

VI CAPITOLO

MISURE SUL PROTOTIPO Q1

Nel periodo fine marzo - inizio aprile '96 sono state fatte delle acquisizioni di segnali della camera Q1 utilizzando l'amplificatore di corrente descritto nel capitolo precedente. Sostanzialmente queste misure sono state di prova sia per i quattro amplificatori costruiti sia per la conoscenza dello strumento utilizzato per acquisire i segnali: l'oscilloscopio LeCroy 9354A.

Misure più accurate ed approfondite dovevano essere fatte dopo i test-beam programmati al CERN nei periodi fine aprile - inizio maggio e giugno.

Purtroppo la camera non è più ritornata a Padova e si è dovuto rimandare questo lavoro, con conseguenti ritardi nella progettazione del front end, al termine della costruzione del nuovo prototipo Q2.

VI.1 OSCILLOSCOPIO LECROY 9354A

Con questo strumento sono state fatte tutte le acquisizioni su Q1 e Q2, è perciò opportuno descriverne brevemente le caratteristiche principali.

Si tratta di un oscilloscopio digitale con 500 MHz di banda passante capace di 500 MS/s, con un ADC a 8 bit per ciascuno dei 4 canali di ingresso; combinando 2 o 4 canali si arriva ad 1 GS/s e 2 GS/s rispettivamente.

Il sistema di trigger offre un insieme molto esteso di possibilità: sono triggerabili tutti i 4 canali con possibilità di utilizzarne un quinto per il solo trigger.

Offre la possibilità di registrare 25 K di dati per ogni canale (fino a 100 K combinando assieme i 4 canali) sia su memoria che su supporto magnetico, in particolare è stata sfruttata la capacità di *autostore* cioè la possibilità di registrazione automatica fino ad esaurimento della capacità del supporto.

L'oscilloscopio ha una calibrazione automatica che assicura una accuratezza verticale del 2% del fondo scala (prestazioni garantite con temperatura compresa tra 5° e 40° C e umidità inferiore all'80%).

I parametri più rilevanti:

- *clock accuracy* ≤ 10 ppm;
- *DC accuracy* ≤ ± 2% full scale (8 divisioni) a 0 V di offset;

- $50 \pm 1 \Omega$ *input bandwidth*: fino a 200 mV/div, DC to 500 MHz - sotto i 200 mV/div, 400 MHz - a 2 mV/div, 350 MHz;
- $1 \text{ M}\Omega//15 \text{ pF}$ *input bandwidth*: DC to 250 MHz;
- *cursors relative time*: $\pm 0.05\%$ full scale, $\pm 10\%$ data point sampling interval con traccia espansa;
- *cursors relative voltage*: $\pm 0.2\%$ full scale.

VI.2 RAGGI COSMICI

Quasi tutte le acquisizioni, sia sulla camera Q1 che Q2, hanno sfruttato i raggi cosmici quale sorgente di segnale. È quindi opportuno descriverne brevemente le caratteristiche principali.

Si tratta di radiazione ad alta energia che investe isotropicamente la Terra da ogni parte dello spazio. La radiazione cosmica fuori dell'atmosfera (*radiazione cosmica primaria*) è costituita principalmente da protoni (85%), da particelle alfa (13%) e in percentuale minore da nuclei più pesanti. Attraversando l'atmosfera la radiazione cosmica provoca complesse interazioni generando un gran numero di particelle (neutroni, pioni, muoni, ecc.) oltre ad elettroni e raggi gamma (questi ultimi costituiscono la cosiddetta *componente molle*). Il complesso delle radiazioni generate per interazione costituisce la *radiazione cosmica secondaria* che può giungere fino alla superficie della Terra.

Lo spettro energetico della radiazione primaria è espresso da una legge del tipo:

$$N(E) = kE^{-a},$$

dove $N(E)$ rappresenta il numero di particelle con energia maggiore di E ed a un parametro che vale circa 1.6 nell'intervallo da 10 a 10^5 GeV e un po' di più per energie superiori; si possono trovare particelle con grandissima energia (dell'ordine di 10^{16} eV). L'intensità della radiazione cosmica primaria per energie superiori a 10 GeV è di circa 300 particelle per metro quadrato al secondo; al livello del mare, considerando tutti i raggi cosmici secondari e tutte le energie, si ha un'intensità verticale di circa 100 particelle per metro quadrato al secondo. L'isotropicità della radiazione nello spazio si perde alla superficie, indicando con \mathbf{q} l'angolo tra la direzione della radiazione incidente e la verticale al terreno, la distribuzione angolare segue la legge:

$$\frac{dN}{d\mathbf{q}} = (\cos \mathbf{q})^k,$$

dove la costante k vale circa 2.

