

# **VII CAPITOLO**

## **MISURE SUL PROTOTIPO Q2**

Concluse le misure di impedenza su Q2, sono state ultimate le connessioni di strips, catodi e fili per l'alimentazione e successivamente chiuse ermeticamente le due testate come descritto nel capitolo 3.

Completato poi il cablaggio delle schede di supporto dell'elettronica di front end nel box di alluminio posto a chiusura della testata lato segnali, è iniziata una serie di acquisizioni, utilizzando gli amplificatori descritti nel capitolo 5, che hanno interessato il periodo che va da fine novembre a metà dicembre '96.

Le acquisizioni effettuate assieme alla loro analisi saranno descritte in dettaglio in questo capitolo che terminerà con l'esposizione dei risultati sulla misura dello spazio morto della camera, misure effettuate nel periodo di fine dicembre '96, inizio gennaio '97.

### **VII.1 DESCRIZIONE DELLE MISURE EFFETTUATE**

Come detto, verso la fine di novembre '96 è stato pianificato un intenso programma di acquisizioni di segnali della camera, utilizzando come sorgente i raggi cosmici, per studiarne le caratteristiche al variare di alcuni parametri come le tensioni di alimentazione e il tipo di filo costituente gli anodi. I segnali prodotti dalle interazioni sono stati acquisiti con gli amplificatori di corrente sviluppati nel capitolo 5 e quindi nella loro forma nativa.

Abbiamo utilizzato alcuni scintillatori per definire la direzione dei raggi cosmici e per delimitare la zona di camera soggetta all'interazione.

Nello stesso periodo sono state fatte da E. Conti misure con una sorgente radioattiva volte soprattutto alla misura del fattore di moltiplicazione, utilizzando gli stessi amplificatori di corrente.

#### **VII.1.1 Obiettivi prefissati**

Gli obiettivi principali che ci proponiamo sono essenzialmente i seguenti:

- confronto tra fili in acciaio e in tungsteno, per quanto riguarda il fronte di salita dei segnali;
- misura del fattore di moltiplicazione;

- costituzione di un database di eventi per eventuali analisi successive.

Il primo obiettivo è facilmente comprensibile da quanto detto nel capitolo 4 sulla forte attenuazione dell'acciaio rispetto al tungsteno: vogliamo analizzare dettagliatamente la sua influenza sui tempi di salita dei segnali.

Conoscere il fattore di moltiplicazione in funzione delle tensioni degli elettrodi è fondamentale per ottimizzare il funzionamento del rivelatore. L'ideale è di tenere abbastanza basso il fattore sia per i benefici di utilizzare tensioni di alimentazione minori (minore invecchiamento delle camere) sia per evitare segnali secondari, oltre al principale, poco graditi all'elettronica di front end, fermo restando che deve essere sufficiente a garantire l'efficienza e la risoluzione temporale volute.

Il database infine, oltre alla possibilità permettere ulteriori analisi future, è utilizzabile nello sviluppo e nell'ottimizzazione del front end fornendo un grande numero di segnali di test reali.

### **VII.1.2 Setup sperimentale**

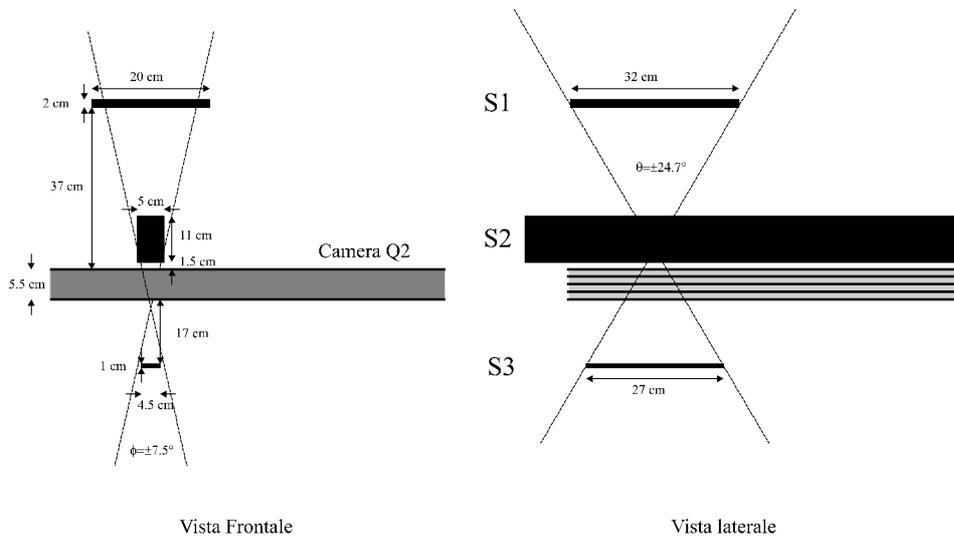
I segnali sono stati tutti acquisiti con l'oscilloscopio LeCroy già utilizzato per Q1 e registrati su supporto magnetico (dischetti da 1.4 MB), utilizzando la funzione di autostore, fino al riempimento dello stesso.

In generale il sampling-time utilizzato è di 1 ns, proprio perché uno degli scopi è l'analisi del fronte di salita dei segnali, mentre il tempo di acquisizione è un compromesso tra l'esigenza di raccogliere la maggior parte della carica e quella di limitare sia la quantità di spazio occupato dal singolo segnale sul dischetto sia il tempo di acquisizione entro limiti ragionevoli.

Il metodo di acquisizione all'oscilloscopio è diverso da quello utilizzato per Q1: infatti il segnale di trigger che comandava la registrazione di un evento era dato dalla coincidenza di un telescopio di tre scintillatori senza alcuna restrizione sul segnale prodotto della camera; inoltre la registrazione iniziava circa 300 ns prima del trigger, in modo da poter acquisire anche i segnali che arrivavano in anticipo rispetto agli scintillatori e per avere la possibilità di ricavare il piedistallo nella successiva elaborazione.

Il motivo di questa scelta consiste nel fatto che il segnale di trigger del telescopio, per i vari ritardi dovuti alla sua formazione (cavi e modulistica di elaborazione), poteva arrivare dopo il segnale: o si ritardava il segnale con la conseguenza di peggiorare le caratteristiche del fronte che si volevano determinare o si procedeva nel modo fatto con il trascurabile inconveniente di registrare degli eventi inesistenti (attorno al 10% del totale) per il fatto che gli scintillatori coprivano, in larghezza, una zona maggiore di quella coperta dalla cella.

Nella Figura VII.1 è raffigurato lo schema della disposizione degli scintillatori utilizzato per tutte le acquisizioni assieme alle loro precise dimensioni.



**Figura VII.1:** setup del telescopio di scintillatori.

Gli scintillatori S2 ed S3 sono utilizzati per selezionare l'angolo  $j$  nel piano ortogonale ai fili, mentre S1 ed S3 l'angolo  $q$  nel piano perpendicolare alla camera e parallelo ai fili. Si è cercato di limitare il più possibile l'angolo  $j$  affinché le tracce fossero parallele alla cella, in modo che il segnale iniziale fosse determinato dagli elettroni prodotti sull'asse mediano della stessa. S2 ed S3 erano disposti in modo che l'area attiva della cella fosse a circa 5 cm dall'inizio del filo; la stessa disposizione si è mantenuta per entrambe le testate della camera.

La coincidenza è stata fatta in maniera che il segnale di trigger per l'acquisizione derivasse sempre dallo scintillatore più piccolo (in modo da minimizzare il jitter), S3, ritardando e formando opportunamente i segnali dei tre scintillatori.

### VII.1.3 Ottimizzazione dell'elettronica di acquisizione

Per l'acquisizione dei segnali abbiamo utilizzato gli stessi amplificatori di corrente già usati per Q1 con la stessa schedina di supporto, è stato però compiuto un lavoro molto più accurato per minimizzare il rumore.

Oltre ai fili di alimentazione sono stati schermati con una calza anche i cavetti coassiali dei segnali e collegato alla massa della scheda di supporto, con delle corte calze, anche il piano di massa delle schedine degli amplificatori.

Tutto questo ha portato ad avere un RMS stabilmente al di sotto di 1 mV, molto spesso attorno agli 0.4 mV che corrisponde a circa 70 nA.

A tutti gli amplificatori sono state aggiunte le resistenze in serie all'ingresso da 200  $\Omega$ , per adattare l'impedenza della linea come già fatto per le misure su Q1.

### VII.1.4 Acquisizioni fatte

Per quanto riguarda le tensioni degli elettrodi della camera sono state scelte tre condizioni di funzionamento: la prima è quella di base che ha buone probabilità di essere quella definitiva, con una tensione anodo-strips di 1800 V, le altre due sono delle prove per verificare in un caso l'effetto dell'utilizzo di tensioni più alte a parità di tensione anodo-strips, nell'altro l'aumento del fattore di moltiplicazione portando la tensione anodo-strips a 1950 V.

**Tabella VII.1**

	<b>Catodi</b>	<b>Strips</b>	<b>Anodi</b>
<b>A</b>	-1500 V	1500 V	3300 V
<b>B</b>	-1800 V	1800 V	3600 V
<b>C</b>	-1500 V	1500 V	3300 V

Tutte le acquisizioni sono state fatte nelle stesse condizioni ambientali con un flusso per la miscela di 5 cc/minuto.

**Tabella VII.2**

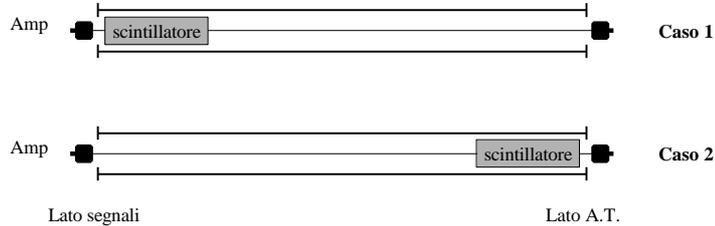
<b>Run</b>	<b>Catodi (V)</b>	<b>Strips (V)</b>	<b>Wire (V)</b>	<b>Tipo filo</b>	<b>Lato camera</b>	<b>Rate (Hz)</b>
1	-1500	1500	3300	Tung.-C2	A.T.	0.13
2	-1800	1800	3600	Tung.-C2	A.T.	
3	-1500	1500	3300	Tung.-C2	A.T.	
4	-1500	1500	3450	Tung.-C2	Segnali	0.15
5	-1500	1500	3300	Tung.-C2	Segnali	
6	-1800	1800	3600	Tung.-C2	Segnali	
7	-1500	1500	3300	Acciaio-C6	Segnali	0.12
8	-1500	1500	3300	Acciaio-C6	Segnali	
9	-1800	1800	3600	Acciaio-C6	Segnali	
10	-1800	1800	3600	Acciaio-C6	A.T.	0.12
11	-1500	1500	3300	Acciaio-C6	A.T.	
12	-1500	1500	3300	Acciaio-C6	A.T.	

Nella Tabella VII.2 sono descritti i primi 12 run (un *run* è costituito dalle acquisizioni che si riferiscono ad un particolare setup); il rate, presente anche nelle altre tabelle, si riferisce al conteggio dei trigger degli scintillatori.

Con queste misure si vuole vedere l'effetto della lunghezza della camera e del tipo di filo (tungsteno e acciaio) costituente l'anodo sul segnale prodotto; nei tre casi di

funzionamento della camera e per entrambi i fili sono state considerate due diverse disposizioni (Figura VII.2):

- scintillatore vicino all'amplificatore di corrente (caso 1);
- scintillatore lontano dall'amplificatore di corrente (caso 2).



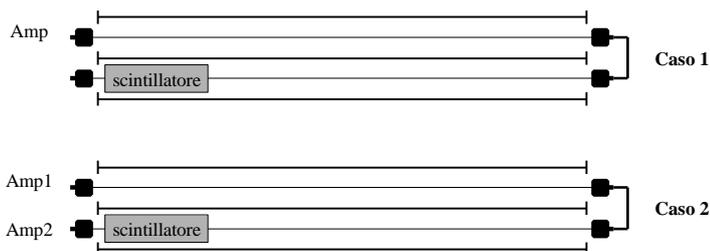
**Figura VII.2:** schema setup run1-run12.

La Tabella VII.3 si riferisce alla raccolta dati sui fili doppi (tungsteno e acciaio). Per meglio visualizzare la situazione sperimentale ci riferiamo allo schema di Figura VII.3: sono stati fatti due tipi di acquisizioni (sempre per entrambi i tipi di filo) con una sola scelta di tensioni per la camera:

- un amplificatore collegato al pin e scintillatore lontano con un estremo della linea aperto (caso 1);
- amplificatori ad entrambi i pin e scintillatore nella stessa posizione di prima (caso 2).

**Tabella VII.3**

Catodi: -1800 V, Strips: 1800 V, Wire: 3600 V				
Run	Tipo fili	Trigger vicino	Trigger lontano	Rate (Hz)
13	Acciaio	D5	D6	0.12
13bis	Acciaio	D5	D6	
14	Acciaio	-	D6	
15	Tungsteno	-	D2	0.13
16	Tungsteno	D1	D2	
16bis	Tungsteno	D1	D2	



**Figura VII.3:** schema del setup per i doppi fili.

Nella Tabella VII.4 sono descritti i run utilizzati per la determinazione del fattore di moltiplicazione; dovendo costituire delle integrazioni ai run 4 e 5 il setup è lo stesso di questi ultimi, vengono solo modificate le tensioni degli anodi in modo da avere nell'insieme una variazione nella tensione anodo-strips in step di 50 V.

