

Capitolo 6

Risultati sperimentali

6.1 Prove preliminari di ottimizzazione del segnale in uscita dai MCP

Gli elettroni ottenuti dalla moltiplicazione nella placca a microcanali (MCP) danno origine sull'anodo di raccolta a un segnale elettrico la cui durata è generalmente dell'ordine di grandezza del nanosecondo, come già discusso precedentemente.

Uno studio preliminare è stato dedicato al segnale elettrico in uscita dalle placche a microcanali, finalizzato a ridurre quanto più possibile il tempo di salita medio. Infatti, il tempo di risalita di un segnale elettrico è proporzionale alle incertezze temporali dovute sia al rapporto rumore/segnale (relazione 39), sia alla dinamica delle ampiezze (relazione 40).

A tale scopo è stata allestita una camera a vuoto in cui sono stati collocati una sorgente radioattiva di particelle α e un rivelatore, composto da due MCP funzionanti in serie nella configurazione *chevron*.

La Fig. 68 evidenzia il modo di alimentazione delle placche a microcanali poste all'interno della camera a vuoto sperimentale.

Dallo schema si nota che i due MCP, posti in serie, sono alimentati in modo tale che sussista una differenza di potenziale di circa 1000 V ai

capi di ciascuno. Inoltre si è mantenuta una tensione di circa 300 V tra le due placche contigue e tra l'ultima superficie del rivelatore, quella posta verso l'anodo con impedenza caratteristica di 50 Ω , e la massa. L'impedenza del partitore di tensione è di circa 7.9 M Ω

Il segnale analogico generato sull'anodo dagli elettroni moltiplicati viene letto direttamente attraverso l'impedenza di ingresso dell'oscilloscopio digitale, anch'essa pari a 50 Ω .

Altre condizioni sperimentali, durante queste misure preliminari, sono le seguenti:

- pressione interna: 2.8×10^{-6} mbar
- V_A , alimentazione del partitore resistivo di tensione: -2640 V
- I_A , assorbimento: 333 μA
- sorgente α : Americio, monoenergetica a 5 MeV, 10^6 part/(min $\cdot \mu Ci$); attività $0.15 \mu Ci \Rightarrow 2500$ part/min (su 2π sterad.)

Due serie di misure sono state effettuate allo scopo di studiare il tipo di segnale in uscita di questi dispositivi in previsione di una possibile riduzione del tempo di salita medio.

Tali misure sono state effettuate con un oscilloscopio a campionamento (10 Gs/s) di banda passante fino a 1.5 GHz. Il segnale in uscita (Fig. 69) ha un'ampiezza media di 217.6 mV. In questo caso il rapporto rumore/segnale (σ_V/V) è inferiore a 3.7×10^{-4} . Come rumore si è preso in realtà il valore massimo di $\sigma_V = 0.08$ mV, che è quello del solo oscilloscopio, in quanto non è stata rilevata alcuna differenza tra MCP alimentati o spenti.

Il tempo di salita medio del segnale elettrico è $\tau_S = 620$ ps (Fig. 69).

L'incertezza temporale dovuta alla dinamica di ampiezza (*jitter*) può essere considerata accettabile in quanto il suo valore (relazione 39)

$$\sigma_{\tau 1} = \frac{0.08}{217.6} \cdot 620 = 0.2 \text{ ps} \quad (44)$$

è al di sotto del picosecondo.

Come accennato precedentemente, riducendo il tempo di risalita medio del segnale elettrico si tenta di migliorare la risoluzione temporale della catena elettronica di acquisizione, in visione delle misure sperimentali effettuate sul dispositivo di diagnostica descritte al paragrafo 6.2.

Secondo le relazioni (39) e (40), abbassando la media dei tempi di salita si ha una proporzionale diminuzione dell'incertezza temporale dovuta alla dinamica di ampiezza e al rapporto rumore/segnale.

Griglia di schermo all'anodo

Le Figg. 69 e 70 consentono il confronto tra il segnale in uscita ai MCP in due condizioni sperimentali ben distinte. La seconda si differenzia dalla prima per la presenza di una griglia a maglie, del tipo descritto nel paragrafo precedente, collocata a $100\ \mu m$ dall'anodo e posta elettricamente al riferimento di massa.

L'aggiunta di una qualunque griglia sottrae carica all'anodo in ragione inversa alla propria trasparenza. Anche in questo caso si prevede quindi una diminuzione dell'ampiezza del segnale elettrico: tale diminuzione non dovrebbe essere troppo rilevante altrimenti, come si vedrà in seguito, il rapporto rumore/segnale potrebbe aumentare e quindi peggiorare l'incertezza temporale anziché migliorarla, come nostro scopo. A questo proposito è stata scelta una griglia il più trasparente possibile (93%).

L'analisi statistica dei tempi per ognuno dei due segnali rappresentati nelle figure è stata effettuata attraverso cinquemila scansioni dell'oscilloscopio: in effetti le curve rappresentate nelle Figg. 69 e 70 sono l'andamento medio del segnale su più di tremila campioni. Le quattro colonne stampate da sinistra a destra classificano i tempi secondo la loro media, l'estremo inferiore e superiore dei campioni analizzati e infine la loro deviazione standard o *sigma*. Lo strumento ha analizzato, tra l'altro, la durata totale e i tempi di salita e di discesa

dei segnali.

Il segnale elettrico a polarità negativa è generato dal moto della carica indotta sull'anodo dalla nube elettronica ancora in avvicinamento all'anodo stesso. Schermando quest'ultimo con una griglia, posta anch'essa a massa, teoricamente dovrebbe essere possibile ritardare l'istante in cui la nube degli elettroni da raccogliere è "vista" dall'anodo e quindi ridurre il tempo di salita del segnale.

Più esattamente è facile verificare che un elettrone, per esempio a 300 eV di energia cinetica, viaggia nel vuoto a 1.02×10^9 cm/s, impiegando così soltanto una decina di picosecondi a percorrere i 100 μ m che separano la griglia dall'anodo. Si può pensare quindi che se l'effetto schermante della griglia fosse perfetto e se l'anodo non avesse una capacità propria rispetto alla massa, il tempo di salita di un segnale ideale, generato da questo elettrone, dovrebbe essere al più dell'ordine di dieci picosecondi.

Nelle condizioni reali, a griglia installata, ci si deve pur sempre aspettare una opportuna diminuzione del tempo di salita medio.

6.1.1 Risultati delle prove preliminari

Le Figg. 69 e 70, unitamente all'analisi statistica in esse compresa, confermano che in effetti si è verificato un sensibile abbassamento del tempo di salita del segnale medio. Dai 620 ps, esito delle prove in cui non era ancora stata collocata la griglia, si scende a 500 ps, un guadagno di 120 ps, pari al 20 %.