La radiazione cosmica di maggior energia penetra nell'atmosfera interagendo con i nuclei presenti e dà origine a numerose particelle tra le quali i muoni sono quelli che più facilmente arrivano al suolo interagendo molto poco con i nuclei (detti, per questa loro capacità di penetrazione, *componente dura*).

Tra gli effetti prodotti dalla radiazione cosmica nelle interazioni con l'atmosfera c'è la formazione di sciame elettromagnetici, che danno origine ad una grande quantità di particelle che arrivano quasi simultaneamente a terra (*sciame*), su aree che possono arrivare anche a qualche chilometro quadrato a seconda dell'energia iniziale della particella che genera lo sciame.

VI.3 MISURE SU Q1

Come già ricordato, Q1 è sostanzialmente identica a Q2 eccetto la minore lunghezza (circa 1 m) per cui la descrizione di Q2 fatta nel capitolo 3 si applica altrettanto bene anche a Q1, sia per la struttura che per l'ambiente e le modalità di utilizzo (stessa stanza, stessa struttura di supporto, stessi alimentatori, stessa miscela).

La basetta di supporto dei 4 amplificatori è stata montata sostituendola ad una schedina degli ASD8, sono stati successivamente inseriti tutti i 4 amplificatori e portati all'esterno fili di alimentazione e cavetti dei segnali facendoli passare per una feritoia; infine è stato richiuso il coperchio metallico schermante.

L'acquisizione dei segnali è stata fatta in coincidenza con un segnale di *start* (entro una finestra di 400 ns) costituito da un telescopio di scintillatori in modo da selezionare i raggi cosmici, abbastanza rozzamente, in verticale.

Le prime misure sono state dedicate alla conoscenza dell'oscilloscopio, alla verifica del corretto funzionamento degli amplificatori e alla riduzione del rumore entro limiti tollerabili in rapporto all'ampiezza dei segnali.

In particolare l'acquisizione ha avuto tre momenti:

- acquisizione sincrona dei 4 canali;
- casistica dei segnali, in particolare ricerca dei fotoni di feedback;
- acquisizione su un singolo canale di qualche centinaio di eventi per poter eseguire un'analisi off-line.

VI.4 ACQUISIZIONE SU 4 CANALI

Queste misure sono state fatte come verifica del funzionamento di tutto l'insieme. I quattro canali di lettura dei segnali sono stati collegati ai corrispondenti canali dell'oscilloscopio, in Figura VI-1 è mostrata tale corrispondenza, e l'acquisizione è fatta in coincidenza del segnale del canale 1 e di quello di *start* del telescopio.

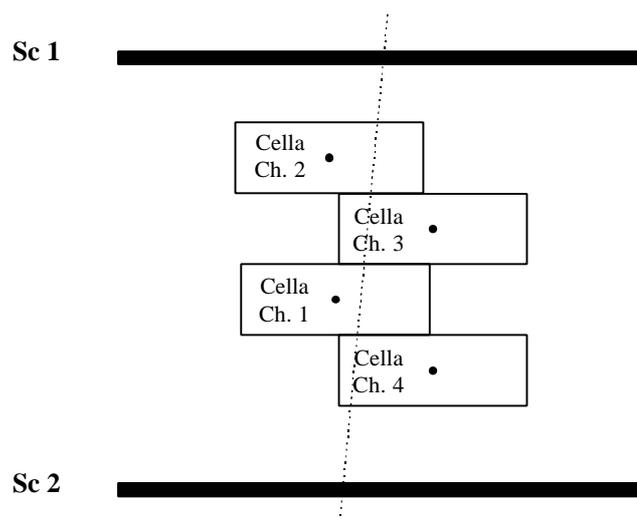


Figura VI-1: disposizione delle 4 celle utilizzate nella acquisizione e del telescopio di scintillatori per il trigger.