Per avere a disposizione un maggior numero di eventi, mantenendo il tempo di acquisizione a 2  $\mu$ s, abbiamo diminuito il sampling-time dato che in questo caso non siamo interessati allo studio del fronte dei segnali.

**Tabella VII.4**

<b>Run</b>	<b>Catodi (V)</b>	<b>Strips (V)</b>	<b>Wire (V)</b>	<b>Tipo filo</b>	<b>Lato camera</b>	<b>Rate (Hz)</b>
17	-1500	1500	3350	Tung.-C2	segnali	0.12
18	-1500	1500	3400	Tung.-C2	segnali	
19	-1500	1500	3250	Tung.-C2	segnali	

La Tabella VII.5 descrive i run 20, 21 e 22 utilizzati per verificare la dipendenza della forma della distribuzione dello spettro di carica dalla distanza dal filo della traccia ionizzante.

**Tabella VII.5**

<b>Catodi: -1500 V, Strips: 1500 V, Wire: 3300 V</b>					
<b>Run</b>	<b>Tipo fili</b>	<b>Lato camera</b>	<b>Start (ns)</b>	<b>Stop (ns)</b>	<b>Soglia (mV)</b>
20	Tung.-A2	segnali	90	110	3
21	Tung.-C2	segnali	140	160	3
22	Tung.-C2	segnali	40	60	3

Gli eventi sono stati selezionati in una finestra di 20 ns: il segnale del telescopio di scintillatori è stato formato con una durata pari al valore dello *Stop* e si è impostato l'oscilloscopio in modo che triggerasse sul segnale (con soglia a 3 mV) nella finestra temporale definita dagli scintillatori dopo un tempo pari a *Start* dal suo inizio.

Come si vede dalla tabella il numero di eventi raccolti per ogni run non è fisso ed è composto da un minor numero di segnali rispetto agli altri casi: la selezione imposta agli eventi richiede infatti molto più tempo per l'acquisizione (considerato che il tempo massimo di drift è di circa 400 ns l'acquisizione è circa 20 volte più lenta) e si è dovuto conciliare le esigenze degli altri utilizzatori.

Nella Tabella VII.6 della pagina seguente, infine, sono riportati i parametri di interesse utilizzati per l'oscilloscopio in tutti i vari run. In particolare le variazioni nella scala

verticale tengono conto dell'ampiezza media dei segnali: per ogni run è stata scelta la scala più confacente.

Tabella VII.6

Run	Sampling time (ns)	Tempo acq. (ms)	Scala vert. (mV/div)	Eventi
1, 2, 5-7, 9, 10, 12	1	2	20	562
3, 4, 8, 11	1	2	50	562
13-13bis (D5/D6)	1	2	20/5	562
14	1	2	10	562
15	1	2	50	562
16-16bis (D1/D2)	1	2	20/10	562
17	4	2	20	1000
18	4	2	50	1000
19	4	2	10	1000
20	2	5	10	202
21	2	5	10	469
22	2	5	10	334

## VII.2 SEGNALI MEDI, SPETTRO DI CARICA

Per tutti i vari run acquisiti abbiamo ricavato segnale medio, spettro di carica e tempi di deriva: nel calcolo abbiamo utilizzato i primi 100 ns per ricavare il piedistallo da sottrarre al segnale, per riportare a zero la linea di base.

Dato che l'inizio del segnale è compreso in una finestra di circa 400 ns l'integrazione viene fatta per tutti con un tempo costante di 1500 ns. Abbiamo detto che il trigger utilizzato implica la presenza di segnali non veri che devono essere tolti dallo spettro di carica per il calcolo della media. Invece di fissare una soglia nell'algoritmo di calcolo per eliminare questo background si è preferito definire i limiti della media direttamente dall'esame finale dello spettro totale: in alcuni casi infatti lo spettro di background era contiguo a quello di interesse.

Il segnale medio è stato ricavato imponendo una soglia di 4 mV (che si è visto essere sufficientemente immune al rumore) e traslando i segnali per allinearli ad uno stesso istante iniziale prima di sommarli; la somma è stata poi normalizzata dividendo per il numero totale di eventi. La stessa soglia è stata utilizzata per determinare le time box, ovvero la distribuzione dei tempi di drift.

Infine, sempre utilizzando i primi 100 ns del segnali, abbiamo calcolato la deviazione standard per conoscere il rumore presente.

I risultati si possono vedere nelle figure delle pagine seguenti organizzati in modo da facilitare il confronto tra i due tipi di fili; per ogni run sono mostrati:

- spettro in carica con la media calcolata dopo aver tolto il fondo costituito dai segnali privi di eventi, il numero di eventi considerati nella media e la deviazione standard;
- istogramma del rumore (calcolando l'RMS dei primi 100 ns) su tutti i segnali con media e deviazione standard;
- segnale medio con massimo e numero di eventi considerati nel calcolo;
- time box su un numero di eventi pari a quelli utilizzati nel calcolo del segnale medio.

### VII.2.1 Spettro di carica

Negli spettri di carica è stato calcolato il valore medio della distribuzione, in realtà tale quantità è abbastanza diversa dalla carica che corrisponde al massimo dei picchi che dà l'energia media depositata da una mip: la media è utile comunque per confrontare i vari casi e soprattutto facilmente calcolabile. Non è semplice, infatti, ricavare la carica che corrisponde al massimo del picco, sia per il numero non elevato di eventi, sia per la forma della distribuzione dovuta allo spessore attivo sottile della cella<sup>1</sup> e alla sua variabilità con la distanza dall'anodo.

In tutti i casi si nota una diminuzione nel valore medio (e nella posizione del massimo del picco) tra tungsteno e acciaio, questo fatto si può spiegare con l'attenuazione maggiore dell'acciaio: la carica viene "diluita" nel tempo, e operando con un tempo fisso di integrazione ne viene raccolta una quantità minore. D'altra parte, prima o dopo, la carica dobbiamo raccoglierla tutta, escluse le perdite del dielettrico della linea e delle resistenze per le alimentazioni che non dipendono dal tipo di filo. Bisogna infine tener presente che i fili e le celle sono geometricamente diversi per cui il fattore di moltiplicazione difficilmente può essere lo stesso<sup>2</sup>.

Il confronto tra gli spettri con tensioni -1500, 1500 e 3300 e quelli con -1800, 1800 e 3600 mostra per quest'ultimo caso un valore medio maggiore, pur restando fissa la tensione anodo-strips, in effetti il fattore di moltiplicazione dipende, anche se in misura minore, dalla tensione delle strips.

---

<sup>1</sup> Questo argomento è stato affrontato nel capitolo 2.

<sup>2</sup> Il fatto che la diminuzione sia presente sempre (lato A.T. e lato S., fili singoli e doppi) avvaloramente la prima ipotesi.

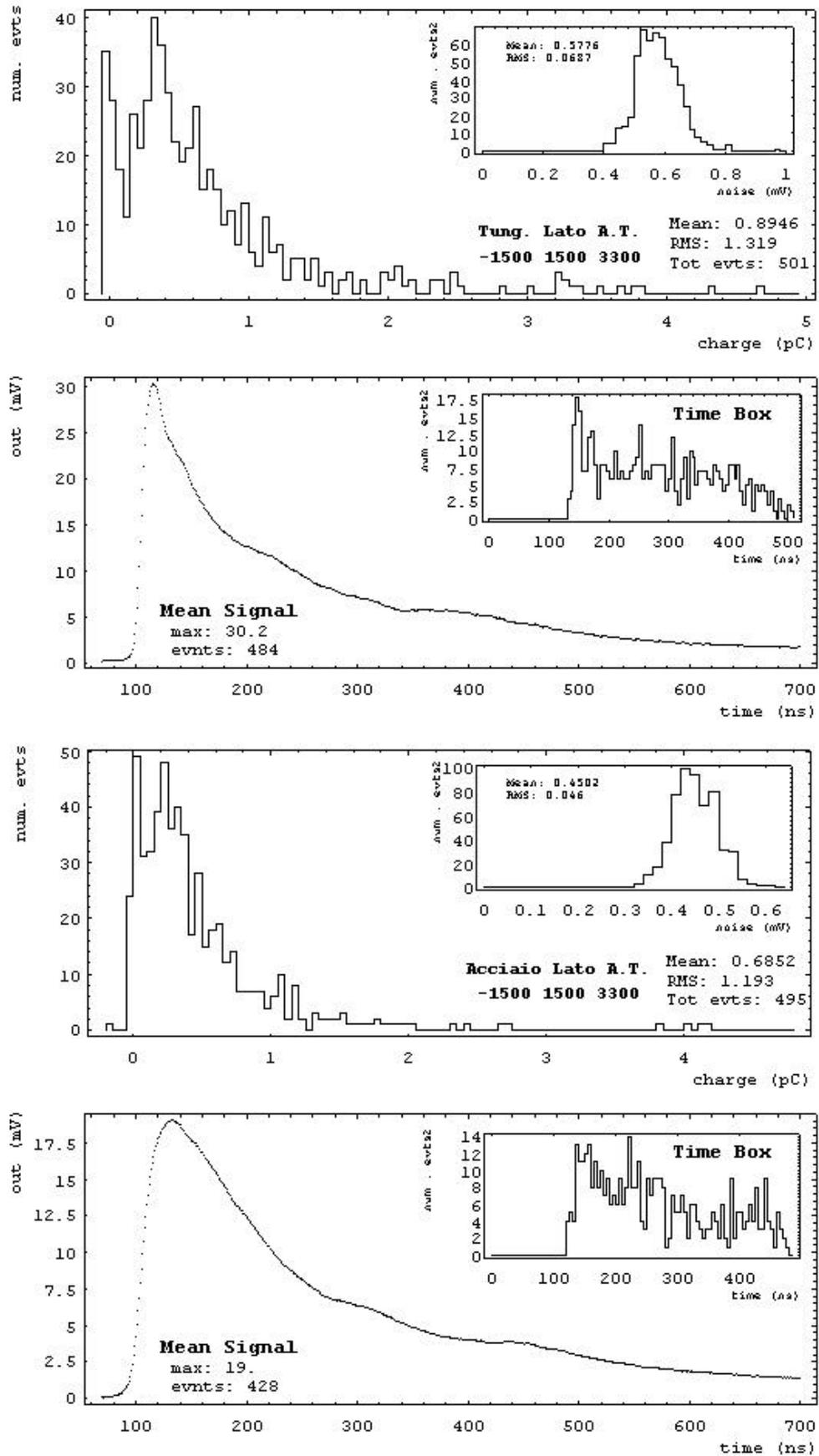


Figura VII.4: confronto tungsteno e acciaio: lato A.T., -1500 1500 3300.

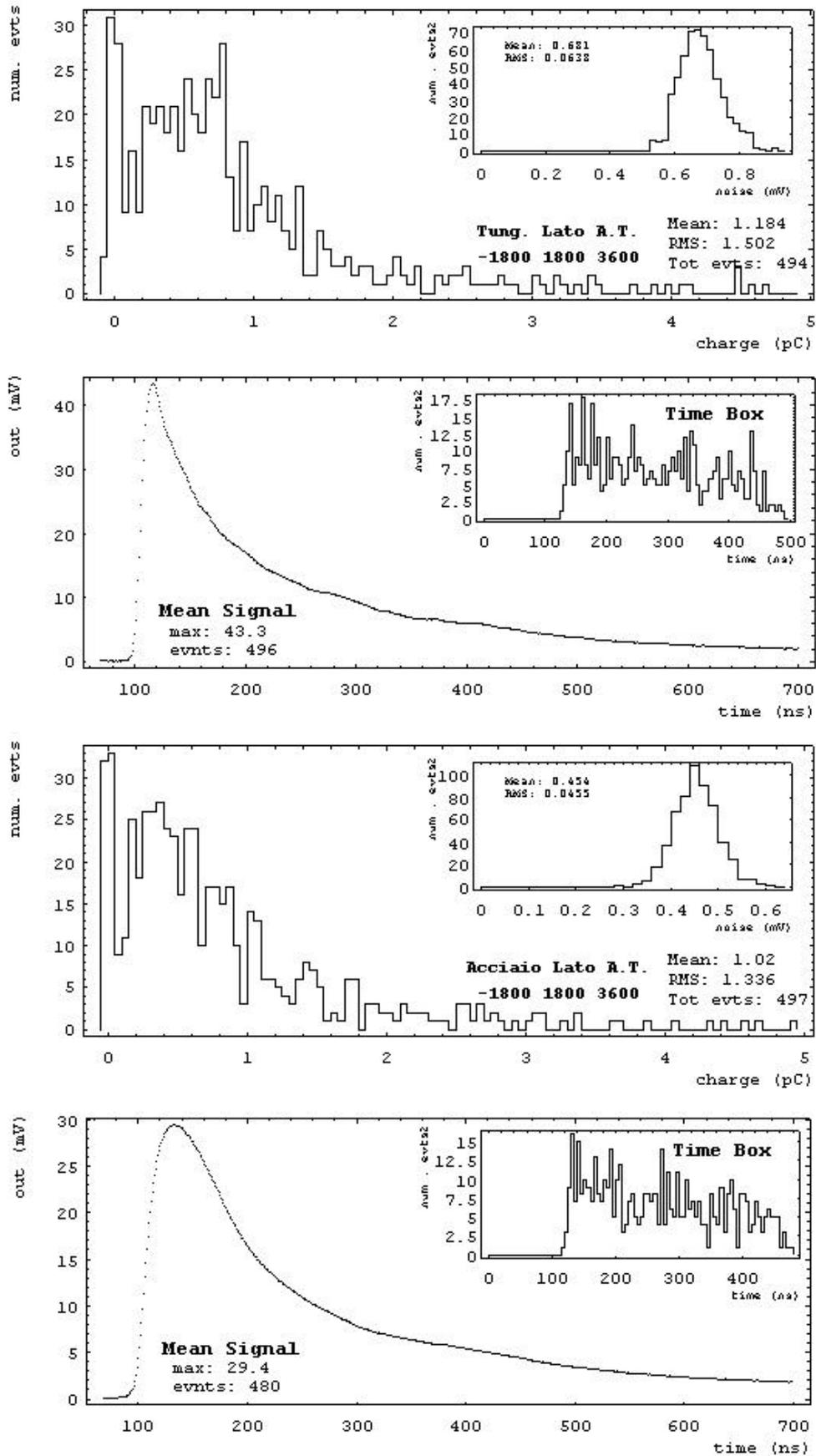


Figura VII.5: confronto tungsteno e acciaio: lato A.T., -1800 1800 3600.

