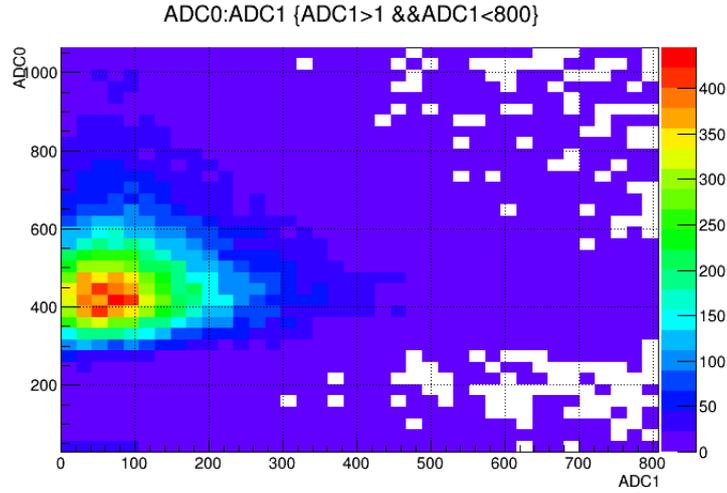


Figura 16: Correlazione fra le ampiezze degli impulsi dei due scintillatori

Dal grafico precedente si osserva che c'è una scarsa correlazione tra i segnali di ADC0 e ADC1, mentre sono ben visibili i picchi principali:

$$250 < ADC0 < 570 \text{ e } 70 < ADC1 < 250.$$

Una volta effettuati i tagli sono stati graficati gli andamenti del TDC in funzione dei due canali dell'ADC: ci si aspetta un andamento logaritmico dovuto all'**amplitude walk**, dato dall'espressione

$$\Delta t_{ADC} = \tau \ln \frac{ADC}{ADC - V_{th}} + offset \quad (7)$$

dove

τ è il tempo caratteristico dell'impulso associato alla rilevazione del muone,

V_{th} è la tensione di soglia con cui viene rilevato il segnale,

offset è un parametro introdotto per tenere conto dello spostamento rispetto all'origine degli assi.

I precedenti parametri sono stati ricavati da una procedura di fit.

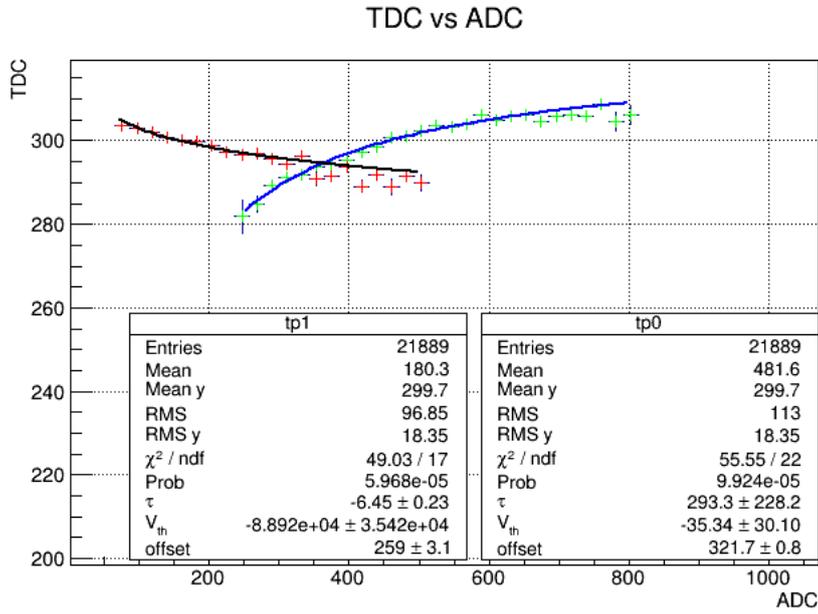


Figura 17: Andamento del TDC in funzione delle ampiezze

I dati ottenuti rispecchiano l'andamento previsto e, utilizzando le stime dei parametri così trovate, è stato possibile effettuare la correzione dell'*amplitude walk* sui tempi, attraverso la formula

$$TDC_{corr} = TDC - (\Delta t_{ADC0} - offset_1) - (\Delta t_{ADC1} - offset_2) \quad (8)$$

L'effetto della correzione è ben visibile nel grafico seguente dove il TDC è costante rispetto all'ADC.