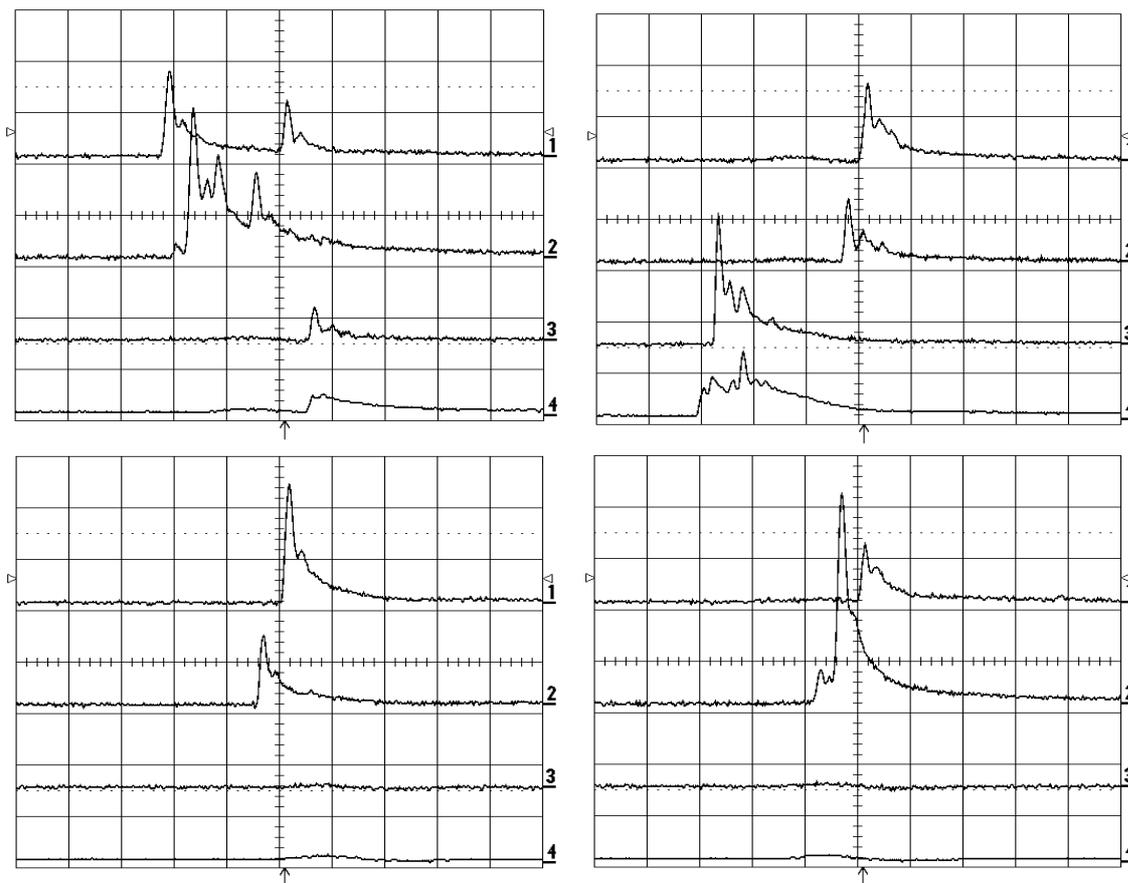


Figura VI-2: alcuni esempi degli eventi acquisiti utilizzando i 4 canali disponibili, la scala delle tensioni è di 100 mV/div mentre quella dei tempi di 100 ns/div e la soglia sul trigger del canale 1 di 14 mV.

Nella Figura VI-2 della pagina precedente, sono mostrati alcuni eventi tipici: si notano nei grafici in alto eventi che hanno interessato tutte le celle, in quelli in basso eventi che hanno interessato una sola coppia di celle (ovviamente comprendente la 1, sulla quale si triggera) di cui l'ultimo con traccia molto obliqua.

In particolare, nel primo grafico in alto a sinistra, si vede che le celle 1 e 2 sono state interessate da un evento non rilevato dagli scintillatori (la freccia sotto ai grafici indica l'inizio dello *start*) che ha determinato un pile-up con l'evento successivo.

Si può inoltre notare una ondulazione nella linea di base, dovuta ad un accoppiamento tra i canali e il trigger esterno dell'oscilloscopio.

VI.5 CASISTICA DEI SEGNALI ACQUISITI

Ad un amplificatore è stata quindi inserita in serie all'ingresso una resistenza di $200\ \Omega$ per adattare la linea costituita dalla camera e per mettersi nelle condizioni del preamplificatore del front end, come si vede in Figura VI-3.

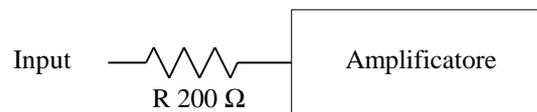


Figura VI-3: schema dell'amplificatore con resistenza in serie all'ingresso.

Nella Figura VI-4 sono mostrati alcuni esempi di segnali acquisiti: i primi due dall'alto si riferiscono al caso di amplificatore con resistenza, gli ultimi due senza; nel riquadro ne viene evidenziato il particolare più significativo.