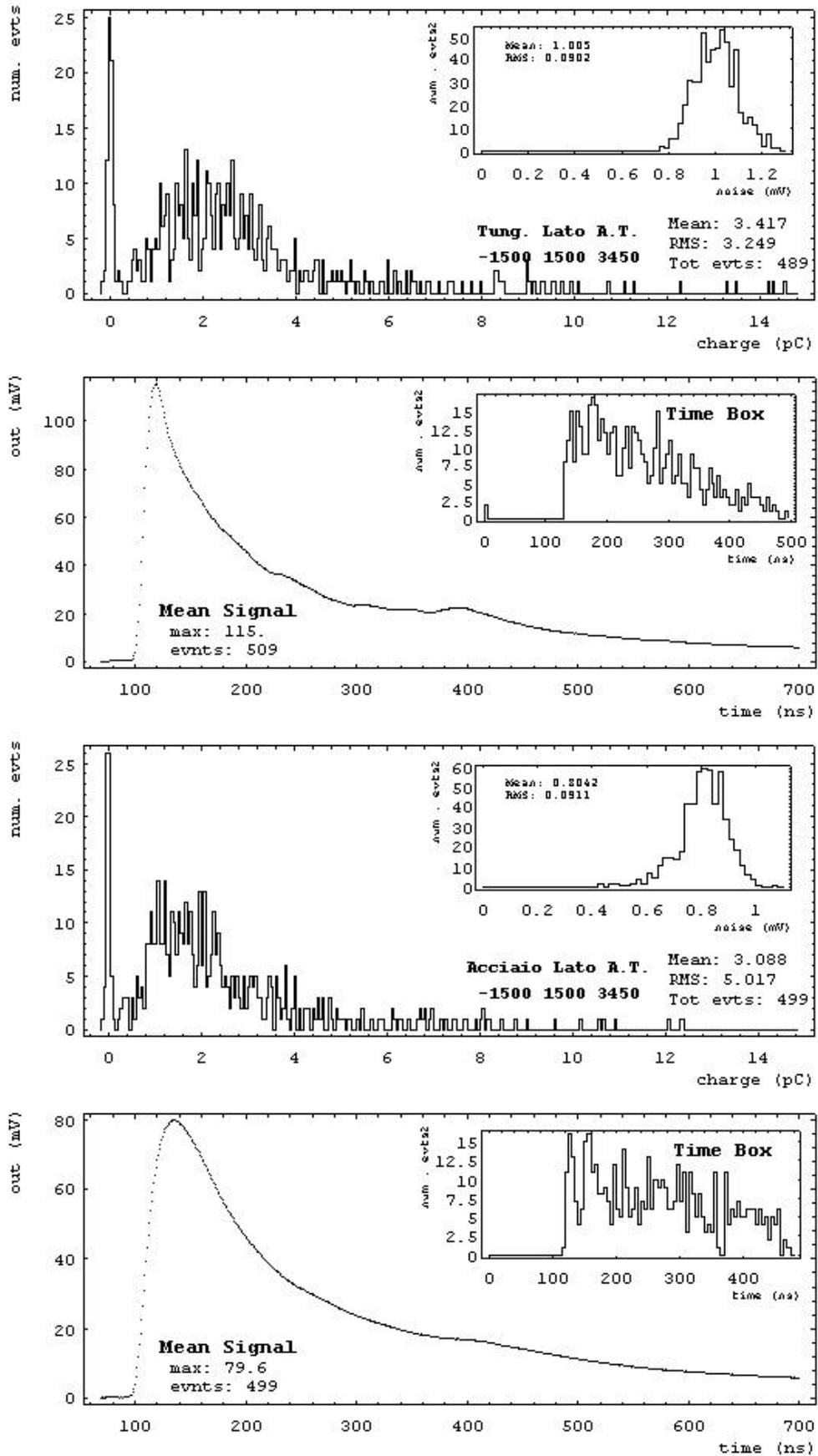


Figura VII.6: confronto tungsteno e acciaio: lato A.T., -1500 1500 3450.

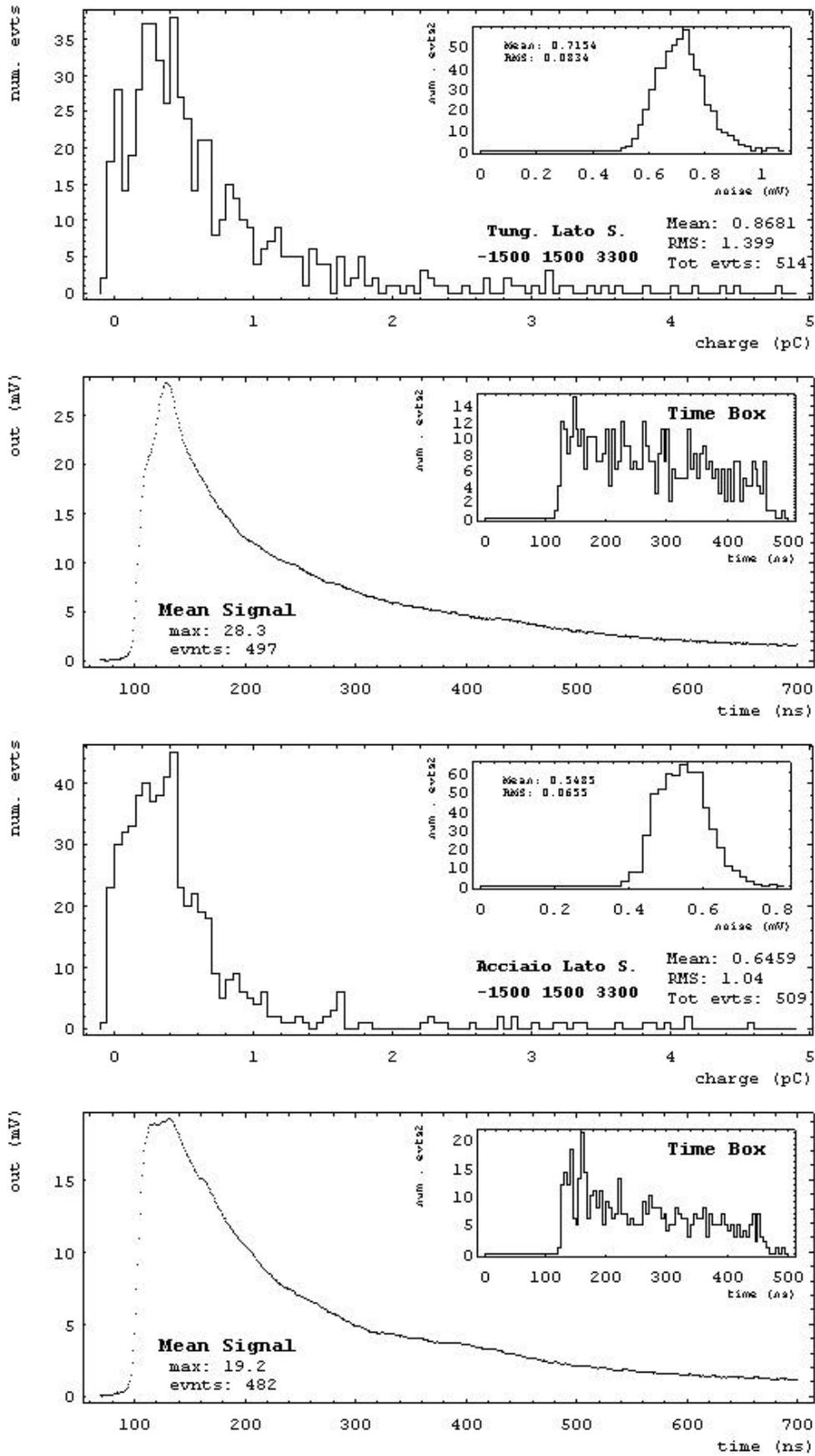


Figura VII.7: confronto tungsteno e acciaio: lato S., -1500 1500 3300.

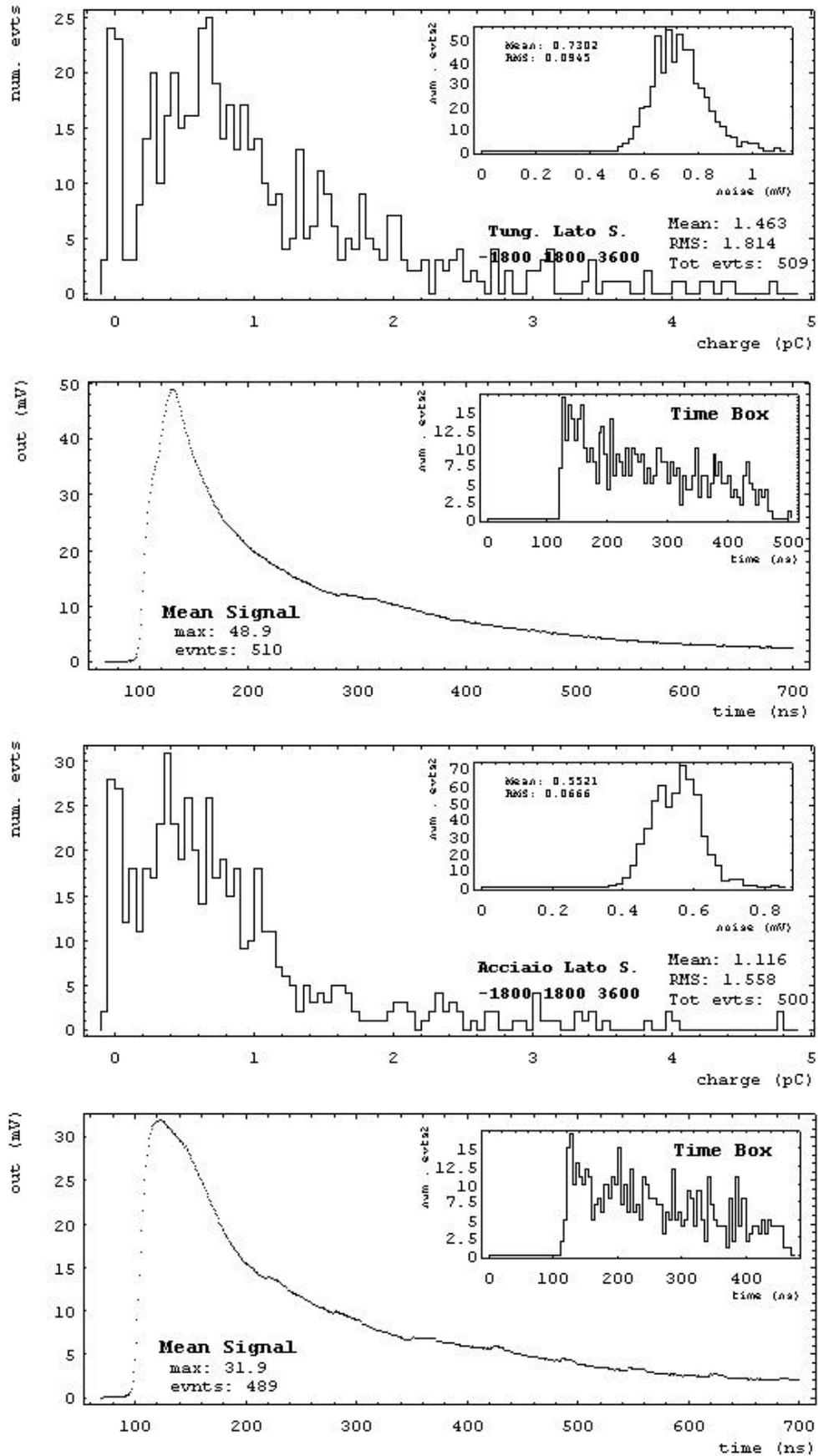


Figura VII.8: confronto tungsteno e acciaio: lato S., -1800 1800 3600.