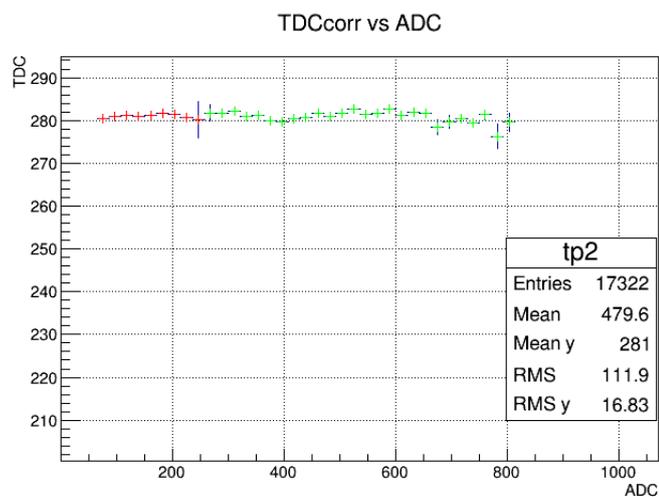


Figura 18: Andamento del TDC rispetto alle ampiezze dell'ADC dopo la correzione

La stessa correzione si applica ai valori registrati dal TDC, ottenendo una distribuzione gaussiana dove non sono più presenti le code (confrontare figura 15).

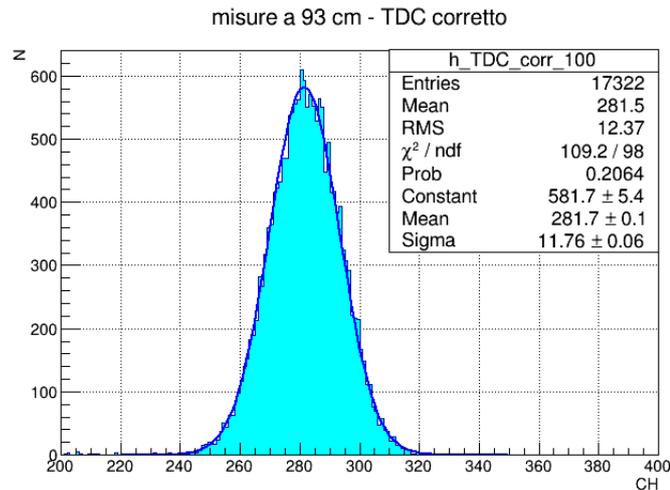


Figura 19: Distribuzione dei tempi dopo la correzione

L'adattamento con la funzione gaussiana permette di trovare il *canale* su cui è centrato l'istogramma: attraverso la calibrazione fatta in precedenza questo valore viene convertito in un *tempo di volo*.³

³il tempo ottenuto è maggiore di quello effettivo a causa dei ritardi aggiunti

Mettendo in relazione i tempi di volo ottenuti in questo modo con le rispettive distanze si ottiene l'andamento lineare atteso.