Si noti che nel caso di Fig. 70, avendo in uscita un segnale più basso, si è provveduto a ridurre proporzionalmente il livello di trigger, lasciando però tutti gli altri parametri inalterati. Tutto questo ai fini di avere un raffronto attendibile tra i due casi entro gli errori sperimentali.

6.1.2 Conclusione per le prove preliminari

Consideriamo dapprima gli esiti della diminuzione di τ_S sul *jitter*, ovvero l'incertezza temporale dovuta al rapporto rumore/segnale.

In riferimento alla relazione (39) facciamo, per i due casi distinti rispettivamente senza e con griglia, le seguenti considerazioni.

Restando immutato il rumore si ha comunque una diminuzione di circa 3.94 volte in ampiezza del segnale. Questo comporta un conseguente aumento del rapporto rumore/segnale, (σ_V/V) . In compenso il tempo di salita τ_S diminuisce di circa 1.24 volte. Ne consegue che alla fine il *jitter* aumenta, quindi peggiora la risoluzione temporale, di $3.94/1.24 \approx 3.18$ volte.

Il punto cruciale è che affinché si possa notare un apprezzabile guadagno sul *jitter* bisogna far sì che, a parità di trasparenza per la griglia già peraltro molto elevata, si possa diminuire τ_S anch'esso di una quantità almeno superiore a 3.94 volte. Ma questo comporterebbe per i tempi di salita un intervallo di soli $620/3.94 \approx 157$ ps o ancor meno, corrispondenti a una banda passante di più di 2.22 GHz, non più rilevabile attraverso l'oscilloscopio in nostra dotazione.

Identiche considerazioni possono essere fatte a riguardo di tutte le espressioni in cui l'ampiezza compare a denominatore e il tempo di salita a numeratore, in particolare, dunque, anche per l'incertezza temporale dovuta alla dinamica di ampiezza (*walk*), descritta dall'espressione (40).

6.2 L'esperimento all'acceleratore "CN"

Una serie di prove sperimentali è stata effettuata presso l'acceleratore "CN", il Van der Graaf da 7 MV dei Laboratori Nazionali di Legnaro. Obiettivo delle prove è quello di misurare la dispersione temporale che intercorre tra il passaggio di un proiettile ionizzante entro un foglio di carbonio e relativa emissione di elettroni secondari da quest'ultimo. Il foglio, le griglie e i rivelatori, dei quali si è parlato nel capitolo precedente, sono stati installati tramite supporti appositamente progettati a

tal fine su una flangia *CF* 150.

Prima di colpire il bersaglio di carbonio, il fascio di ioni ${}^4\text{He}^+$ (energia: 4 MeV, corrente: 500 nA e collimazione a 3 mm di diametro) incide su un foglio d'oro di spessore $\rho x = 1 \text{ mg/cm}^2$. La maggior parte degli ioni prosegue il percorso in traiettoria rettilinea; posto a 25 cm a valle del diffusore in oro, un pozzo di Faraday misura la corrente di fascio.

Il sistema di conversione ione-elettroni, composto da foglio di carbonio, griglie acceleranti e rivelatori MCP, è invece collocato a 30° rispetto alla normale al foglietto diffusore in oro. Quest'accorgimento è finalizzato a evitare l'esposizione diretta del foglietto di carbonio di conversione e dei rivelatori al fascio di particelle. Uno schema della disposizione interna alla camera a vuoto è visibile in Fig. 71. La pressione interna alla camera sperimentale è mantenuta a $2.0 \times 10^{-6} \text{ mbar}$.

La Fig. 72 [65] mostra la dipendenza tra produzione totale di elettroni secondari e energia delle particelle α incidenti.

Il partitore di tensione resistivo impiegato per l'alimentazione dei moltiplicatori di elettroni è stato alloggiato all'interno della camera a vuoto.

6.2.1 La diffusione nel foglio d'oro

Il numero di ioni ${}^4\text{He}^+$ diffusi a 30° rispetto alla normale al foglio d'oro, diretti cioè sul bersaglio di carbonio, può essere stimato per mezzo della teoria della diffusione multipla. Il numero dei processi diffusori entro il foglio d'oro, spesso (1 mg/cm^2), è $N > 20$. Il manuale di Marion [63] mette a disposizione, per questo argomento, alcuni grafici, formule e tabelle molto utili per il calcolo della distribuzione angolare delle particelle α^+ diffuse.

Ciò che risulta è che sul rivelatore per le α^+ appartenente al dispositivo di diagnostica giunge solo (come ordine di grandezza) una frazione pari a 10^{-9} delle 10^{12} particelle ${}^4\text{He}^+$ incidenti ogni secondo: la frequenza di conteggio è quindi dell'ordine del kHz.

Dopo la diffusione nel foglio di oro, le particelle convergono verso un collimatore a fessura, larga 1.6 mm e posta a circa 20 cm dal foglio di carbonio. Duplice compito di quest'ultimo è quello di ridurre la sezione trasversale del fascio di ioni incidenti, nonché di schermare i rivelatori dell'apparato dalla presenza di eventuali interazioni di natura elettromagnetica (raggi X) prodotte più a monte.

6.2.2 Le condizioni sperimentali

La Fig. 73 mostra la catena elettronica utilizzata per l'acquisizione dei segnali durante la prova all'acceleratore "CN".

Il segnale analogico in uscita dai MCP di ciascun rivelatore, rispettivamente per elettroni e particelle α^+ , viene inviato verso i due discriminatori di segnale a soglia (*leading edge*). Infatti, durante le prove preliminari accennate all'inizio del capitolo, era stato notato che non vi è alcuna differenza sulla risoluzione temporale in relazione al modo di funzionamento del discriminatore di segnale, se a soglia o a frazione costante (*costant fraction*). I discriminatori funzionanti in quest'ultimo modo sono generalmente progettati per operare con segnali da rivelatori allo stato solido, i cui tempi di risalita tipici sono dell'ordine di $2 \div 3\text{ ns}$. Quindi, il decisamente basso tempo di risalita ($\leq 1\text{ ns}$) del segnale prodotto dai MCP non permette alcuna utile correzione sui contributi della dinamica degli impulsi discriminati a frazione costante.