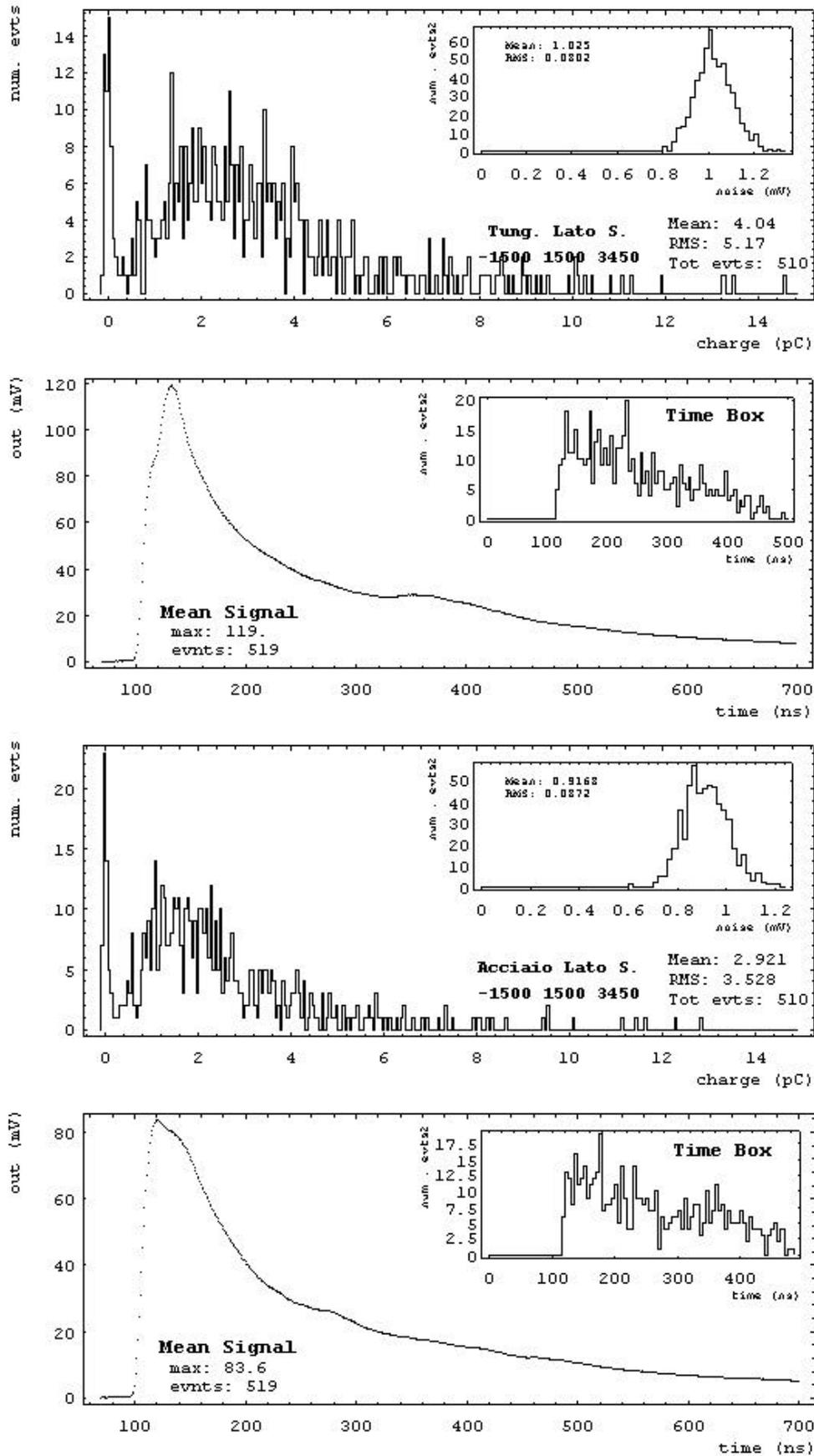


Figura VII.9: confronto tungsteno e acciaio: lato S., -1500 1500 3450.

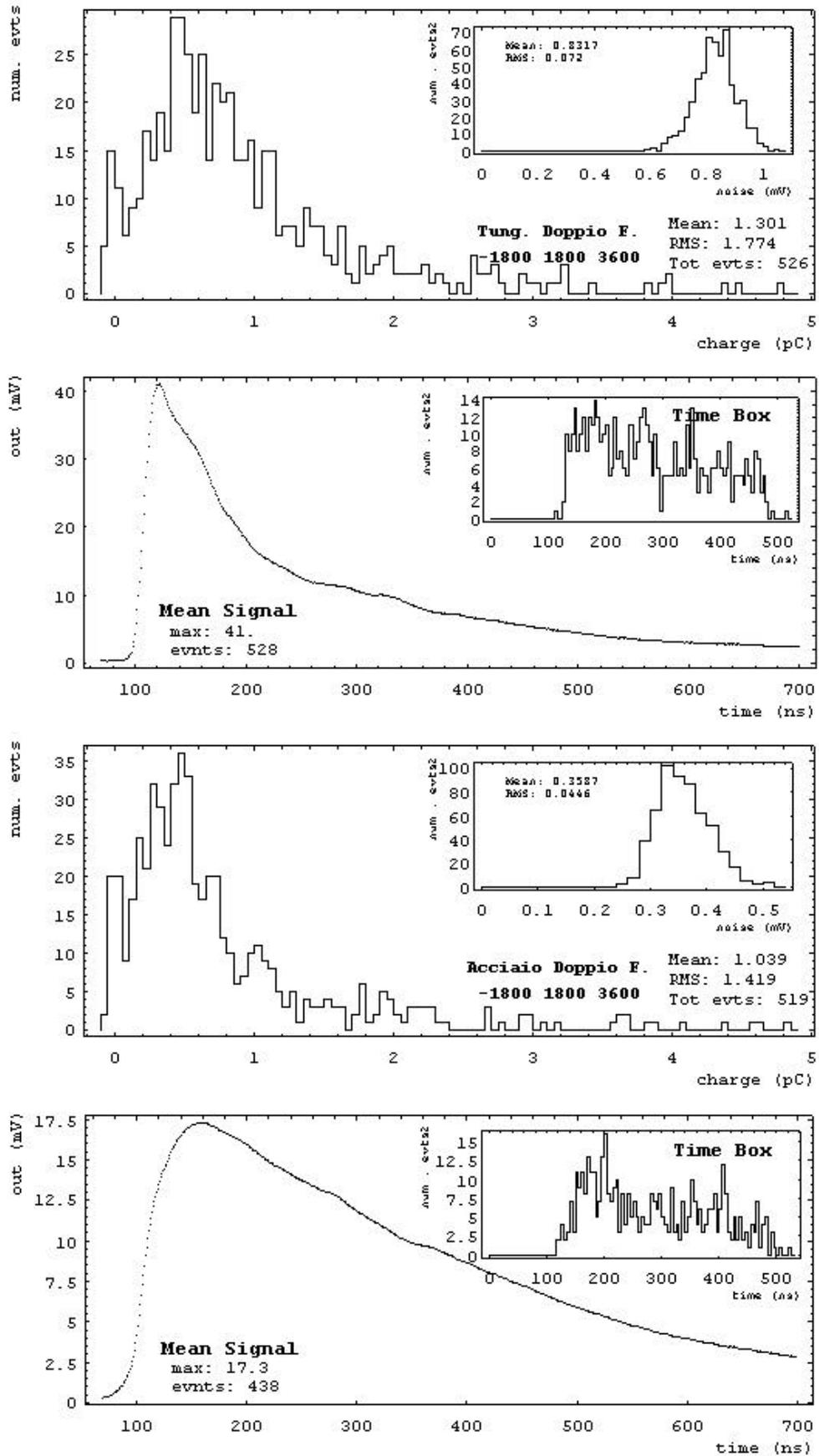


Figura VII.10: confronto tungsteno e acciaio: doppio filo, -1800 1800 3600.

All'aumentare del valore medio della carica si nota un aumento della larghezza del picco, questo è in perfetto accordo con le previsioni della teoria sviluppata nel capitolo 2 (risoluzione energetica nei rivelatori proporzionali).

Infine, come ultima osservazione, nei casi di minore moltiplicazione c'è una sovrapposizione tra la parte iniziale del picco ed il rumore di fondo.

### **VII.2.2 Segnali medi**

L'analisi dei segnali medi mette in luce parecchi fatti interessanti. Innanzitutto sono nette le differenze tra i due tipi di fili: se per il lato segnali il fronte di salita è lo stesso, nei due casi per il lato A.T. la differenza è notevole e presenta inoltre una riduzione nell'ampiezza di circa un terzo e una certa deformazione del segnale.

Nel lato segnali della camera si nota il picco presente dopo circa 20 ns dall'inizio del segnale dovuto alla riflessione della linea, anche qui sono evidenti le differenze tra i fili: nell'acciaio questo picco è appena visibile (ad esempio in Figura VII.8), nel tungsteno è poco meno di metà del picco iniziale.

Molto spesso, specie nei casi di grande fattore di moltiplicazione, si osservano delle ondulazioni tra i 200 ns e i 300 ns: si tratta di eventi secondari (fotoni di feedback) originatisi durante la formazione della valanga principale.

Infine, a parte le variazioni nell'ampiezza, non sono evidenti importanti differenze per quanto riguarda le tensioni di alimentazione.

### **VII.2.3 Tempi di deriva**

Possiamo soltanto fare delle considerazioni generali essendo troppo pochi gli eventi a disposizione: ogni canale degli istogrammi ha una larghezza di 5 ns ed ha in media 4 o 5 eventi.

Il massimo tempo di deriva è dell'ordine dei 350÷360 ns che implica una velocità di drift di 5.6 cm/ $\mu$ s. Il picco iniziale presente in quasi tutti i grafici si spiega facilmente considerando che le tracce che passano molto vicine ai fili hanno bisogno comunque di un certo tempo affinché gli elettroni prodotti dalla ionizzazione inneschino la valanga, inoltre il campo elettrico è maggiore e ad uno stesso tempo di drift corrisponde una maggiore distanza di deriva; il fatto che la parte finale a volte sia abbastanza mal definita è dovuto al disallineamento degli scintillatori che lasciano scoperto un lato della cella.

### **VII.2.4 Rumore**

Dagli istogrammi che riportano la deviazione standard si nota come in generale la media RMS nei vari run sia attorno a 0.5 mV con alcuni casi di 1 mV che comunque

non hanno compromesso i risultati non essendoci sovrapposizione tra rumore e picco della carica depositata.

### **VII.2.5 Confronto singola e doppia cella**

La Figura VII.5 e la Figura VII.10 ci permettono di confrontare il comportamento dei fili in acciaio e tungsteno con segnali che hanno percorso una o due celle, con la cautela necessaria per il fatto che le celle utilizzate non sono le stesse (ad esempio si spiega in questo modo il valor medio dello spettro di carica leggermente superiore nel caso con doppio filo, contrariamente a quanto ci si aspetta).

Il tungsteno non mostra evidenti differenze a parte un fronte di salita del segnale medio leggermente peggiore ed una forma un po' più irregolare (d'altra parte simile ad altri casi di tungsteno lato A.T.); le differenze sono invece notevoli nel caso dell'acciaio per quanto riguarda il segnale medio, molto peggiorato sia in ampiezza che nel fronte: l'attenuazione della linea tende a distribuire la carica deformando il segnale. Da notare, sempre per l'acciaio, la forma irregolare della time box dovuta al fatto che la piccola ampiezza dei segnali, con una soglia di 4 mV, rende il jitter elevato.

## **VII.3 FRONTE DI SALITA DEI SEGNALI: CONFRONTO TRA TUNGSTENO E ACCIAIO**

Come detto, un'importante domanda alla quale si voleva dare risposta riguarda il confronto dei fronti di salita dei segnali per i fili in acciaio e quelli in tungsteno; tale confronto viene fatto utilizzando due metodi diversi.

### **VII.3.1 Misura del risetime**

Il primo metodo consiste nella misura del risetime, cioè del tempo necessario perché il segnale passi dal 10% al 90% del massimo. Data l'estrema variabilità nella forme dei segnali, piuttosto di costruire un poco fattibile algoritmo numerico, si è ritenuto più opportuno eseguire una misura manuale all'oscilloscopio di un campione di 200 eventi per ogni run (scartando evidentemente quelli nei quali non era presente il segnale); questo valore è stato scelto per avere a disposizione una sufficiente statistica, pur nella necessità di limitare il campione, dato l'elevato tempo richiesto per la misura.