Il primo grafico mostra il segnale tipo previsto dalla teoria, comunque non sono infrequenti segnali con vari picchi sovrapposti spiegabili sia da effetti secondari nello sviluppo della valanga (come rilevato nel capitolo 2) che da veri e propri eventi multipli ravvicinati nel tempo (una possibilità è costituita da uno sciame di cosmici). A volte il fronte del segnale si presenta con alcuni gradini dovuti all'arrivo a clusters degli elettroni di deriva all'anodo.

A proposito di effetti secondari, nel secondo e quarto grafico si possono vedere dei probabili fotoni di feedback a circa 150-200 ns dall'evento principale: tra l'insieme dei segnali acquisiti questa eventualità non è rara.

Nel terzo grafico, infine, si nota un'oscillazione sovrapposta al segnale con un periodo di circa 25 ns presente, più o meno evidente, anche negli altri casi di segnali con amplificatore senza resistenza. La spiegazione si può trovare ricordando la risposta in frequenza dell'amplificatore con ingresso capacitivo, che presenta un picco alle alte frequenze con conseguente overshoot nella risposta al gradino, come abbiamo visto nel capitolo precedente.

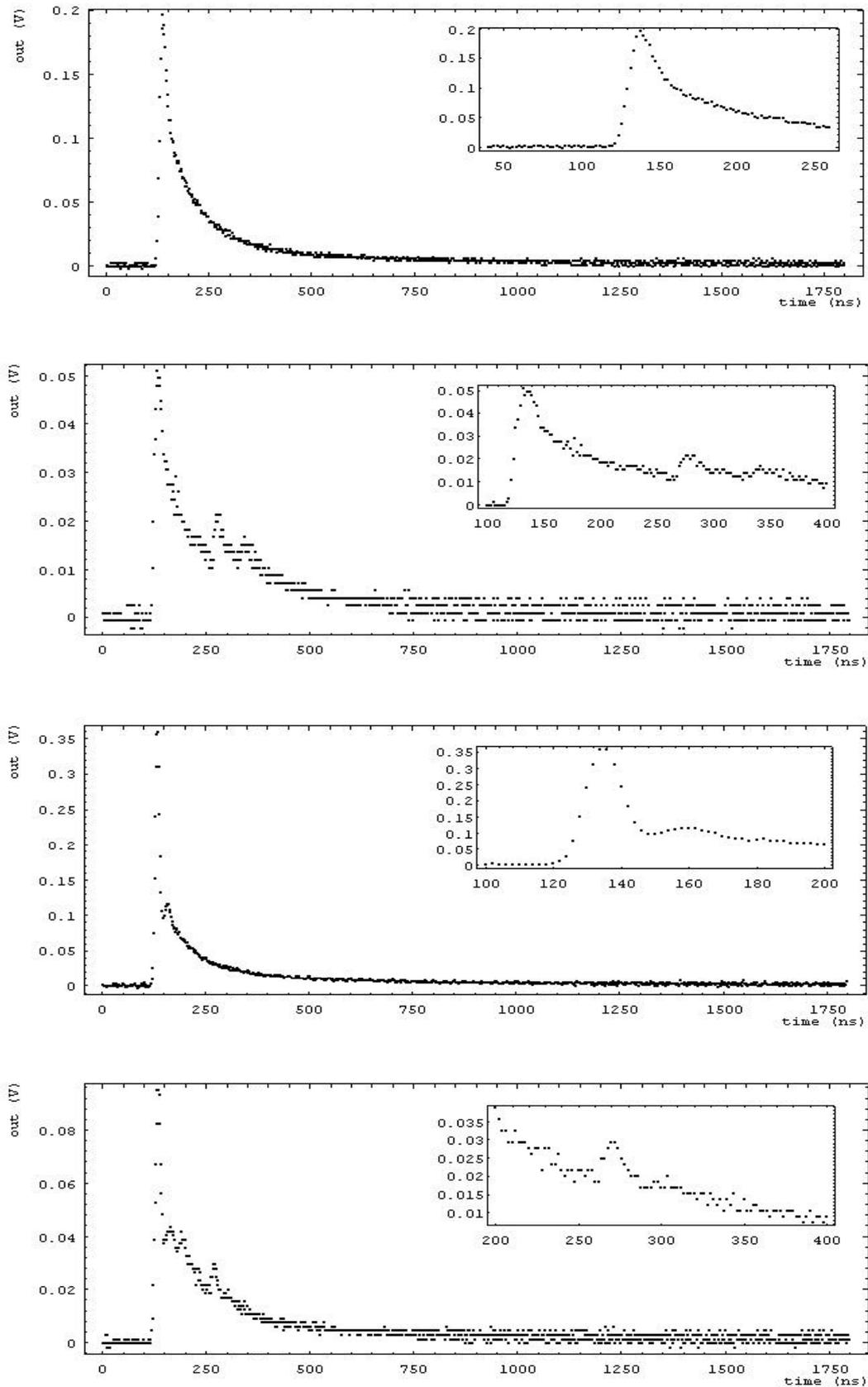


Figura VI-4: alcuni esempi di segnali acquisiti, i primi due si riferiscono all'amplificatore con resistenza da 200 Ω in serie all'ingresso.