Il segnale emesso dal rivelatore per elettroni, dopo il discriminatore, viene qui impiegato come impulso di *start*. Infatti, all'energia minima di 5 keV , gli elettroni sono dotati di un fattore relativistico $\beta_e = 0.14$; i proiettili a 4 MeV , invece, posseggono un $\beta_{\alpha^+} = 0.04$. Dei segnali NIM in uscita dai discriminatori, quello di *stop* viene ritardato di qualche decina di ns ; l'impulso di *start*, invece, si chiude direttamente sull'ingresso di un TAC commerciale, a 50 ns di fondo-scala. L'importante funzione di quest'ultimo consiste nella conversione dell'intervallo Δt , che intercorre tra l'impulso di *start* e di *stop*, in un valore di tensione. L'analizzatore multicanale (MCA), posto alla fine

della catena, provvede a elaborare una statistica di questi valori di tensione e quindi della dispersione temporale finale.

Sullo schermo dell'analizzatore multicanale si forma così uno spettro temporale. La misura della *FWHM* dà il grado di "bontà" della correlazione temporale esistente.

6.2.3 Condizionamento e emissione di campo

Condizionamento

Tramite due distinti alimentatori ad alta tensione si provvede a fornire tensione sia al foglio di carbonio, sia alla griglia acceleratrice. Un terzo alimentatore porta la corretta tensione di alimentazione (fissata a -2640 V) ai MCP. In un primo tempo l'alimentatore del foglio tendeva a scaricare corrente, attraverso il vuoto, in direzione della griglia, e quindi verso l'alimentatore della griglia stessa. Quest'ultimo è infatti regolato per fornire un potenziale superiore rispetto al riferimento del foglio, e quindi si comporta come il polo "positivo" di un unico generatore di tensione, serie degli alimentatori per il foglio di carbonio e per la griglia. Per impedire ulteriori scariche di questo tipo sono stati inseriti alcuni diodi per alta tensione in serie ai due alimentatori in questione: Il catodo di ciascun diodo è rivolto verso l'alimentatore a cui esso è posto in serie.

Il condizionamento del vuoto richiede alcuni minuti di tempo. Ponendo il potenziale di griglia V_g a -3 kV rispetto al riferimento di massa, si abbassa gradualmente il potenziale del foglio fino a che non si notano piccole scariche luminose nel vuoto. Un sistema risultato efficace per la soppressione di queste scariche consiste nell'attendere alcuni secondi, fino a che l'azione della bassa corrente di scarica smussa le punte che la generano sugli elettrodi. La massima d.d.p. tra supporto del foglietto e griglia raggiunta in completa assenza di scariche è di 20 kV , in assenza del foglio di carbonio, e di 10 kV in presenza del foglio stesso. Si suppone che la causa di questo fenomeno sia da attribuire alle molte

pieghe che il foglio (autosupportante) forma sotto l'effetto del proprio peso. In previsione di ulteriori prove sperimentali, si provvederà a porre due ulteriori griglie a schermatura del bersaglio. Tali griglie, identiche nella fattura a quelle acceleratrici, disteranno circa 1 mm dal carbonio e saranno poste allo stesso potenziale elettrico di quest'ultimo.

Emissione di campo

Talune volte si osservano conteggi provenienti dal rivelatore di elettroni secondari anche in assenza di fascio α^+ . È subito apparso chiaro che questo fenomeno è in correlazione con la d.d.p. instaurata tra foglio e griglia. Si è inoltre visto che, disattivando il misuratore di vuoto tipo *Pening*, tale fenomeno si attenua sensibilmente, senza comunque cessare del tutto. I segnali elettrici in questione, visualizzati all'oscilloscopio, presentano un'ampiezza di circa 20 mV e un tempo di risalita identico a quello di segnali generati dagli elettroni secondari in presenza di fascio, sebbene, rispetto a questi ultimi, i primi siano un po' meno frequenti. Inoltre, il segnale del rivelatore affacciato al bersaglio è molto più rumoroso dell'altro.

L'emissione non voluta di elettroni in assenza di fascio ionizzante è da attribuirsi al fenomeno di *emissione di campo*, un effetto di origine quantistica caratterizzato dalla fuga di elettroni attraverso la superficie di un metallo tramite effetto *tunnel*. In Fig. 74 è possibile vedere un modello schematico che spiega tale fenomeno: al di fuori della superficie metallica la barriera di potenziale viene modificata dal campo elettrico esterno, ed è rappresentata dalla linea continua visibile in figura.

I contributi del campo elettrico esterno e del potenziale immagine sono rispettivamente illustrati a tratto punto-linea e punteggiata; qui è pure visibile la funzione d'onda dell'elettrone che subisce effetto *tunnel*.

Incrementando l'intensità di campo, aumenta gradualmente e in modo continuo la quantità di elettroni emessi ogni secondo.

Sebbene teoricamente la soglia di campo elettrico per ottenere emissione in una superficie metallica pulita sia dell'ordine di 10^9 V/m (tre

ordini di grandezza superiore al campo elettrico accelerante adottato nel nostro dispositivo di conversione), ciò nonostante la geometria delle micro-punte, sempre presenti in un conduttore, può localmente magnificare di un fattore β ($3 \leq \beta \leq 10^4$) l'intensità di un campo elettrico anche di modesta intensità [66].

Quindi, sebbene non esista una vera e propria soglia di d.d.p. sopra la quale si possa affermare di poter sempre osservare in modo rilevante conteggi spurî, tuttavia disturbi di questo tipo, a una frequenza di alcuni Hz , sono stati notati già a circa 6 kV di tensione acceleratrice¹ durante le prove sperimentali.

Questo problema è stato sensibilmente ridimensionato sottoponendo il supporto in rame del foglietto a trattamento lucidante tramite bagno chimico nella soluzione SUBU 5, una ricetta CERN.

Il SUBU 5 è composto da:

- acqua ossigenata (ossidante)
- acido sulfamico (aggrederente l'ossido)
- butanolo (moderatore della reazione)
- acqua deionizzata.

Il supporto in rame viene in seguito soggetto a un processo di passivazione in un bagno a base di acido citrico.

A questo procedimento sono quindi seguite prove che hanno confermato un sensibile ridimensionamento dell'emissione di campo: in assenza del foglietto di carbonio si sono ottenuti rari ($< Hz$) conteggi spurî a una tensione acceleratrice pari a 10 kV .

Installando il foglietto in carbonio, invece, di nuovo si contano frequenti impulsi di disturbo, talvolta a partire anche da 3 kV .

Sottoponendo il bersaglio di carbonio alla scansione di un microscopio elettronico (Figg. 75 e 76), si è notato che una delle due superfici del

¹d.d.p. applicata tra il foglio e la griglia.

foglietto presenta impurità (residui a base di sodio) dovute al processo di lavorazione.

La superficie a maggior emissione di campo è quella che, in un primo tempo, per motivi costruttivi era rivolta verso il rivelatore MCP di elettroni. Invertendo dunque il foglietto, si sono raggiunti risultati apprezzabili, al punto di poter infine contare rari ($\simeq Hz$) segnali spurî anche a tensioni acceleratrici pari a 10 kV.