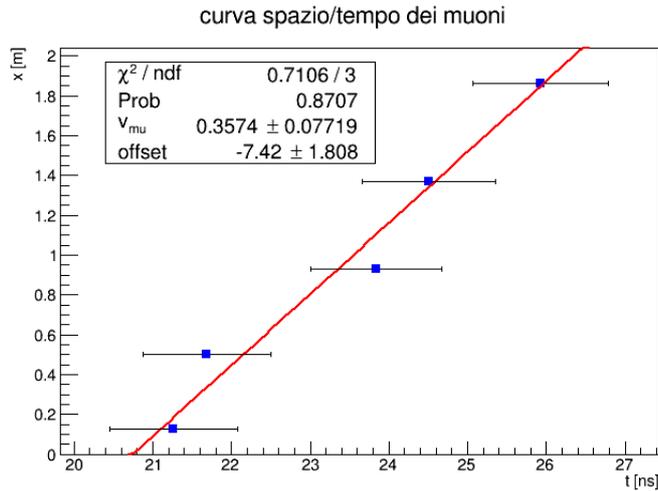


Figura 20: Andamento lineare del tempo di volo in funzione della distanza

Interpolando i dati con una retta è possibile stimare, dal coefficiente angolare, la velocità dei muoni cosmici, che risulta essere $v_{\mu} = (3,57 \pm 0,77)10^8 \text{ m/s}$ compatibile con il valore atteso di una velocità prossima a c .

Per stimare l'errore sul tempo di volo si è dovuto tenere conto di due contributi:

- l'effettivo allargamento della distribuzione dei tempi valutato attraverso l'errore sulla media dato da $\frac{\sigma}{\sqrt{N}}$, dove N sono le entrate dell'istogramma e σ è la deviazione standard della gaussiana;
- un errore sistematico dovuto alla scelta della regione di taglio: modificando di pochi bin gli estremi di questa regione si è osservata una variazione del valor medio della distribuzione del TDC corretto di circa 3 canali, usata come stima dell'errore.

6.1 Correzione delle distanze

Per tenere conto del fatto che le traiettorie dei muoni hanno una distribuzione angolare, si è effettuata una correzione delle distanze attraverso una **simulazione Monte Carlo**.

Si è generata una distribuzione uniforme sullo scintillatore superiore, assegnando ad ogni punto generato i due angoli polari ϑ e φ :

ϑ segue la distribuzione $\cos^2(\vartheta)\sin(\vartheta)$ ed è stato limitato tra 0 e ϑ_{max} , che è l'angolo massimo compreso tra la verticale e la diagonale che collega le estremità opposte dei due rilevatori,

φ è invece generato casualmente tra 0 e 2π .

Noti questi due angoli, la distanza tra i due rilevatori e le loro aree è stato possibile controllare che il muone simulato attraversasse anche il secondo scintillatore e, nel caso, calcolare l'effettiva distanza percorsa. Ripetendo questo procedimento per 4 milioni di muoni si è ottenuta la distribuzione seguente

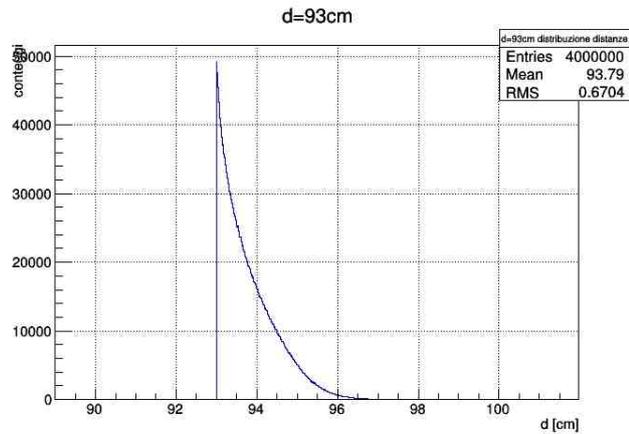


Figura 21: Simulazione delle distanze

La media di questa distribuzione ($93,8 \text{ cm}$) è stata utilizzata per correggere la distanza nel grafico seguente, ripetendo il procedimento per tutte le 5 distanze considerate