VI.6 ANALISI OFF-LINE

Per avere a disposizione un numero sufficiente di eventi da analizzare si è utilizzata la funzione *autostore* dell'oscilloscopio per raccogliere circa 600 eventi con resistenza in serie all'ingresso dell'amplificatore e 100 senza, così da poter confrontare le due situazioni con un minimo di statistica.

Nella Tabella VI.1 sono mostrati i parametri usati per l'acquisizione; a causa di un cattivo funzionamento dell'oscilloscopio (problema poi risolto per le misure su Q2) non è stato possibile utilizzare un *sampling time* inferiore, come sarebbe stato più opportuno per analizzare con maggiore efficacia il tempo di salita dei segnali.

Tabella VI.1

A.T. CAMERA: -1800 1800 3600 (V)				
Tipo eventi	Sampling time (ns)	Tempo acq. (ms)	Scala vert. (mV/div)	Eventi
con R di 200 Ω	2	2	50	601
senza R	2	2	50	101

VI.6.1 Istogrammi

Gli eventi raccolti con la resistenza di ingresso sono stati analizzati per ricavare il rumore dei segnali, la carica e l'ampiezza massima. I risultati ottenuti sono mostrati nei tre grafici della pagina seguente.

Nella Figura VI-5 è mostrato l'istogramma del rumore calcolato prendendo la parte iniziale del segnale acquisito, circa una cinquantina di punti: è abbastanza alto, attorno ai 2 mV, d'altra parte non si è fatto un lavoro specifico per minimizzarlo come ad esempio si è fatto per le misure su Q2.

Nella Figura VI-6 viene visualizzato lo spettro di carica dei segnali (dopo aver tolto il piedistallo): il valore medio è di circa 2 pC.

Il grafico presenta un picco ben pronunciato e definito, con una coda lungo il verso positivo delle ascisse tipica della bassa statistica dei rivelatori sottili; la soglia di 20 mV sul trigger del segnale per l'oscilloscopio non influisce sulla parte iniziale del picco, che è priva di segni evidenti di tagli. Considerazioni più dettagliate verranno fatte nel capitolo successivo in relazione all'analisi delle acquisizioni su Q2.

Nella Figura VI-7, infine, è mostrato l'istogramma dei massimi dei segnali: la forma riprende quella della carica ed il valore medio è di circa 80 mV; da notare gli eventi raccolti nell'ultimo canale, si tratta di quei segnali che hanno superato il fondo scala dell'oscilloscopio.

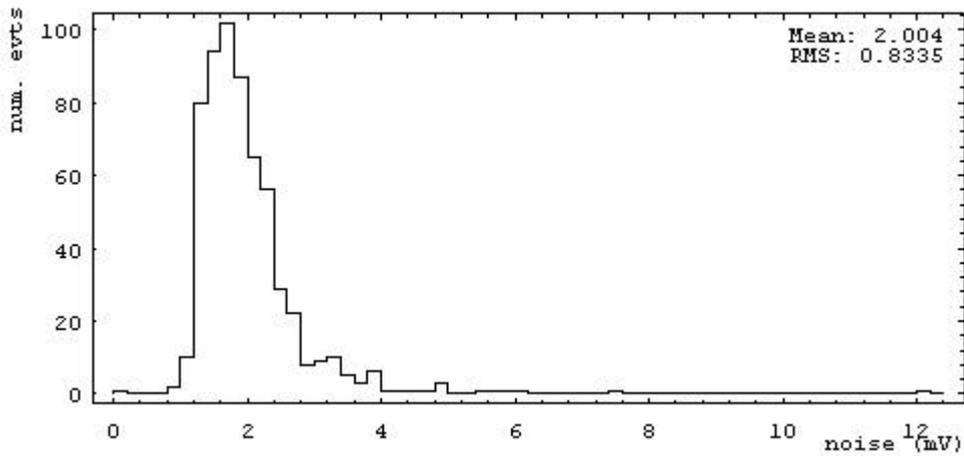


Figura VI-5: istogramma del rumore su 600 segnali.