Per rendere il più possibile attendibili i risultati si sono adottati i seguenti criteri:

- tutte le misure sono state eseguite da una stessa persona;
- prima delle misure definitive sono state fatte alcune centinaia di misure di prova per poter osservare la casistica possibile e uniformare il trattamento dei vari casi;

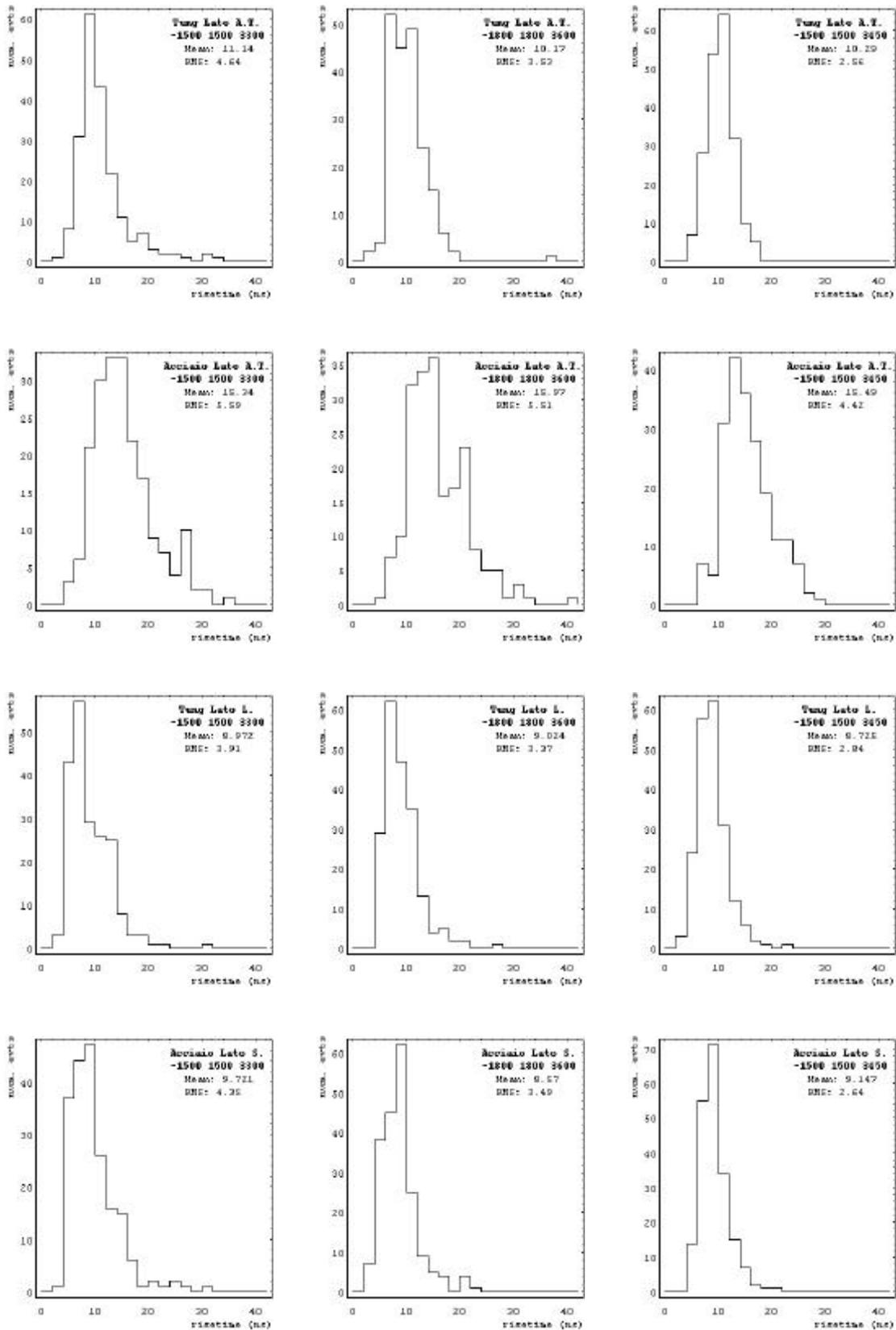


Figura VII.11: risetime dei segnali misurato all'oscilloscopio, con media ed RMS.

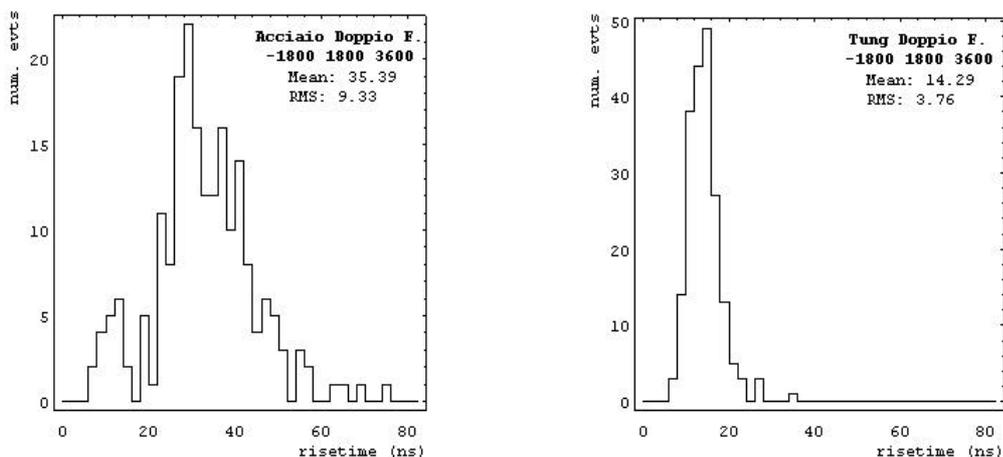
- il tempo di salita è stato preso considerando (dove questo era evidente) l'arrivo del primo cluster di elettroni;
- la definizione di tempo di salita utilizzata fa riferimento al tempo tra il 10% e il 90% del segnale;
- si è cercato di eliminare il minor numero di segnali possibile (segnali dalla forma molto insolita o troppo piccoli rispetto al rumore presente).

Le misure sono state fatte per i run dall'1 al 12 e per i run 14 e 15 cioè quelli con doppio filo e lettura singola.

Negli istogrammi di Figura VII.11 sono presentati i risultati ottenuti assieme a medie e deviazioni standard per i primi 12 run; la disposizione dei grafici è fatta in modo da facilitare il confronto tra i due tipi di fili: ogni colonna si riferisce ad una scelta delle tensioni della camera, le prime due righe riguardano il lato alta tensione della camera e le ultime due quello segnali.

Per quanto riguarda il lato segnali non si notano sostanziali differenze (come d'altra parte si poteva prevedere) anche al variare delle condizioni di funzionamento della camera; le cose sono molto diverse per il lato A.T.: l'acciaio presenta un rilettime di circa 4 ns maggiore del tungsteno (senza marcate differenze al variare delle tensioni della camera). Infine per il tungsteno c'è un peggioramento di circa 1 ns tra lato A.T. e lato segnali.

Nella Figura VII.12 c'è il confronto tra i due fili dopo che i segnali hanno percorso una lunghezza pari a due celle: il rilettime dell'acciaio è più del doppio di quello del tungsteno, che a sua volta ha un peggioramento di circa 5 ns rispetto al caso in cui i segnali sono generati vicino al punto di raccolta (lato segnali della figura precedente). Il picco minore che si vede nel grafico a sinistra (ovviamente non considerato nel calcolo della media) è semplicemente dovuto al fatto che il trigger del telescopio di scintillatori (che seleziona una larghezza minima di 4.5 cm ortogonalmente ai fili) copriva una piccola parte della cella vicino alla lettura dei segnali (vedi Figura VII.3).



**Figura VII.12:** confronto rilettime acciaio-tungsteno, doppi fili con lettura singola.

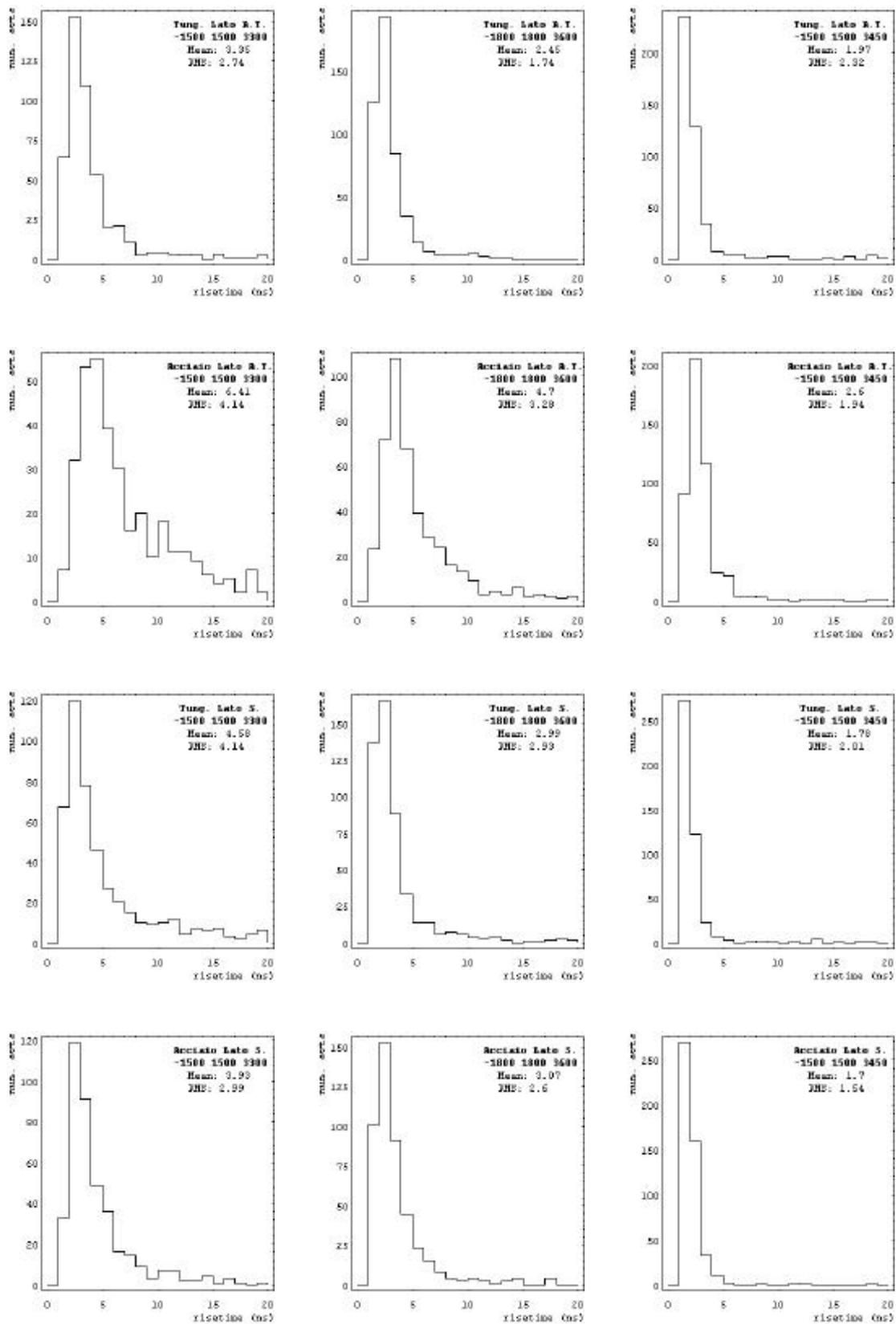


Figura VII.13: risetime dei segnali calcolato tra due soglie, con media ed RMS.

### VII.3.2 Tempo di salita tra due soglie

Il secondo metodo per confrontare l'acciaio e il tungsteno (più oggettivo e rispondente alle nostre esigenze) consiste nel determinare il tempo necessario affinché il segnale passi tra due soglie poste ad un livello molto basso, dato che ci interessa soprattutto il fronte iniziale.

Questo tempo è stato calcolato tra le soglie di 4 mV e 8 mV: il valore della prima è il minimo che garantisce una buona immunità al rumore, il secondo è il minimo per avere una sufficiente larghezza nelle distribuzioni dei risetime considerato che il sampling-time di acquisizione è di 1 ns.

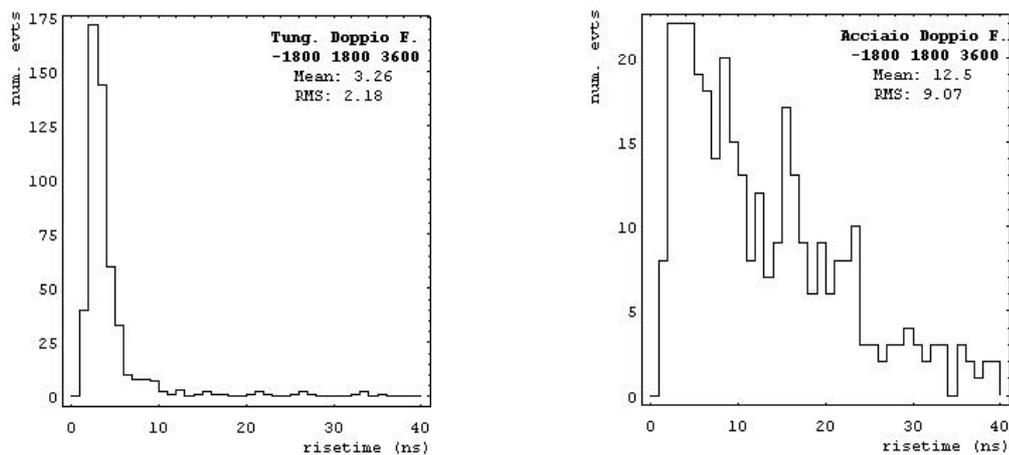
Il calcolo è stato fatto per tutti i casi considerati nella misura del risetime fatta con l'oscilloscopio. Nella Figura VII.13 della pagina precedente sono riportati i risultati dei primi 12 run, seguendo la stessa disposizione dei grafici di Figura VII.11.

Come prima cosa si può dire che questi risultati sono compatibili con i precedenti e che non ci sono sostanziali differenze tra i due fili per il lato segnali; è confermato invece il maggiore tempo di salita dell'acciaio per il lato A.T.: 2 ns nei casi di minore amplificazione, 0.5 ns nell'altro. Questi stessi valori differenziano l'acciaio lato A.T. dall'acciaio lato segnali.

Si notano due fenomeni interessanti:

- all'aumentare del fattore di amplificazione migliora il tempo di salita;
- per il tungsteno il comportamento del lato A.T. è migliore rispetto a quello segnali.

Quest'ultima osservazione si può spiegare considerando che nel lato A.T. la riflessione di metà del segnale al termine della cella porta all'immediata sovrapposizione con l'altra metà che si propaga in direzione opposta, con la conseguenza di avere un segnale di maggiore ampiezza.



**Figura VII.14:** confronto risetime dei segnali tra due soglie, doppi fili con lettura singola acciaio-tungsteno.

In Figura VII.14 viene riproposto il confronto tra acciaio e tungsteno nel caso di doppio filo con lettura singola, da leggere assieme all'analogo caso per le tensioni degli elettrodi di Figura VII.13.

Per il tungsteno c'è un peggioramento di poco meno di 1 ns, per l'acciaio sicuramente maggiore ma difficilmente quantificabile, data la forma molto brutta della distribuzione dovuta in buona parte all'ampiezza piccola dei segnali e all'effetto maggiore del rumore nel calcolo del risetime tra le due soglie.