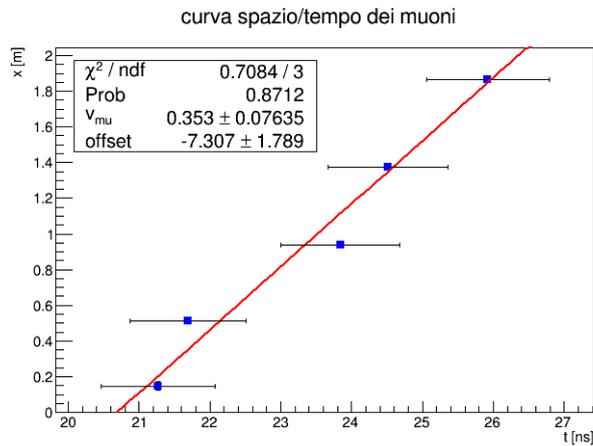


Figura 22: Andamento lineare del tempo di volo in funzione della distanza

7 Binomiale

La statistica del processo di rilevazione dei muoni è di tipo binomiale perché ogni passaggio ha una probabilità fissata di essere conteggiato. Per caratterizzare questa probabilità ed avere una stima dell'errore nei conteggi visualizzati dai rilevatori, si effettua una serie di misure a numero fissato di conteggi (100) per ottenere una distribuzione di cui si vuole verificare l'adattamento alla legge binomiale, data da

$$P(n, k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k} \quad (9)$$

dove

p è la probabilità di successo,

n è il numero totale di prove,

k è il numero di successi.

I rilevatori sono stati disposti come in figura

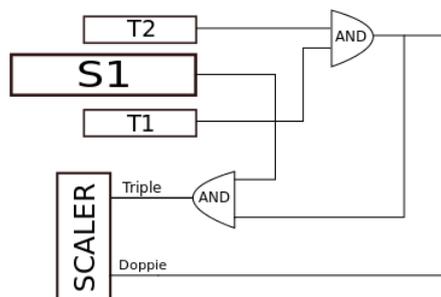


Figura 23: Configurazione a 3 rilevatori per verificare la distribuzione binomiale

dove con i rilevatori T si contano le coincidenze doppie e con il rilevatore S le triple.

Si è ripetuta la stessa procedura sia per S1 che per S2 con i seguenti risultati ⁴

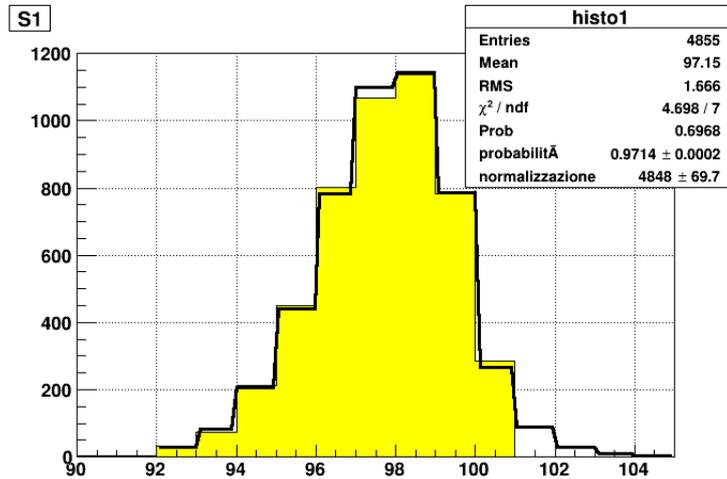


Figura 24: Adattamento della distribuzione binomiale

La probabilità che un muone venga rilevato dallo scintillatore S1 risulta essere del 97%, che corrisponde ad un errore sui conteggi del 2,9%.

8 Conclusione

La misura della velocità dei muoni, con le correzioni delle distanze, ha portato il seguente risultato

$$v_{\mu} = (3,53 \pm 0,76) \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad (10)$$

Questo valore è in accordo, entro $0,7 \sigma$, con il risultato atteso di una velocità molto prossima a c .