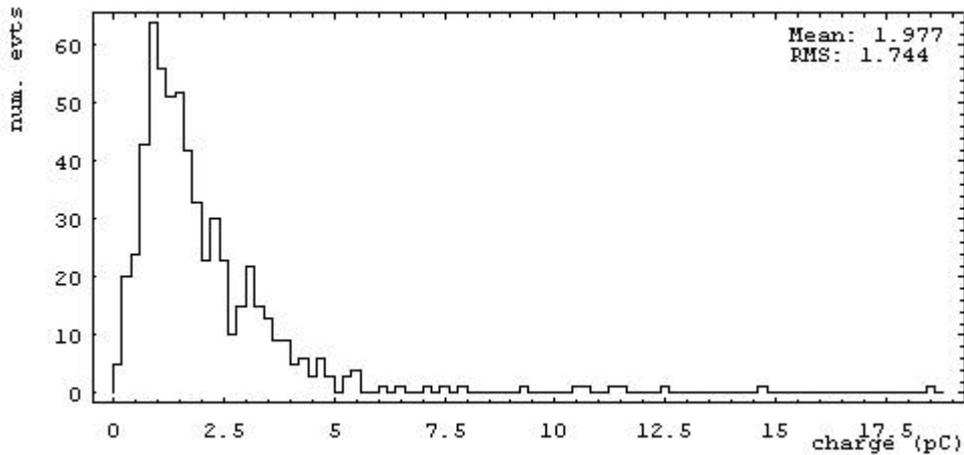


Figura VI-6: spettro di carica su 600 segnali.

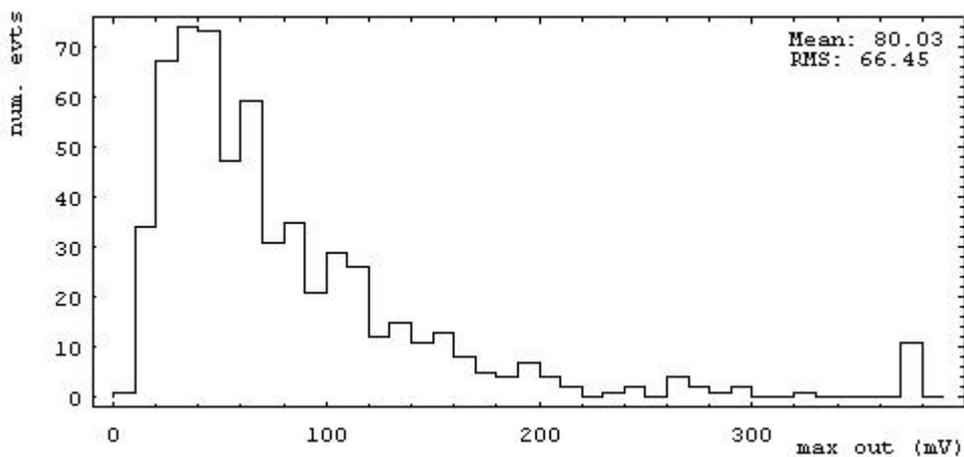


Figura VI-7: istogramma dei massimi dei segnali sempre su 600 eventi.

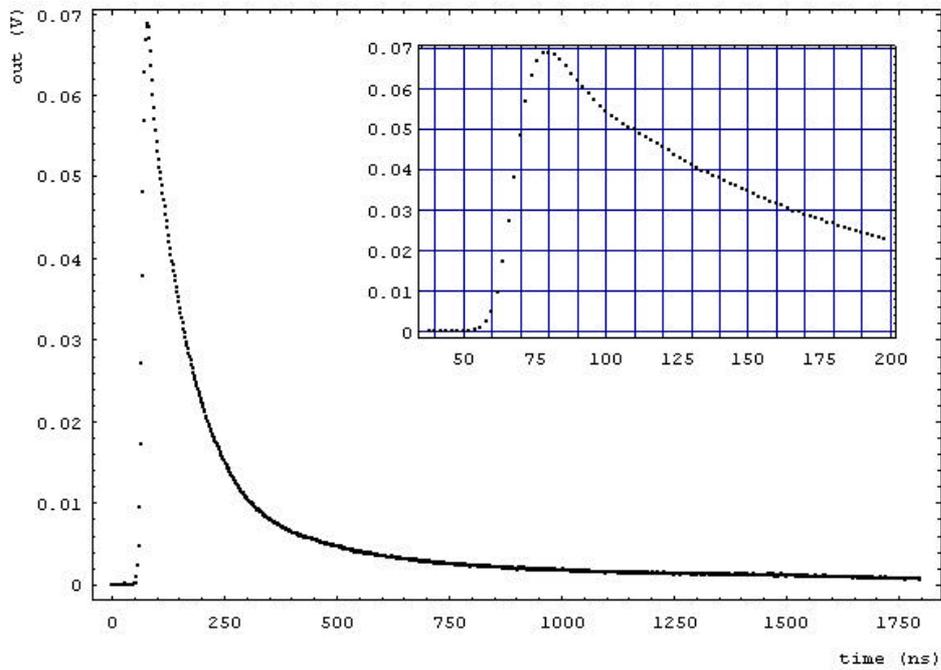


Figura VI-8: segnale medio su 600 eventi acquisiti con amplificatore e 200Ω in serie.