6.2.4 Limitazioni alla risoluzione temporale

In condizioni ottimali di funzionamento, due MCP in serie rilasciano un segnale elettrico la cui ampiezza media è circa -200 mV e il tempo di salita medio $t_R \simeq 600\text{ ps}$, valori distribuiti su un'ampia dinamica delle ampiezze. Come si è visto durante le prove preliminari discusse all'inizio di questo capitolo, il rapporto rumore/segnale già sperimentato per questo genere di sistema è dell'ordine di $\sigma V/V \simeq 3.7 \times 10^{-4}$.

Purtroppo, a causa di probabili ossidazioni ai dischi porta-tensione in rame per i MCP, durante le prove all'acceleratore il segnale di uscita è decisamente diminuito, degradando così il rapporto rumore/segnale. La Fig. 77 illustra un segnale tipico prodotto, durante queste prove, dal rivelatore di elettroni secondari, evidenziandone l'ampia dinamica delle ampiezze.

Il segnale degradato emesso dai MCP durante questo esperimento è mediamente dell'ordine di 20 mV , crescente su un rumore $\sigma_{V_1} = 1.12\text{ mV}$ il che comporta un rapporto rumore/segnale di $\sigma_{V_1}/V_1 = 5.6 \times 10^{-2}$. Un segnale così basso non è inoltre in grado di pilotare i discriminatori posti più a valle. Per ovviare a questo inconveniente sono stati introdotti nella catena elettronica due preamplificatori veloci, entrambi posti all'uscita della camera a vuoto (Fig. 73).

Il nuovo segnale analogico così ottenuto presenta le seguenti caratteristiche medie: ampiezza $V_2 = -122\text{ mV}$ e tempo di risalita $t_R = 900\text{ ps}$ (Fig. 78).

Il rumore resta invariato a $\sigma_{V_2} = \sigma_{V_1} = 1.12\text{ mV}$ (Fig. 79).

L'introduzione dei preamplificatori apporta una apprezzabile miglioramento al rapporto rumore/segnale, questa volta pari a:

$$\sigma_{V_2}/V_2 = 9.2 \times 10^{-3},$$

Il contributo dell'incertezza temporale dovuto al rapporto rumore/segnale (*jitter*) è dunque (relazione 39):

$$\Delta\tau_j = 8.3 \text{ ps.} \quad (45)$$

Ben più rilevante risulta, invece, il contributo di incertezza temporale dovuto alla dinamica di ampiezza (*walk*). Infatti l'ampiezza media del segnale preamplificato visibile in Fig. 78 è compresa tra un minimo di -2.9 mV a un massimo di -263.5 mV .

Il che comporta, in riferimento alla relazione (40) un contributo pari a:

$$\Delta\tau_w = 614 \text{ ps.} \quad (46)$$

avendo prefissato il valore di soglia V_S del discriminatore a 2 mV .

Infine, il contributo dovuto alla dinamica dei tempi di risalita è irrilevante, così come l'incertezza dovuta alla deriva, dati i tempi brevi in cui le misure sono state effettuate.

Per misurare il contributo dell'elettronica (preamplificatori, discriminatori di segnale e TAC), ci si è serviti di un segnale prodotto da un impulsatore commerciale. Tale segnale presenta le seguenti caratteristiche: ampiezza pari a -40 mV e tempo di risalita di 5 ns . Il *jitter* proprio dell'impulsatore risulta del tutto inessenziale a causa della tecnica usata: l'uscita dell'impulsatore viene divisa in due parti e ciascun segnale così ottenuto viene impiegato come segnale di *start* e di *stop*. La misura dell'incertezza temporale dovuta alla catena elettronica viene infine misurata acquisendo uno spettro delle dispersioni temporali tramite un analizzatore multicanale (MCA).

La calibrazione effettuata su quest'ultimo strumento, in fase preliminare alle prove, mostra che ogni canale equivale a 48 ps.

Avendo mantenuto costante il riferimento di soglia del discriminatore a 2 mV, risulta che il contributo della catena elettronica di acquisizione è pari a 2 canali (*FWHM*), ossia:

$$\Delta\tau_e = 96 \text{ ps.} \quad (47)$$

6.2.5 Coincidenze elettroni- ${}^4\text{He}^+$

Prima di acquisire le misure della dispersione temporale sui tempi di volo delle particelle tramite analizzatore multicanale, si visualizzano all'oscilloscopio digitale i segnali prodotti, nei rivelatori a moltiplicazione di elettroni, sia dagli elettroni sia dalle particelle α^+ in coincidenza.

La Fig. 80 mostra appunto una coincidenza di tali segnali. La traccia 2 rappresenta la rivelazione di uno ione ${}^4\text{He}^+$; quella sovrastante, invece, è stata prodotta da elettroni secondari emessi dal foglietto di carbonio al passaggio dello ione stesso.

6.3 Risultati preliminari

La Fig. 81 riporta una fotografia scattata al monitor del multicanale durante le prove sperimentali.

In questa foto sono contemporaneamente visibili tre spettri della dispersione temporale dei tempi di rivelazione, sui MCP, di ioni ${}^4\text{He}^+$ e degli elettroni secondari emessi dal foglietto di carbonio e ad essi correlati.

Come già ribadito, ogni canale sull'analizzatore equivale a 48 ps.

Il primo spettro a sinistra è stato ottenuto tramite le seguenti condizioni e presenta le seguenti caratteristiche:

- $V_f = -5 \text{ kV}$

- $V_g = -4 \text{ kV}$
- $FWHM = 672 \text{ ps}$ (14 canali)

dove con V_f si è indicato il potenziale elettrico del foglio rispetto al riferimento di massa e analogamente con V_g il potenziale della griglia acceleratrice.

Il secondo spettro è invece così descrivibile:

- $V_f = -8 \text{ kV}$
- $V_g = -4 \text{ kV}$
- $FWHM = 624 \text{ ps}$ (13 canali)

Per il terzo e ultimo spettro rappresentato a destra nella figura si ha:

- $V_f = -11 \text{ kV}$
- $V_g = -4 \text{ kV}$
- $FWHM = 624 \text{ ps}$ (13 canali).

Pur non essendo rappresentato nella Fig. 81, è stato acquisito un ulteriore spettro dotato delle seguenti caratteristiche:

- $V_f = -14 \text{ kV}$
- $V_g = -4 \text{ kV}$
- $FWHM = 768 \text{ ps}$ (16 canali).