Quindi la variazione massima (per le doppie celle) nel tungsteno è inferiore ad 1 ns mentre per l'acciaio è sicuramente superiore ai 5 ns.

### VII.3.3 Conclusioni

Possiamo concludere dicendo che il filo in tungsteno si comporta molto bene anche per lunghezze della cella di 5 m, mentre l'acciaio già per lunghezze di 2.5 m mostra differenze di qualche ns tra minimo e massimo tempo di salita.

In generale l'utilizzo di un fattore di moltiplicazione maggiore ha benefici effetti sulla rapidità dei segnali in tutti i casi considerati.

## VII.4 DETERMINAZIONE FATTORE DI MOLTIPLICAZIONE

Abbiamo visto nel capitolo 2 che il fattore di moltiplicazione per i contatori proporzionali si può scrivere in questo modo<sup>3</sup>:

$$M = Ae^{BE_0}$$

dove  $E_0$  è il campo elettrico sulla superficie del filo; nel capitolo 3 si è visto che questo valore dipende essenzialmente dalla tensione filo-strip, quindi:

$$M = Ae^{a(V_w - V_s)}$$

### VII.4.1 Misura con raggi cosmici

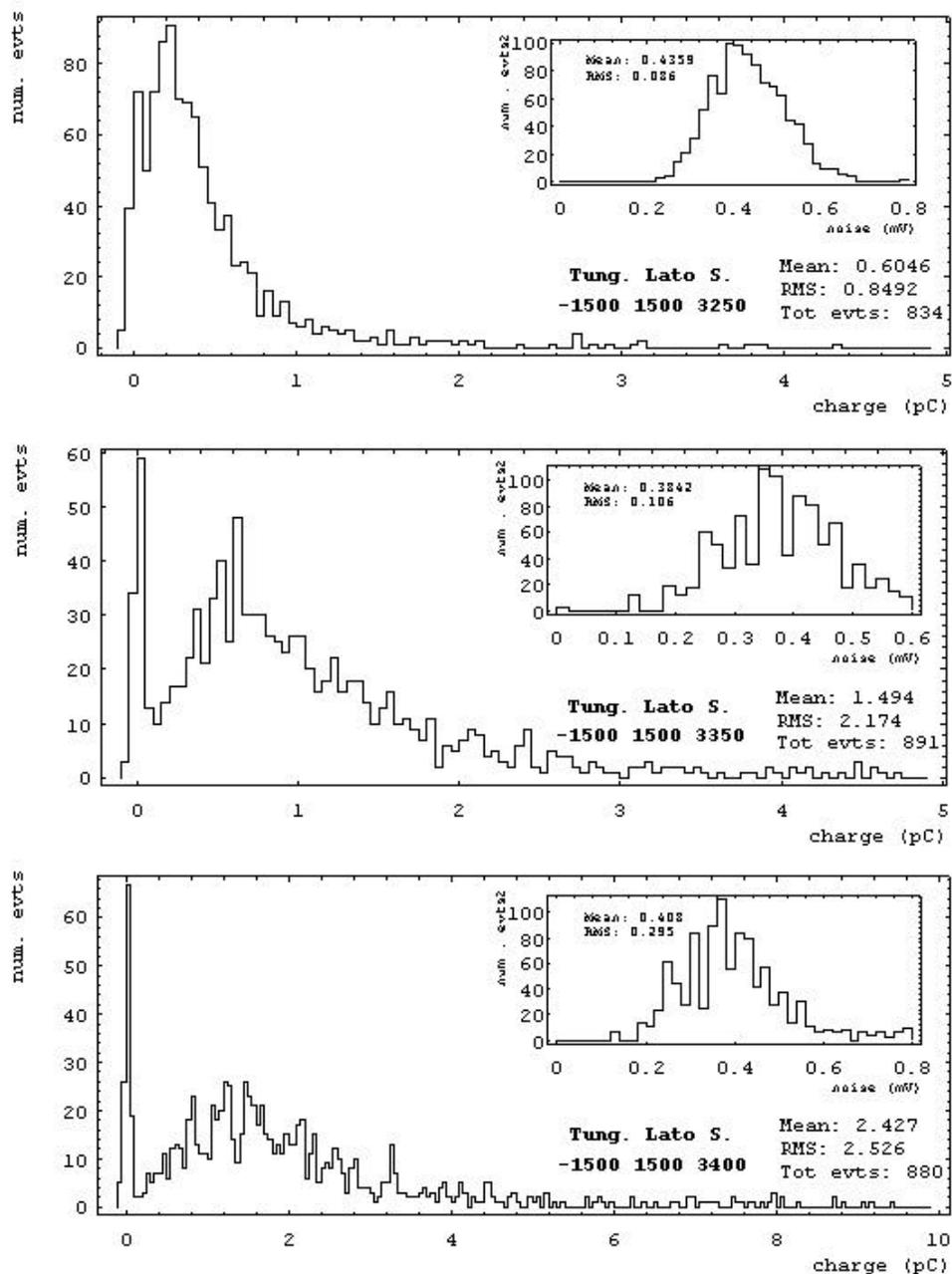
Per determinare questo importante parametro abbiamo integrato i run 4 e 5 con altre tre acquisizioni (17, 18 e 19) mantenendo fissa (-1500 e 1500) la tensione di catodi e strip e cambiando quella del filo in modo da avere variazioni di 50 V per la tensione filo-strips a partire da 1750 V fino a 1950 V.

---

<sup>3</sup> In realtà la formula citata è funzione della tensione anodo-catodo, ma si può evidentemente esprimere in funzione del campo sul filo in modo da poter essere utilizzata anche nel nostro caso nel quale solo a distanze piccole dall'anodo si ha un campo elettrico con andamento proporzionale all'inverso della distanza dal filo simile ai contatori proporzionali.

La scelta di utilizzare proprio questi run deriva dal fatto che queste tensioni di catodi e strips sono quelle più probabili per la scelta finale, mentre la scelta del tungsteno lato segnali serve per raccogliere, nel tempo di integrazione utilizzato, la maggior parte di carica possibile.

In Figura VII.15 sono presentati gli spettri di carica calcolati con le solite procedure già descritte in precedenza.

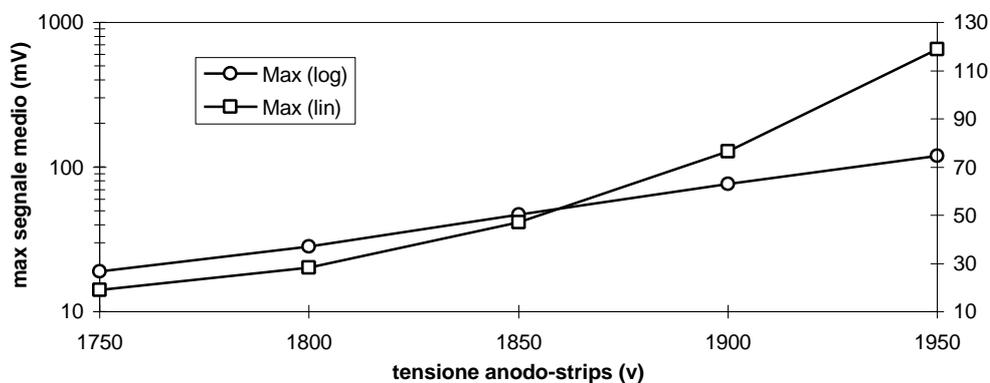


**Figura VII.15:** spettri di carica per i run considerati nel calcolo del fattore di moltiplicazione.

Calcolata la carica media rilasciata da una mip, il fattore di moltiplicazione può essere determinato conoscendo il numero medio iniziale di coppie prodotte dalla ionizzazione

del raggio cosmico. Dalle varie tabelle disponibili in letteratura sappiamo che vengono prodotte per una mip 94 coppie/cm: c'è il problema di conoscere lo spessore effettivo della cella che dipende anche dalla distanza dal filo. Abbiamo stimato (sulla base delle simulazioni fatte in precedenza) uno spessore medio di 4 mm che porta al valore di 38 coppie rilasciate da una mip con un errore globale di  $\pm 4$ :

- il contributo principale all'errore è dato dalle variazioni nello spessore effettivo della cella;
- c'è un contributo dovuto al fatto che i raggi cosmici possono avere un'inclinazione massima rispetto alla verticale di circa  $10^\circ$  (comunque molto piccolo);
- l'errore sul calcolo della carica rilasciata.



**Figura VII.16:** grafico lineare e semilogaritmico del massimo del segnale medio in funzione della tensione anodo-strips.

Nella Figura VII.16, infine, è mostrato il grafico del massimo dei segnali medi in funzione della tensione anodo-strips (sempre per i run utilizzati nel calcolo del fattore di moltiplicazione) utile nel progetto del front end per conoscere l'ampiezza dei segnali di ingresso. Dal grafico semilogaritmico si deduce la dipendenza esponenziale della curva in analogia e conformità a quanto avviene per il fattore di moltiplicazione.

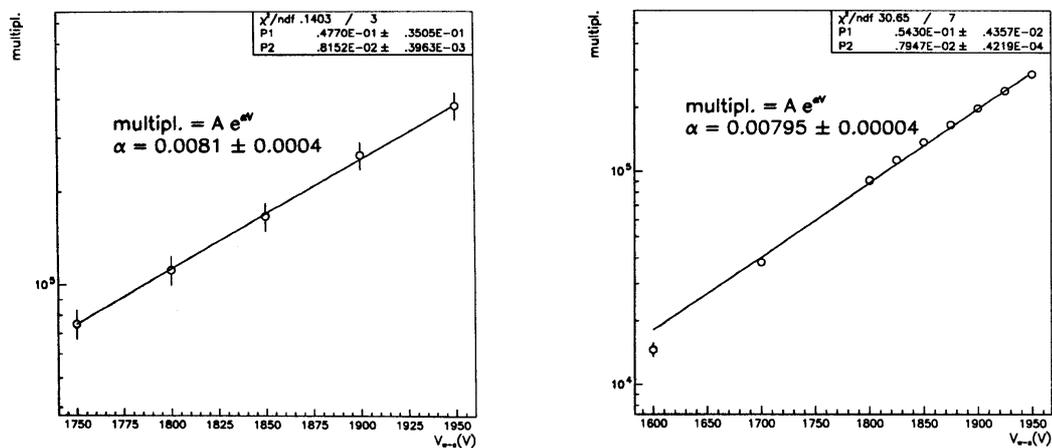
#### VII.4.2 Misura con una radiosorgente

Nello stesso periodo della serie di acquisizioni fatte con i raggi cosmici, utilizzando lo stesso amplificatore di corrente, sono state fatte delle misure di spettro di carica (direttamente integrata per  $1 \mu s$  con un qVt) con una sorgente radioattiva<sup>4</sup>.

La sorgente era costituita da  $^{241}\text{Am}$  che emette raggi X da 60 KeV: quando un fotone di energia  $E_x$  interagisce con gli atomi dell'argon, per effetto fotoelettrico viene emesso un elettrone la cui origine più probabile è la k-shell con energia  $E_x - E_k$ . Essendo  $E_k$  l'energia della k-shell (3 KeV) segue un riarrangiamento dell'atomo che nell'85%

<sup>4</sup> Queste misure sono state fatte da E. Conti<sup>[R5]</sup>.

degli eventi produce un elettrone Auger mentre nel rimanente 15% un fotone; in entrambi i casi l'energia delle particelle emesse è di poco inferiore a  $E_k$ . L'argon è molto trasparente a questo fotone che ha energia appena sotto la k-shell, che può quindi raggiungere i catodi della cella ed estrarre efficacemente un elettrone dal metallo di energia circa  $E_k$ . Il range di un elettrone da 60 KeV in argon in condizioni normali è di circa 30 mm, mentre quello di un elettrone da 3 KeV di appena 0.2 mm. A questo punto si può comprendere lo spettro di carica che si ricava: un continuo fino a 60 KeV prodotto dall'elettrone ad energia maggiore (dato il range il numero di coppie prodotte dipende dalla direzione di emissione) e da quello Auger con un picco a 3 KeV sovrapposto, dovuto ai casi in cui viene convertito solo l'elettrone estratto dal metallo. La presenza di questo ben definito picco a 3 KeV permette di ricavare con estrema facilità e sveltezza il fattore di moltiplicazione, sapendo che un elettrone con questa energia rilascia circa 120 coppie.



**Figura VII.17:** fattore di moltiplicazione in funzione della tensione anodo-strip; a sinistra misurato con i raggi cosmici, a destra con la sorgente radioattiva.

### VII.4.3 Risultati e confronto dei due metodi<sup>5</sup>

In entrambi i casi è stato fatto un fit per determinare i parametri della funzione. I risultati si vedono in Figura VII.17: l'accordo è ottimo, si spiega anche il valore leggermente inferiore nel secondo caso dati i tempi diversi di integrazione.

Questi valori sono leggermente superiori a quelli previsti dalle simulazioni ma, come già detto nel capitolo 3, ciò è dovuto alla modellizzazione di catodi e strips con fili troppo spessi.

In definitiva possiamo concludere affermando che il fattore di moltiplicazione, per una tensione anodo-strips di 1800 V, vale circa  $10^5$ .

<sup>5</sup> L'elaborazione dei dati è stata fatta da E. Torassa [R5].

## VII.5 CARICA RACCOLTA IN FUNZIONE DELLA POSIZIONE DELLA TRACCIA RISPETTO AL FILO

Abbiamo voluto verificare se effettivamente la forma della distribuzione dello spettro di carica è conseguenza delle variazioni nello spessore attivo della cella. Per far questo, come detto all'inizio, abbiamo fatto le acquisizioni dei run 20-22 imponendo ai segnali di avere un tempo di drift contenuto in un intervallo di larghezza 20 ns.