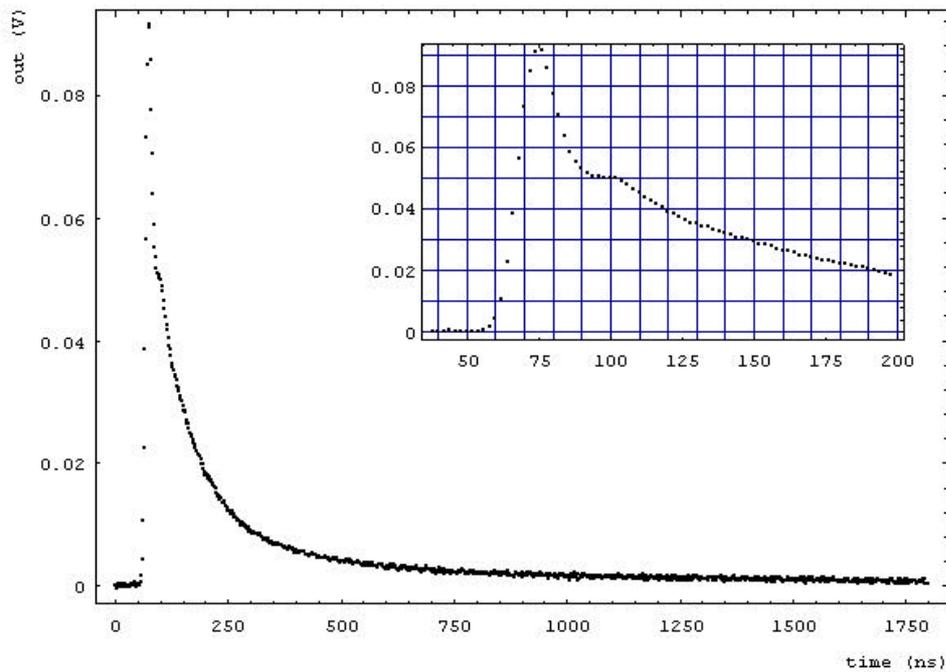


Figura VI-9: segnale medio su 100 eventi acquisiti con amplificatore senza 200Ω in serie all'ingresso.