Sottraendo in quadratura i contributi delle incertezze temporali apportati dall'elettronica e dal rumore ², per il contributo temporale dovuto alla sola fisica del fenomeno studiato, si ottiene:

²riportati nella sezione 6.2.4

- spettro 1: $\Delta\tau \simeq 256 \text{ ps FWHM}$
- spettro 2: $\Delta\tau \simeq 57 \text{ ps FWHM}$
- spettro 3: $\Delta\tau \simeq 57 \text{ ps FWHM}$
- spettro 4: $\Delta\tau \simeq 451 \text{ ps FWHM}$.

Concludendo, si può asserire che i risultati preliminari di misura delle dispersioni temporali del dispositivo di diagnostica, realizzato per questo lavoro di tesi, sono dotati di una risoluzione fortemente limitata dall'incertezza temporale dovuta alla dinamica delle ampiezze (*walk*).

Per il secondo e per il terzo spettro di Fig. 81, tuttavia, la forte limitazione pur introdotta da questo tipo di incertezza lascia intravedere che il contributo fisico dovuto al fenomeno della conversione ione-elettrone è circoscritto a qualche decina di picosecondi (ampiezza a metà altezza).

Nuove e definitive prove sperimentali seguiranno a quelle qui già discusse finora. In questo caso ci si potrà avvalere del nuovo convertitore tempo-ampiezza (TAC) progettato e in via di ultimazione. Essendo il potere risolutivo del nuovo TAC superiore a quello proprio del modello commerciale impiegato per le misure preliminari qui descritte, vi è una ragionevole certezza di ottenere misure più dettagliate di quelle ottenute attualmente.

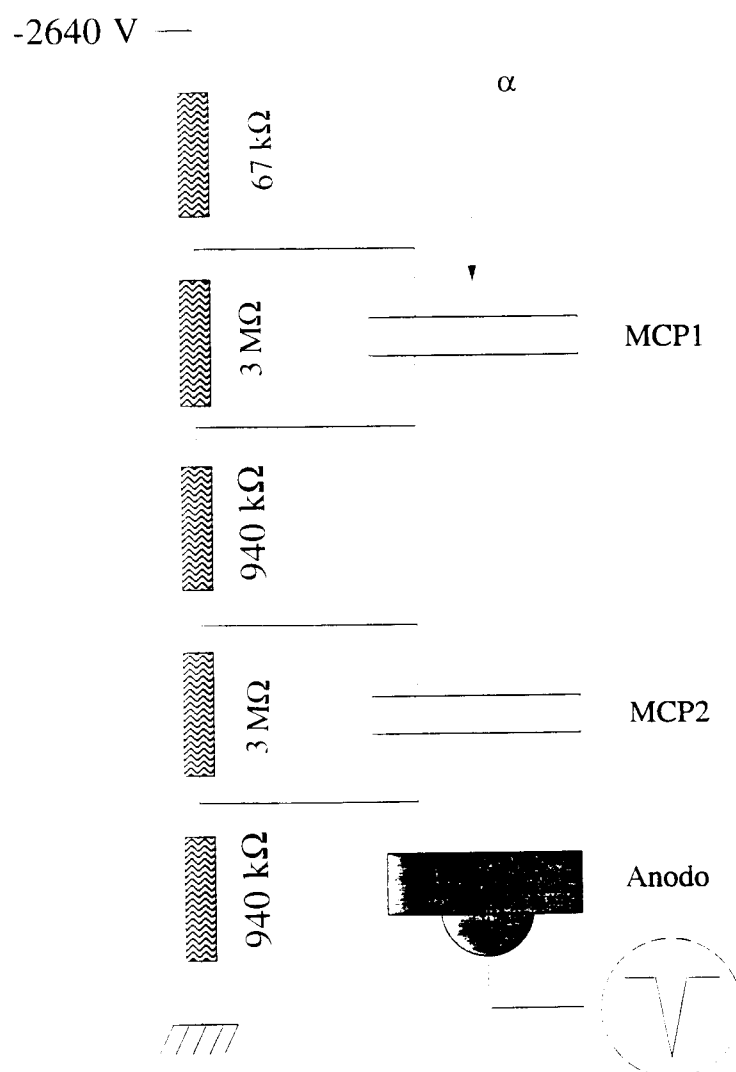


Figura 68: Alimentazione delle placche a microcanali e disposizione della sorgente.

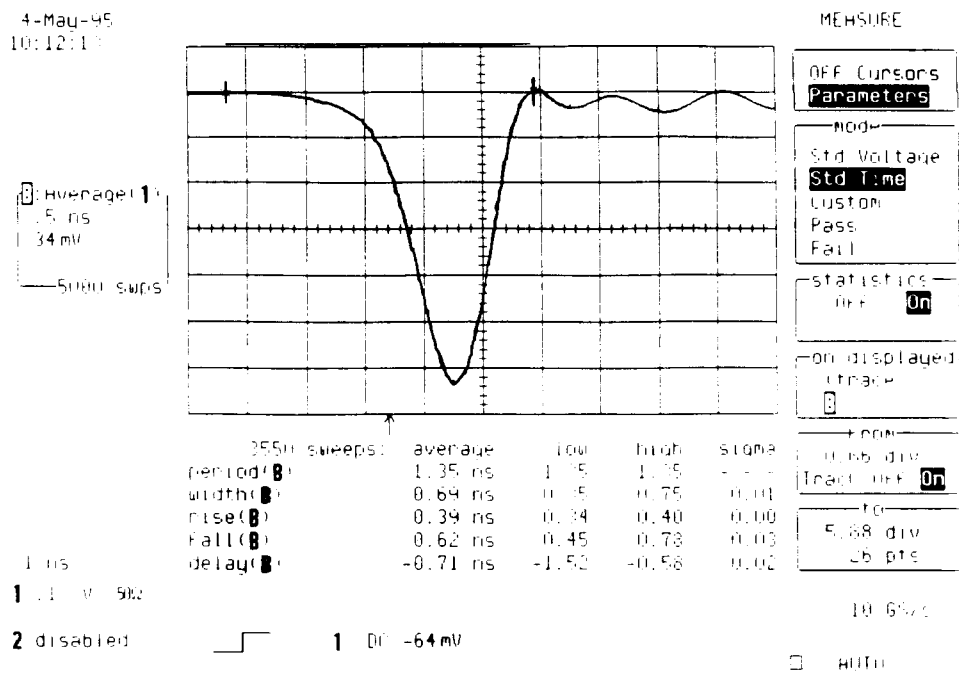


Figura 69: Il segnale in uscita dai MCP senza griglia schermo. La sua ampiezza media è $V = 217.6 \text{ mV}$ e il suo tempo di salita medio è di $\tau_S = 620 \text{ ps}$.