⁴come esempio è riportato l'andamento di S1

TABELLE DATI

EFFICIENZA T1 E T2

V [T1 e T2]	conteggi T1	conteggi T2
1400	0	0
1420	8	6
1440	73	22
1460	245	118
1480	612	461
1500	1300	950
1520	2184	1876
1540	3360	2839
1560	4280	3682
1580	5543	4817
1600	6865	5970

EFFICIENZA S1

V [S1]	T1&S2	(T1&S2)&S1	Efficienza %
800	380	1	0,26
900	374	31	8,29
1000	415	375	90,36
1100	422	396	93,84
1200	391	372	95,14
1250	379	364	96,04
1300	389	378	97,17
1350	412	393	95,39
1400	395	384	97,22
1450	371	365	98,38
1500	407	395	97,05
1550	444	437	98,42
1600	384	375	97,66
1650	430	422	98,14
1700	392	383	97,70
1750	405	396	97,78
1800	415	408	98,31
1850	387	374	96,64
1900	369	363	98,37
1950	391	382	97,70
2000	398	393	98,74

TABELLE DATI

EFFICIENZA S2

V [S2]	T1&S1	(T1&S1)&S2	Efficienza %
800	423	12	2,84
900	447	12	2,68
1000	465	53	11,40
1100	433	343	79,21
1200	447	426	95,30
1250	479	445	92,90
1300	440	404	91,82
1350	449	419	93,32
1400	421	392	93,11
1450	402	388	96,52
1500	449	429	95,55
1550	446	426	95,52
1600	389	373	95,89
1650	440	422	95,91
1700	416	397	95,43
1750	437	417	95,42
1800	421	403	95,72
1850	499	482	96,59
1900	473	449	94,93
1950	426	412	96,71
2000	434	419	96,54

CONTEGGI ACCIDENTALI S1

Δt [ns]	N (triple)	Rate (#/s)
130	13	0,11
121	10	0,08
110	18	0,15
100	21	0,18
90	20	0,17
80	36	0,30
70	64	0,53
60	82	0,68
50	91	0,76
35	211	1,76
25	221	1,84
15	231	1,93
-13	218	1,82
-23	202	1,68
-43	155	1,29
-54	81	0,68
-64	46	0,38
-74	32	0,27
-84	19	0,16
-94	13	0,11
-104	12	0,10

TABELLE DATI

CONTEGGI ACCIDENTALI S2

Δt [ns]	N (triple)	Rate (#/s)
-80	0	0,00
-70	1	0,01
-60	7	0,06
-50	212	1,77
-40	234	1,95
-30	259	2,16
19	221	1,84
30	218	1,82
40	206	1,72
50	17	0,14
60	5	0,04
70	0	0,00
80	0	0,00

FLUSSO

Angolo (°)	errore (°)	Flusso[#/s cm ²]	errore (%)
-60	2	0,000233	2,72
-23	2	0,000763	2,27
0	2	0,000907	2,25
23	2	0,000930	2,25
60	2	0,000292	2,55

CALIBRAZIONE TDC

istogramma

fit

t ritardo [ns]	errore [ns]	MEDIA [ch]	FWHM [ch]	MEDIA [ch]	FWHM [ch]	STATUS
4	1	11,00	0,00	10,55	3,63	FAILED
10	1	106,01	0,18	106,77	0,51	CONVERGED
20	1	236,00	0,00	236,49	0,37	NOT POSDEF
23	1	276,00	0,00	126,72	603,68	FAILED
27	1	328,00	0,00	328,51	0,05	NOT POSDEF
30	1	364,00	0,00	364,47	0,36	NOT POSDEF
33	1	402,00	0,00	402,33	0,30	NOT POSDEF
37	1	454,00	0,00	252,13	651,75	FAILED
40	1	490,01	0,23	490,78	0,51	CONVERGED
43	1	529,00	0,00	555,70	267,44	FAILED
47	1	581,00	0,00	581,86	2,63	FAILED
50	1	617,11	0,74	617,89	0,55	CONVERGED
60	1	744,00	0,00	744,68	0,96	FAILED
70	1	830,15	0,84	830,90	0,56	CONVERGED
80	1	959,05	0,56	959,66	0,82	CONVERGED
84	1	1011,98	0,29	1012,21	0,53	NOT POSDEF