Gli spettri ottenuti, assieme a quello senza restrizioni acquisito nelle stesse condizioni sperimentali, sono mostrati in Figura VII.18 della pagina seguente. Lo spettro relativo all'intervallo 90-110 si riferisce alla cella A2, diversamente da tutti gli altri relativi alla solita C2, questo per avere un'idea del comportamento di una cella diversa (sempre con filo in tungsteno).

Nell'intervallo riportato nei grafici il primo valore si riferisce al ritardo rispetto al trigger degli scintillatori, guardando le time box delle figure precedenti si vede che queste iniziano a circa 120 ns, per cui al massimo i segnali della camera anticipano gli scintillatori di 180 ns (per tutte le acquisizioni la registrazione comincia sempre 300 ns prima del trigger), quindi per ottenere il tempo effettivo di drift basta sommare 180 ns ai valori citati. Nella Tabella VII.7 viene dato il valore effettivo di drift assieme alla distanza dal filo, supponendo una velocità di drift costante e che il tempo massimo di drift sia di 360 ns (i valori sono puramente indicativi).

**Tabella VII.7**

<b>Intervallo di riferimento</b>	<b>Tempo di drift medio</b>	<b>Distanza media dal filo</b>
40-60 ns	230 ns	12.8 mm
90-110 ns	280 ns	15.5 mm
140-160 ns	330 ns	18.3 mm

Si notano due cose rispetto allo spettro di riferimento:

- la media è minore e questo si può spiegare sia con un minore spessore attivo sia con una certa ricombinazione per il lungo percorso di drift;
- la larghezza dei picchi è inferiore, confermando che la forma della distribuzione è dovuta in buona parte alle variazioni nello spessore attivo della cella.

Ovviamente non è presente in questi spettri il picco iniziale centrato sullo zero dovuto ai segnali di fondo in cui la particella ionizzante ha attraversato gli scintillatori ma non la cella, infatti la registrazione viene fatta soltanto in presenza di un evento reale.

Queste acquisizioni sono state fatte anche per valutare la variazione nella carica raccolta, utilizzando un tempo di integrazione maggiore e precisamente di 4.5  $\mu$ s.: nei due casi si trova una differenza di circa il 10% per cui l'errore sistematico in difetto fatto nel calcolo degli spettri precedenti è ragionevolmente accettabile.

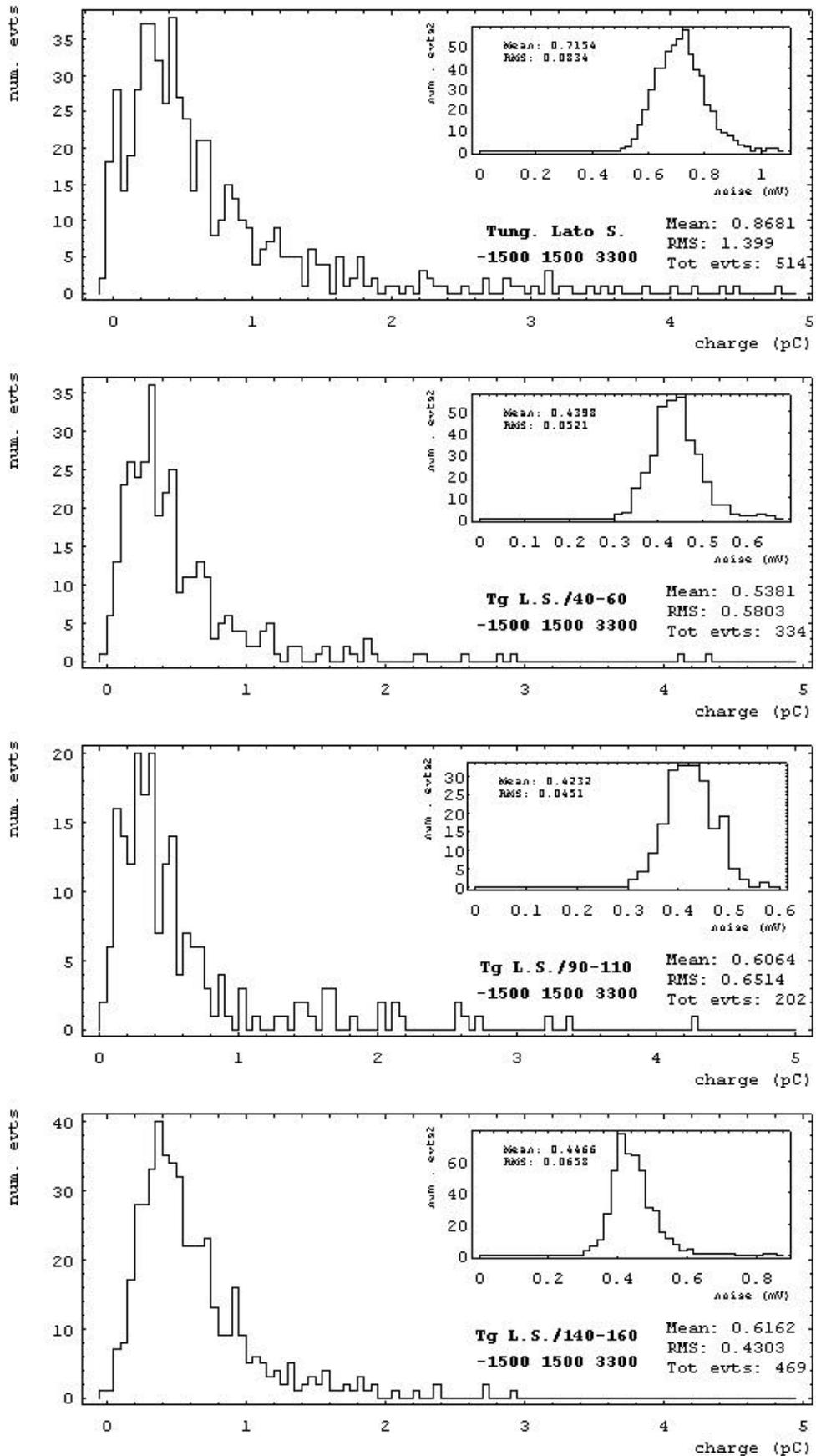


Figura VII.18: dipendenza dello spettro di carica dalla distanza della traccia dal filo.

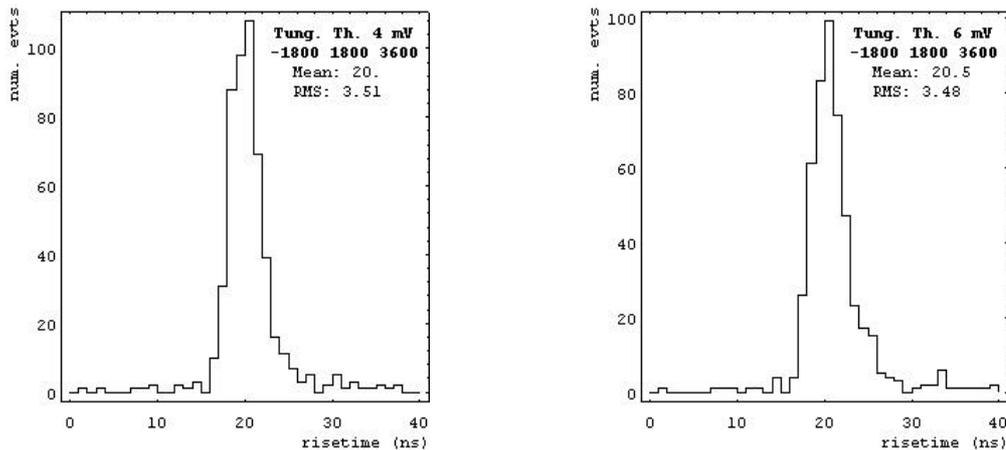
## VII.6 ANALISI FILI DOPPI CON DOPPIA LETTURA

### VII.6.1 Calcolo ritardo della camera

Sfruttando il run 16/16a, cioè quello che si riferisce al doppio filo in tungsteno con lettura simultanea alle due estremità, vogliamo ricalcolare il tempo di ritardo della camera, già determinato nel capitolo 4; la piccola ampiezza dei segnali ha reso impossibile l'analogo calcolo per l'acciaio.

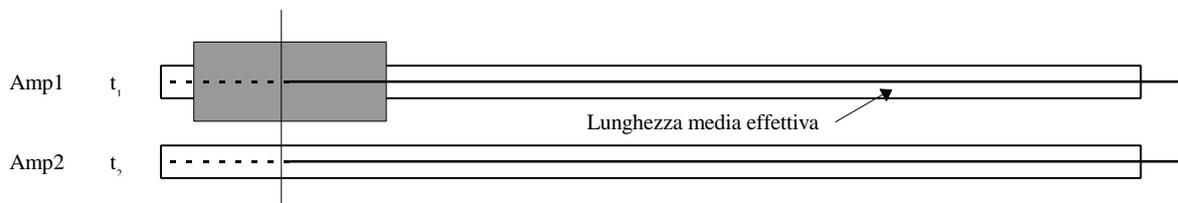
Sono stati calcolati i tempi di inizio dei segnali riferiti ad uno stesso evento alle due estremità della linea, imponendo il superamento di una soglia e successivamente si è calcolata la differenza di questi tempi; i calcoli sono stati fatti per 2 soglie diverse.

Nella Figura VII.19 sono riportati i valori medi, le deviazioni standard e gli istogrammi ottenuti: come si vede in entrambi i casi i valori sono in accordo con quanto ricavato in precedenza.



**Figura VII.19:** tempi di ritardo della camera calcolati per il tungsteno con doppio filo.

Evidentemente il valore medio calcolato in questo modo si riferisce ad una linea alla cui lunghezza bisogna togliere quella dello scintillatore come si può capire osservando la Figura VII.20.



**Figura VII.20:** schema della lunghezza effettiva della linea per un evento avvenuto nella zona centrale dello scintillatore.

## VII.6.2 Calcolo rapporto ampiezze

Sempre utilizzando le acquisizioni con doppi filii e doppia lettura possiamo calcolare il rapporto tra i massimi dei segnali letti alle due estremità.

La Figura VII.21 mostra i risultati: il rapporto delle ampiezze è di circa 4 volte superiore nell'acciaio rispetto al tungsteno confermando ancora una volta l'effetto della grande attenuazione dei fili in acciaio.

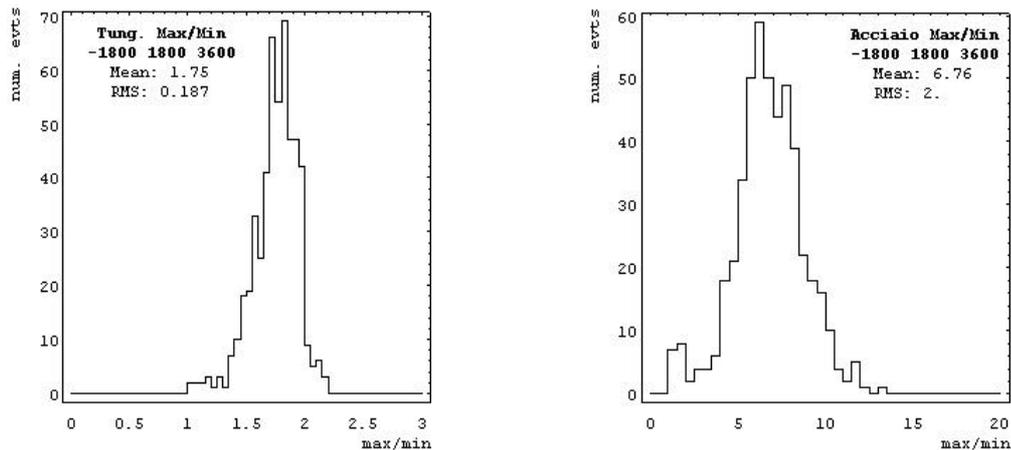


Figura VII.21: confronto rapporti massimi dei segnali tra tungsteno e acciaio.

## VII.7 MISURA SPAZIO MORTO

Un'importante informazione da conoscere è lo spazio morto della camera in prossimità degli estremi dei fili: questo spazio si somma infatti a quello necessario all'alimentazione e all'elettronica di lettura, per un totale di vari cm in cui il rivelatore è completamente cieco<sup>6</sup>.

Abbiamo determinato questo valore utilizzando ancora una volta i raggi cosmici anche se tale metodo non è certamente tra i più efficaci: il rate è infatti molto basso e la risoluzione lungo il filo scarsa, ma questo metodo è l'unico fattibile a breve termine. Ovviamente l'ideale è l'utilizzo di un fascio di particelle, possibile però solo al CERN (e già programmato per i prossimi test-beam nell'estate '97) o in alternativa l'uso di una sorgente radioattiva ben collimata; questa seconda possibilità è stata tentata da E. Conti utilizzando una sorgente alfa (il meccanismo di rivelazione dei gamma non ne permette l'utilizzo non essendo chiaro il punto dove avviene l'interazione), ma lo

<sup>6</sup> Bisogna ricordare che le camere con i fili paralleli al fascio di LHC sono poste, tra due ruote del magnete, una di fronte all'altra senza sovrapposizione come invece avviene radialmente nell'ambito di una stessa ruota.

spessore di alluminio della testata, che si sovrappone per circa 3 cm alle lastre di alluminio, ha costituito uno schermo insuperabile.