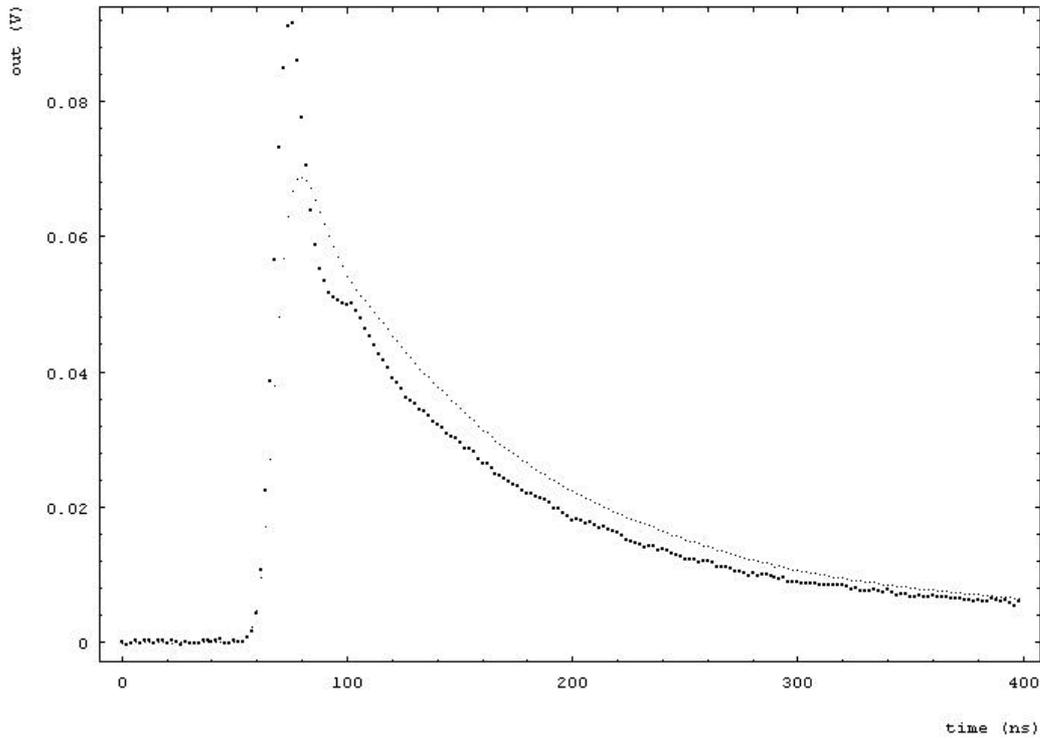


Figura VI-10: confronto segnali medi nei due casi, con e senza resistenza in serie.

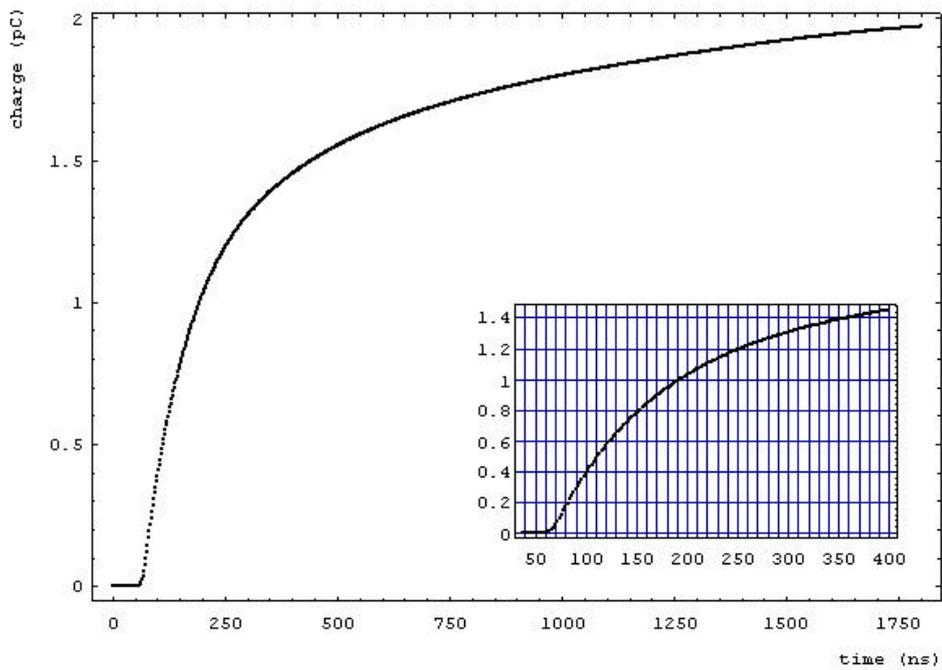


Figura VI-11: segnale medio integrato su 600 eventi, acquisiti con amplificatore e resistenza.

VI.6.2 Segnali medi

Come ultima analisi è stato determinato il segnale medio: fissata una soglia a 5 mV (scelta in modo da avere sufficiente immunità al rumore), dopo aver sottratto il piedistallo si è determinato il tempo al quale il segnale la superava; in base a questo valore i segnali sono stati traslati temporalmente per allinearli ad uno stesso istante iniziale e fra loro sommati e normalizzati, dividendo per il numero totale di eventi.

In Figura VI-8 è mostrato il segnale medio per l'amplificatore con in serie all'ingresso la resistenza da 200 Ω : la curva è molto regolare e non presenta alcuna anomalia.

In Figura VI-9 si vede il segnale medio dell'amplificatore senza resistenza: a differenza del caso precedente è ben visibile, evidenziata nel riquadro, l'ondulazione periodica nella curva già fatta notare e spiegata nel singolo segnale di Figura VI-4.

Nella Figura VI-10 è confrontata la parte iniziale dei due casi precedenti: il miglioramento nella forma del segnale che si ha con l'aggiunta della resistenza in serie all'ingresso ha l'inconveniente di peggiorare il fronte di salita dei segnali. Questo modesto peggioramento è comunque tollerabile piuttosto di avere un segnale fortemente alterato dall'utilizzo del solo amplificatore.

Infine, la Figura VI-11 mostra il segnale medio integrato, nel caso dell'amplificatore con resistenza; notiamo due cose:

- dopo 1.7 μ s la carica non è stata ancora completamente raccolta;
- dopo poco più di 100 ns viene raccolta circa metà della carica totale.