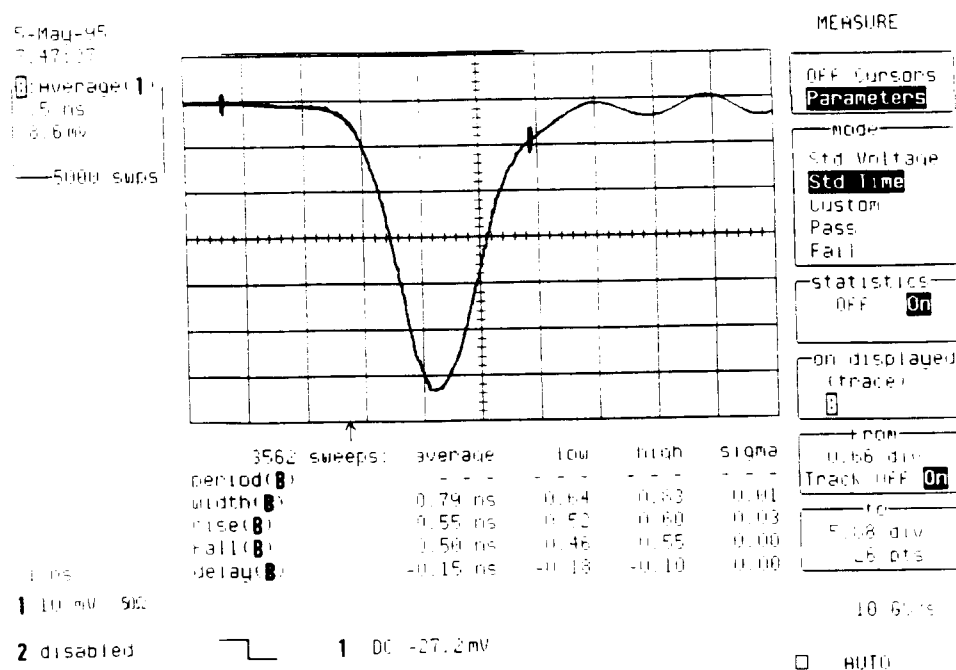


Figura 70: Il segnale in uscita dai MCP ma con l'aggiunta di una griglia schermo posta a $100 \mu\text{m}$ dall'anodo. L'ampiezza è $V = 55.04 \text{ mV}$; il tempo di salita è $\tau_S = 500 \text{ ps}$.

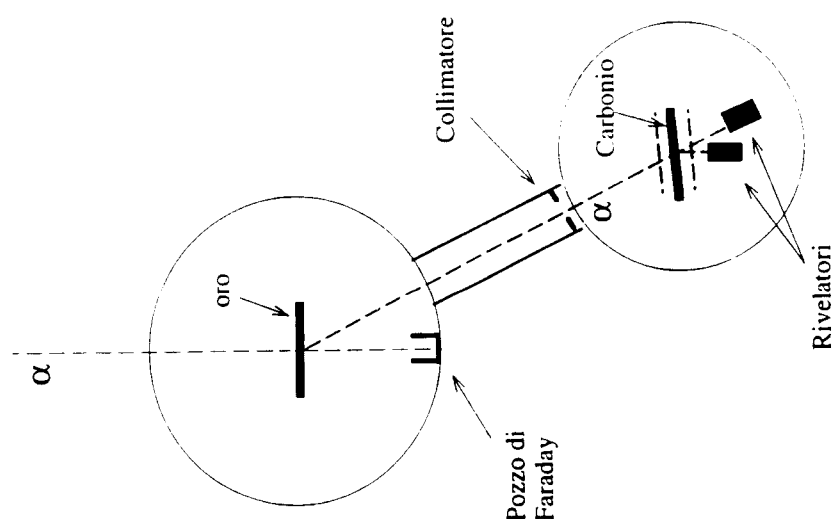


Figura 71: Disposizione dei componenti sotto il fascio dell'acceleratore.

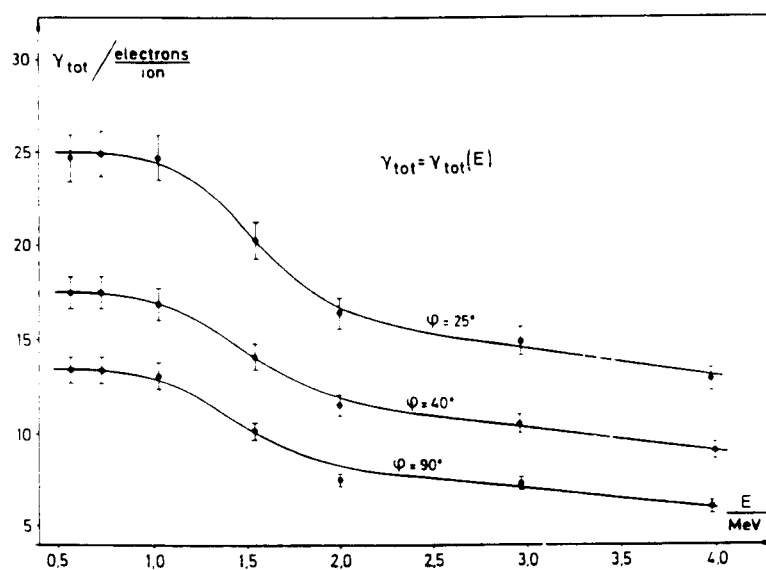


Figura 72: Produzione totale di elettroni secondari emessi da un foglio di carbonio ($10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) in funzione dell'energia e dell'angolo ϕ delle particelle α incidenti.

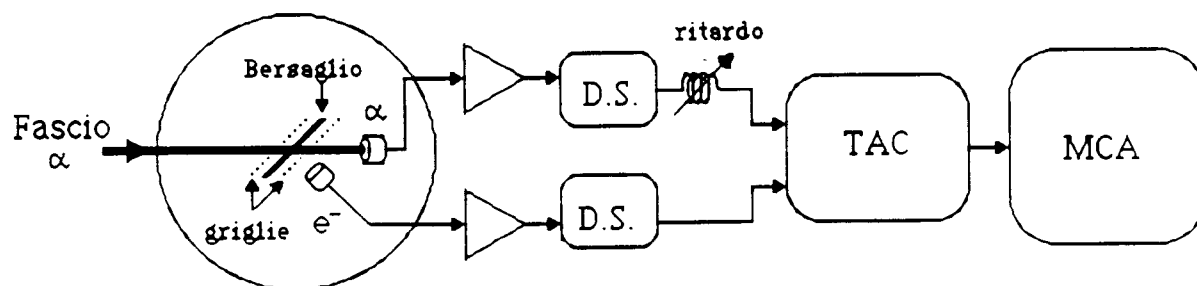


Figura 73: Il sistema di acquisizione dati durante l'esperimento all'acceleratore "CN" di Legnaro (D.S.: discriminatori a soglia; TAC: convertitore tempo-tensione; MCA: analizzatore multicanale).