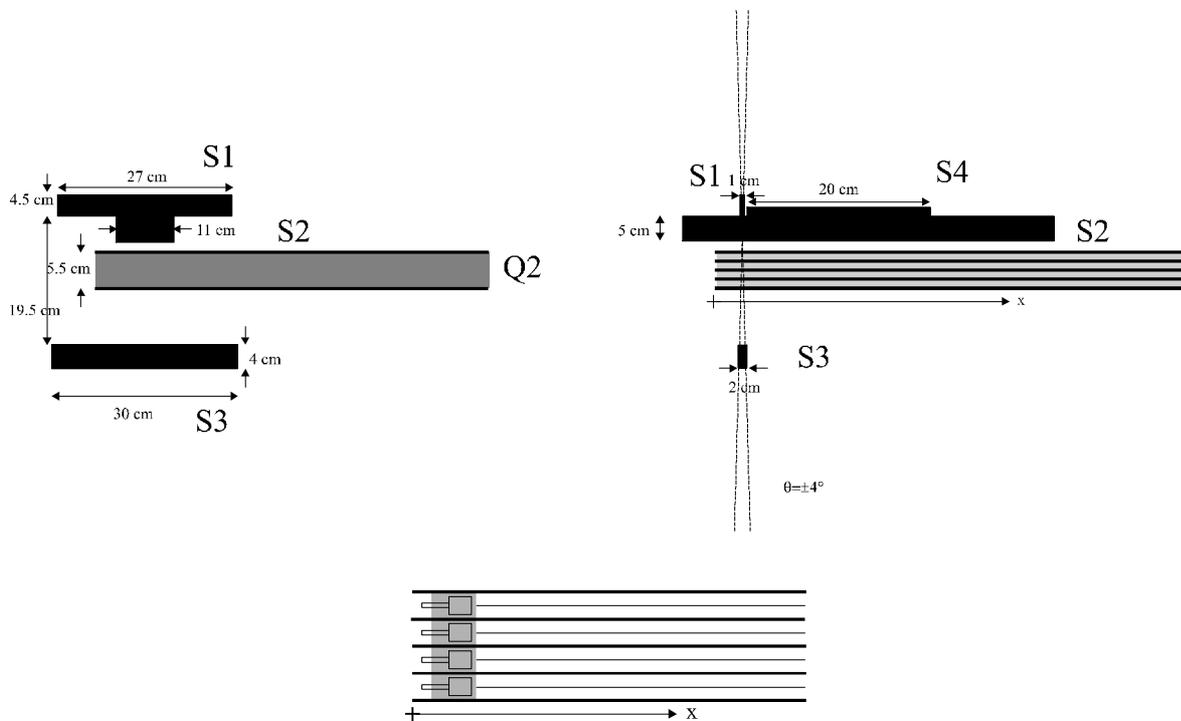
### VII.7.1 Metodo utilizzato

Quello che vogliamo trovare è l'efficienza della cella lungo il filo in prossimità del pin di terminazione: prendiamo una sezione della cella ortogonale al filo di un certo spessore (minore possibile) e contiamo il numero di eventi (con traccia interamente contenuta all'interno della selezione) che vede la cella fra tutti quelli che realmente la attraversano.

Gli eventi sono costituiti da raggi cosmici, che devono perciò essere in qualche modo selezionati spazialmente.

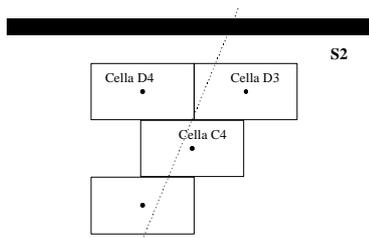
### VII.7.2 Setup sperimentale

Nella Figura VII.22 è mostrato il setup del telescopio di scintillatori utilizzato per delimitare la zona di camera interessata dai raggi cosmici. I due scintillatori S1 ed S3 sono utilizzati per selezionare la zona di cella lungo il filo per una lunghezza di circa 1 cm mentre S2 (questo scintillatore di circa 1.5 m viene letto da entrambi i lati) per delimitare la coordinata ortogonale al piano dei fili. S1 ed S3 sono montati su una struttura rigida che può essere spostata con una precisione di 1 mm lungo il filo.



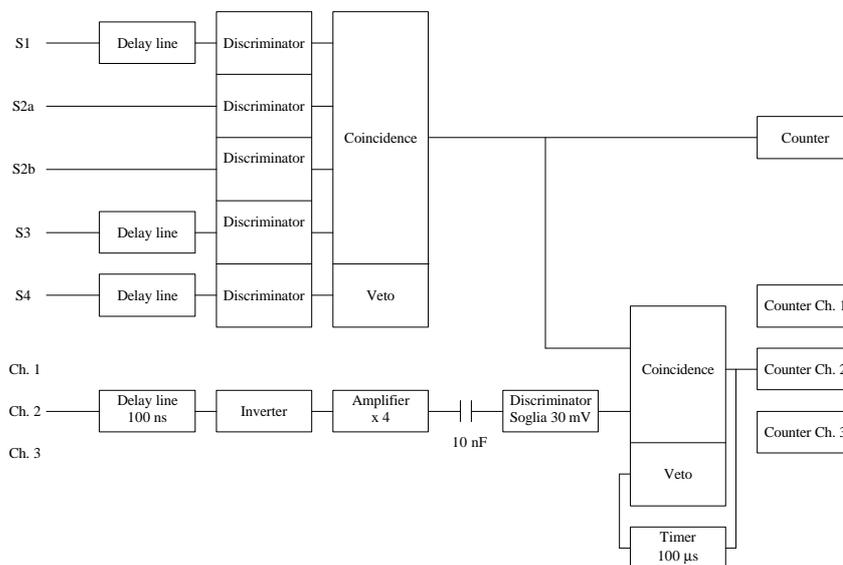
**Figura VII.22:** setup del telescopio di scintillatori utilizzato per le misure dello spazio morto, a sinistra visto frontalmente e a destra di lato.

Lo scintillatore S4, in anticoincidenza con gli altri tre, è stato aggiunto dopo le prime prove per togliere il fondo costituito dagli sciame di cosmici: a causa del bassissimo rate dei cosmici isolati più di metà degli eventi erano costituiti da sciame, con la conseguenza di avere dei conteggi per raggi che cadevano contemporaneamente nella zona selezionata e in qualche altra parte della cella (l'ideale sarebbe stato di coprire con uno scintillatore tutta la cella a parte la zona interessata dalla misura). Per avere una sufficiente statistica in un tempo non troppo lungo si sono lette tre celle contemporaneamente, la Figura VII.23 mostra quelle utilizzate.



**Figura VII.23:** dettaglio delle tre celle utilizzate.

Nella Figura VII.24 viene visualizzato il diagramma a blocchi utilizzato per il conteggio degli eventi visti dagli scintillatori e quelli visti dalle tre celle.



**Figura VII.24:** schema del setup utilizzato per l'acquisizione.

I segnali dei 4 scintillatori vengono opportunamente ritardati (in modo che il tempo della coincidenza sia stabilito sempre da S1) e discriminati; viene fatta quindi la coincidenza dei primi tre e l'anticoincidenza di S4. Il segnale ottenuto (di circa 700 ns di larghezza) è mandato ad un contatore.

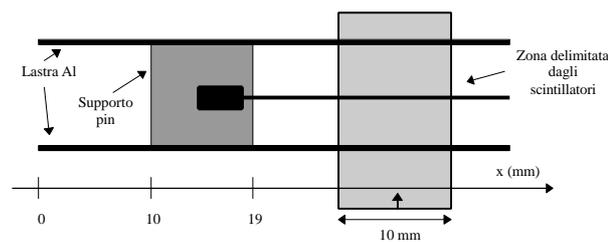
Ognuno dei tre canali delle celle, amplificato dai soliti amplificatori di corrente, viene ritardato di circa 100 ns, invertito, amplificato di 4 volte e discriminato (amplificazione

e inversione si rendono necessarie dato che i discriminatori disponibili presentano una soglia minima negativa di circa 30 mV). La coincidenza tra questo segnale e quello degli scintillatori è mandata ad un altro contatore; per evitare che eventi secondari provochino conteggi indesiderati è utilizzato un timer con uscita di 100  $\mu$ s per bloccare la coincidenza.

Tutte le misure sono state realizzate utilizzando per catodi, strips e anodi le tensioni di -1500 V, 1500 V e 3300 V rispettivamente; il flusso della miscela è stato mantenuto costante a 5 cc/minuto.

Nella Figura VII.25 è mostrato lo schema della sezione di cella delimitata dagli scintillatori assieme alla coordinata lungo il filo con origine all'inizio delle lastre di alluminio della camera: la posizione a cui vengono riferiti i conteggi è il centro della selezione.

Sono state eseguite acquisizioni per 10 posizioni lungo il filo nella zona della camera lato segnali; dato il rate (per gli scintillatori) estremamente basso di circa 15 eventi/ora le acquisizioni hanno avuto una durata minima di 24 ore e massima di 60 per le posizioni a più bassa efficienza.



**Figura VII.25:** coordinate utilizzate lungo il filo e zona delimitata dagli scintillatori.

### VII.7.3 Errori nella misura

L'errore sulla posizione lungo il filo si può stimare in  $\pm 1$  mm comprendendo sia l'errore nella determinazione dell'origine delle coordinate che quello nel posizionamento della struttura di supporto di S1 ed S2.

Più complesso il discorso per l'errore da attribuire alle ordinate: posto  $Ch_i$  il numero di conteggi del canale  $i$ , si può scrivere:

$$Ch_i = Ch_i^{eff} + Ch_i^{off}$$

dove il primo termine della somma costituisce il numero di conteggi effettivi della cella ai fini del calcolo dell'efficienza della zona delimitata dagli scintillatori, il secondo quelli dovuti a sciame.

Dato che l'evento costituito dall'arrivo di uno sciame si può ritenere segua la statistica poissoniana, l'errore su  $Ch_i^{off}$  è dato dalla radice del suo valore medio che si ottiene

considerando il numero di conteggi della cella in una posizione in cui l'efficienza è zero, per cui:

$$Ch_i = Ch_i^{off}$$

Il termine  $Ch_i^{eff}$  è gravato da due errori: il primo dovuto all'efficienza della cella, il secondo dovuto al fatto che il telescopio di scintillatori delimita una zona più ampia della larghezza della cella. Entrambi questi errori seguono la statistica binomiale per cui la deviazione standard vale:

$$s_{bin} = \sqrt{\bar{x}(1-p)}$$

essendo  $p$  la probabilità di successo dell'evento considerato e  $\bar{x}$  il valor medio dei successi. Nel caso dell'efficienza della cella,  $p$  è variabile da 1 a 0 (in cui si ottiene una statistica poissoniana), nell'altro  $p$  vale circa 0.3.

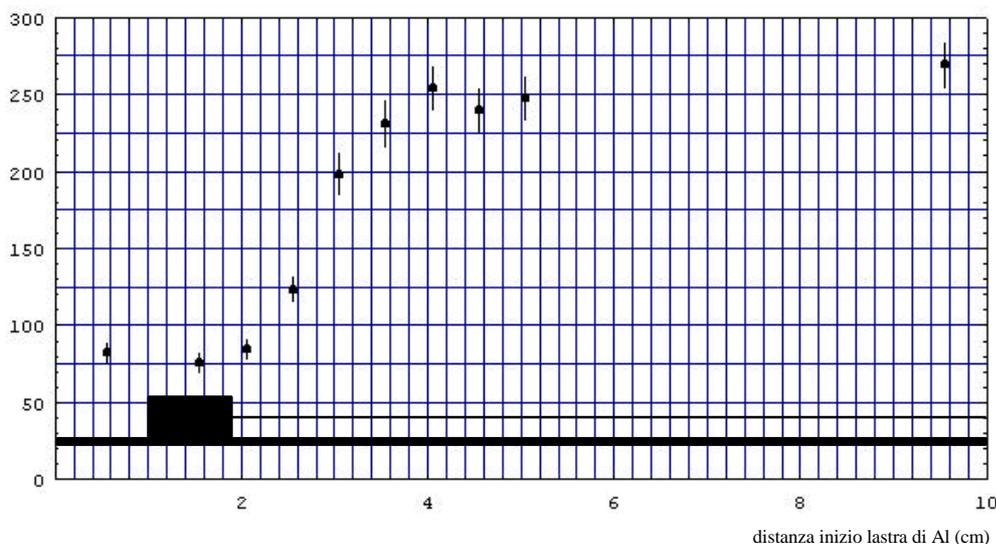
Nel nostro caso il numero dei conteggi viene mediato e normalizzato:

$$Ch_{norm} = k \sum_{i=1}^3 Ch_i = k \sum_{i=1}^3 (Ch_i^{eff} + Ch_i^{off})$$

dove  $k$  è l'opportuna costante di normalizzazione per avere 1000 conteggi da parte degli scintillatori, l'errore si ottiene quindi sommando quadraticamente i vari contributi.

### VII.7.4 Risultati ottenuti

Nel grafico di Figura VII.26 sono visualizzati i risultati ottenuti: la parte iniziale è dovuta al fondo rappresentato dagli sciami di cosmici, i punti rappresentano la coordinata mediana della selezione di 1 cm fatta dagli scintillatori.



**Figura VII.26:** efficienza della camera lungo il filo, nelle ordinate sono espressi i conteggi normalizzati a 1000 conteggi degli scintillatori.

Nella figura è disegnato, nelle corrette dimensioni, il supporto dei pin dei fili (0.9 mm) posto a 1 cm dal bordo della lastra mentre a 2.4 cm dal bordo iniziano i catodi: si può notare come lo spazio morto sia dell'ordine di 1.5 cm, considerata nella valutazione la fascia di 1 cm delimitata dagli scintillatori.