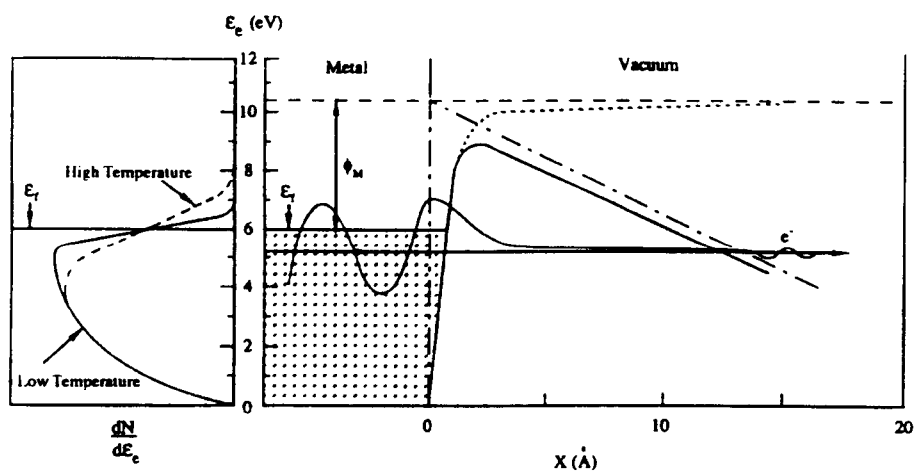


Figura 74: Modello del fenomeno emissione di campo.

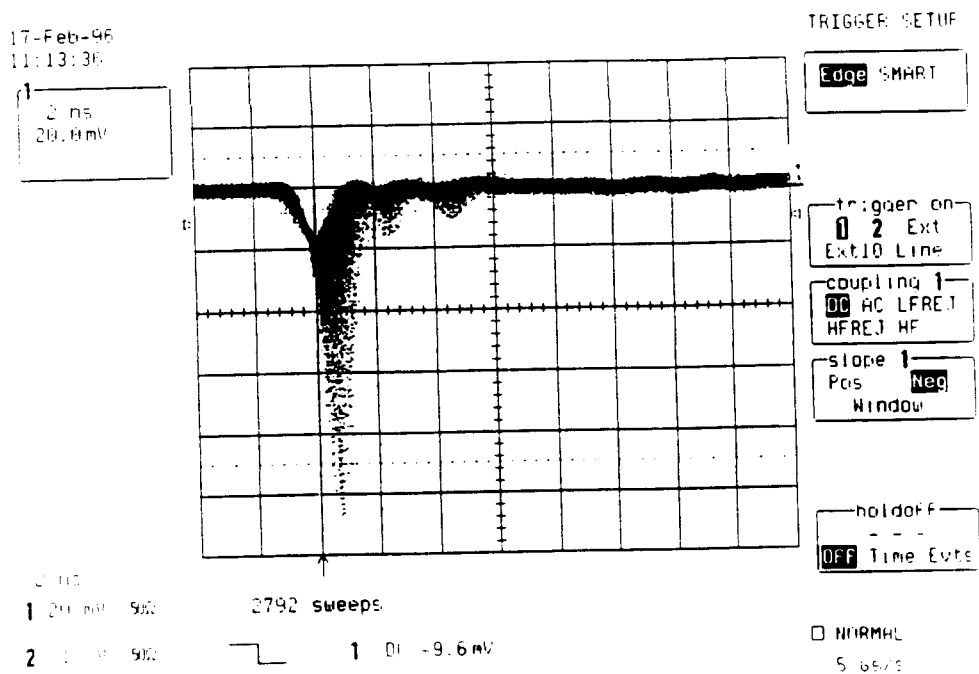


Figura 77: Dinamica delle ampiezze del segnale prodotto dagli elettroni secondari e non ancora preamplificato.

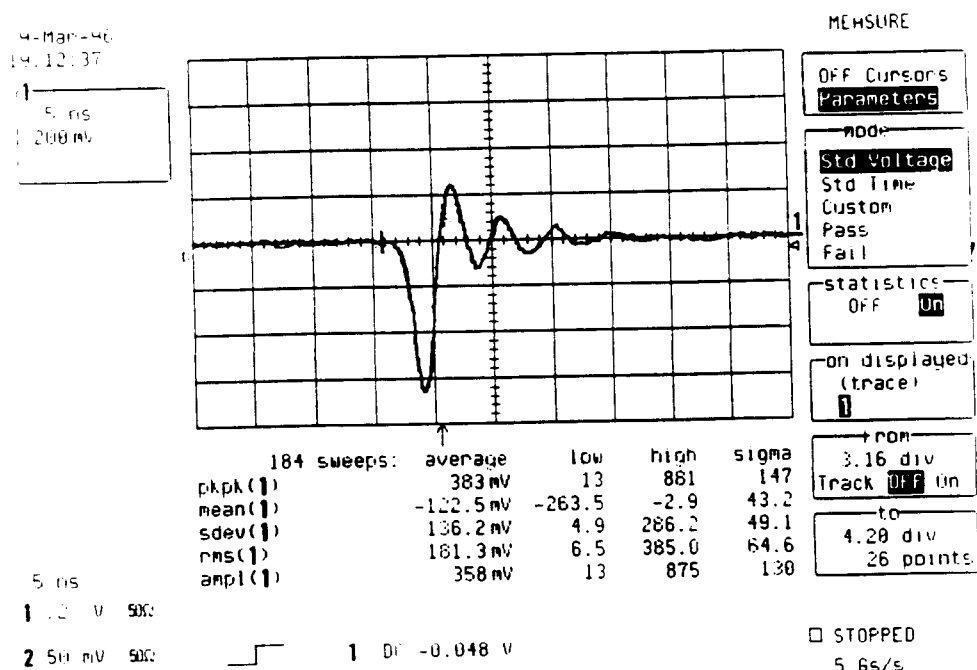


Figura 78: Segnale preamplificato.

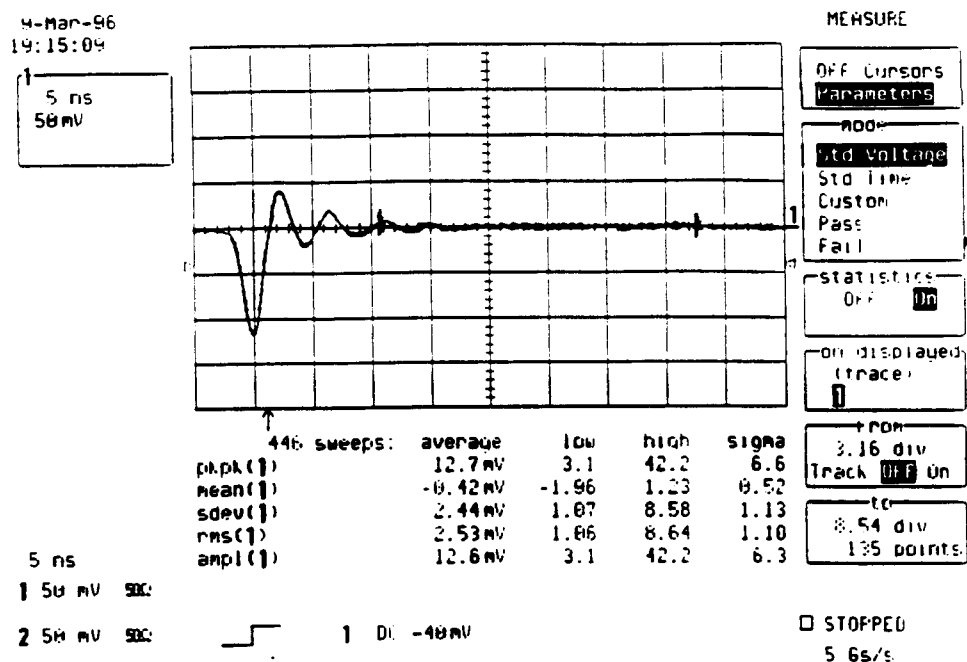
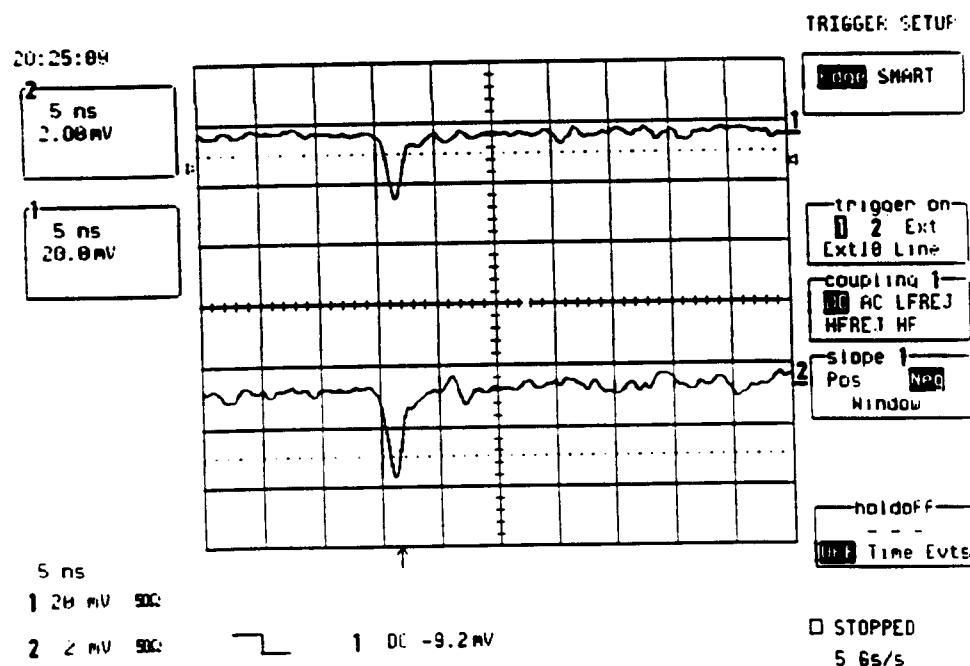


Figura 79: Rumore a valle del preamplificatore.

Figura 80: Segnali prodotti da elettroni (sopra) e ioni ${}^4\text{He}^+$ in coincidenza.

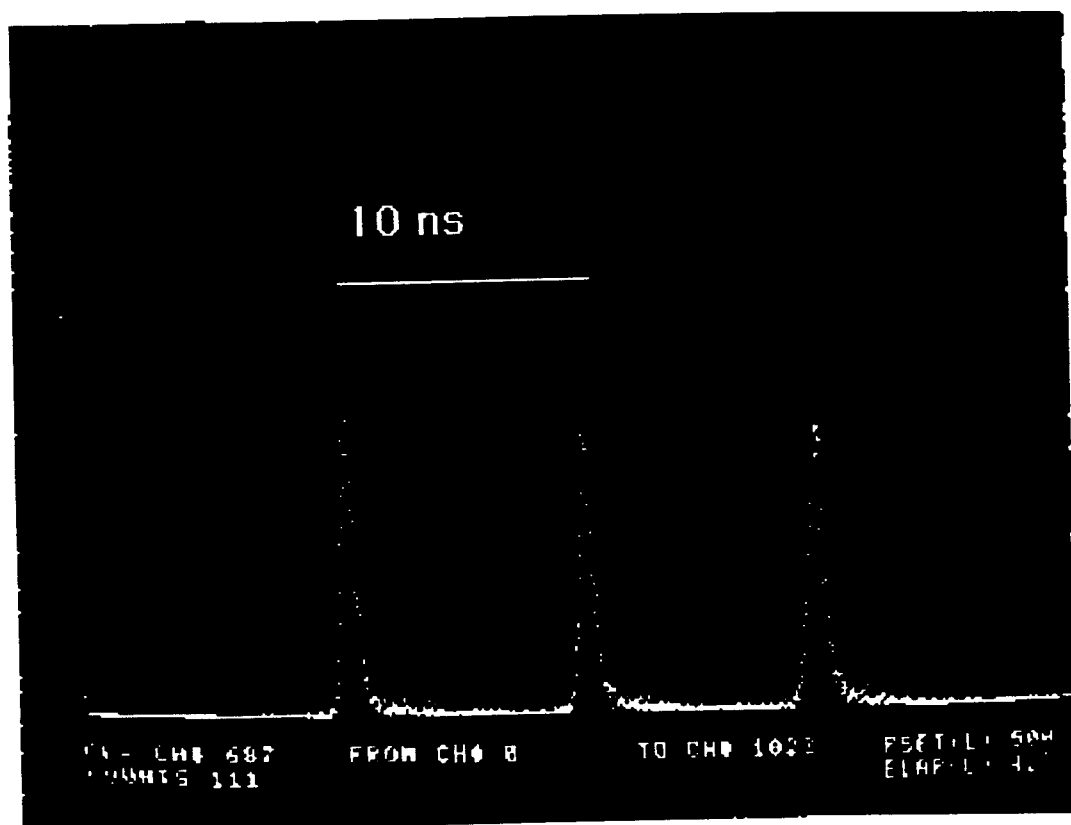


Figura 81: Spettri sperimentali delle dispersioni temporali. Ogni canale equivale in media a 48 ps.