

## Keithley 6487 picoammeter detto “il pico”

### Introduzione

Fate lo sforzo di leggere questa introduzione perché qui c'è quello che ho imparato sul pico e che non è scritto nel manuale ed è frutto di molte misure e fatica!

Come sapete il pico può essere configurato per effettuare una misura di corrente o un ciclo di N misure consecutive. I dati sono memorizzati in un buffer interno che contiene al massimo  $N=3000$  misure.

Il pico fornisce le misure come integrale della corrente in un dato intervallo di tempo, detto tempo di integrazione.

Il tempo di integrazione viene calcolato dal pico come multiplo o sottomultiplo di un clock di riferimento che è il periodo della tensione di rete che alimenta lo strumento. Poiché la nostra 220 V ha una frequenza di 50 Hz, il clock di riferimento è 20 ms. I multipli selezionabili dall'utente sono: 0.01, 0.1, 1, 2, ..., 50 e corrispondono a tempi di integrazione di 0.2 ms, 2 ms, 20 ms, 40 ms, ..., 1 s. Apparentemente non sono possibili valori intermedi.

Il rate dello strumento nel caso di N misure consecutive dipende dal tempo di integrazione: se si vuole misurare ad alti rate, occorre impostare brevi tempi di integrazione.

Non ci sono informazioni sul modo in cui lo strumento calcola l'integrale. Suppongo che all'interno ci sia qualcosa di equivalente ad un sampling ADC o ad un ADC che lavora in carica. In ogni caso lo strumento è piuttosto lento nel compiere questa operazione.

Da alcune misure che ho fatto il pico impiega circa 16 ms per convertire la corrente nel valore integrato ed inviarlo al buffer dati interno.

Quindi la sua velocità (o meglio lentezza) di conversione è la maggiore limitazione al rate di misurazione dello strumento. Lo strumento non può fare misurazioni continue con rate superiori a  $(16 \text{ ms})^{-1} \approx 60 \text{ Hz}$ .

Tuttavia il pico è capace di lavorare a frequenze più elevate (c'è un multiplexer dentro?). Il prezzo si paga con un tempo morto.

Per esempio, si può impostare un ciclo di  $N=100$  misure con il tempo di integrazione minimo di 0.2 ms e avere il massimo rate di misura  $\approx 1 \text{ kHz}$ . Il ciclo dura circa 100 ms e permette di avere una campionatura molto “fine” della corrente.

Ma la velocità dello pseudo-ADC non cambia e quindi bisogna poi aspettare circa 1.6 s ( $100 \text{ misure} \times 16 \text{ ms}$ ) prima che tutti i dati siano disponibili nel buffer interno. Questo è tempo morto durante il quale lo strumento non può essere riarmato per effettuare un'altra misurazione.

Aumentando il tempo di integrazione, diminuisce il rate ma anche il tempo morto. Scelto il tempo di integrazione non è facile prevedere quale sia il rate dello strumento, che dipende anche dal numero N di misure richieste.

## Misure di test

Dunque il pico può essere programmato per effettuare un ciclo di misurazioni specificando il tempo **I** di integrazione ed il numero **N** di misure.

La scelta di **N** e di **I** determina la durata totale **M** del ciclo di misura e quindi il rate effettivo **R** ( $R=N/M$ ).

Il pico è dotato di una porta seriale per il controllo remoto. Quindi ho fatto un programma in C che, una volta configurato lo strumento, esegue (e ripete continuamente) un ciclo di misure e scarica su PC i dati memorizzati nel buffer interno.

Il tempo necessario a riempire il buffer, scaricarlo su PC e a riarmare il pico per un nuovo ciclo di misure è il tempo morto **D** (Figura 1).

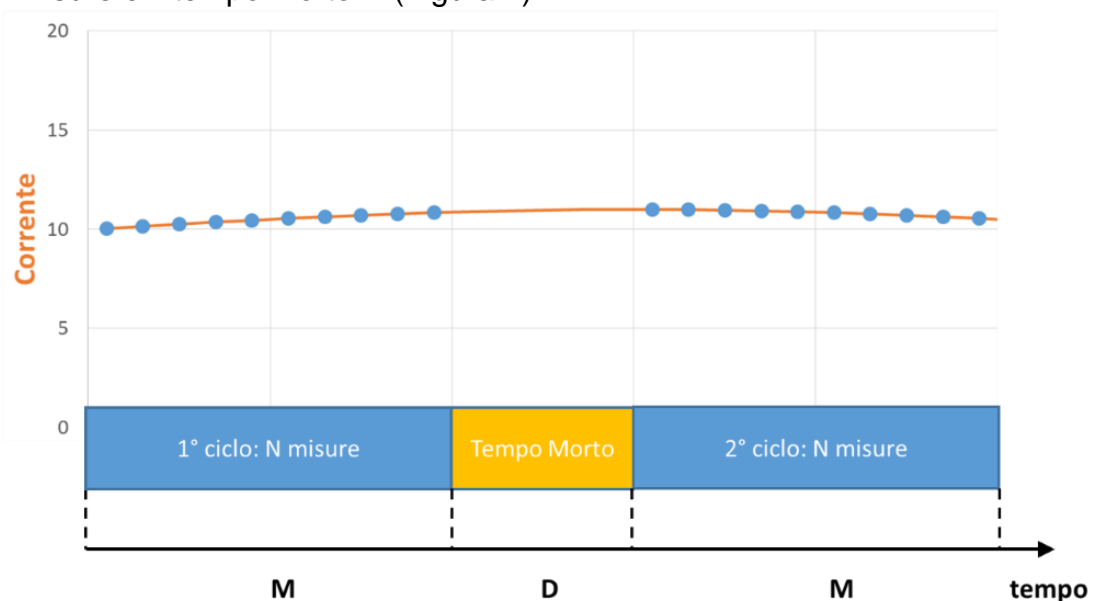


Figura 1: Schema di misurazione.

Come prima cosa ho cominciato a fare qualche prova per studiare il rate di misura in funzione di **I** ed il tempo morto **D**.

Nel primo test ho impostato un ciclo di  $N=100$  misure ripetute per 20 volte ed ho effettuato 4 run con tempi di integrazione diversi (Tabella 1).

	MISURA A	MISURA D	MISURA F	MISURA G
<b>N</b>	100	100	100	100
<b>I</b>	0.2 ms	2 ms	20 ms	40 ms
<b>N. cicli</b>	20	20	20	20
Risultati numerici				
<b>M</b>	70 ms	1420 ms	1560 ms	3530 ms
<b>R</b>	1486 Hz	70 Hz	66 Hz	30 Hz
<b>D</b>	1892 ms	482 ms	493 ms	418 ms

Tabella 1: Parametri di impostazione e risultati delle 4 misure.

Nella Figura 2 è presentato un riassunto delle 4 misure in termini di istogrammi di frequenza.

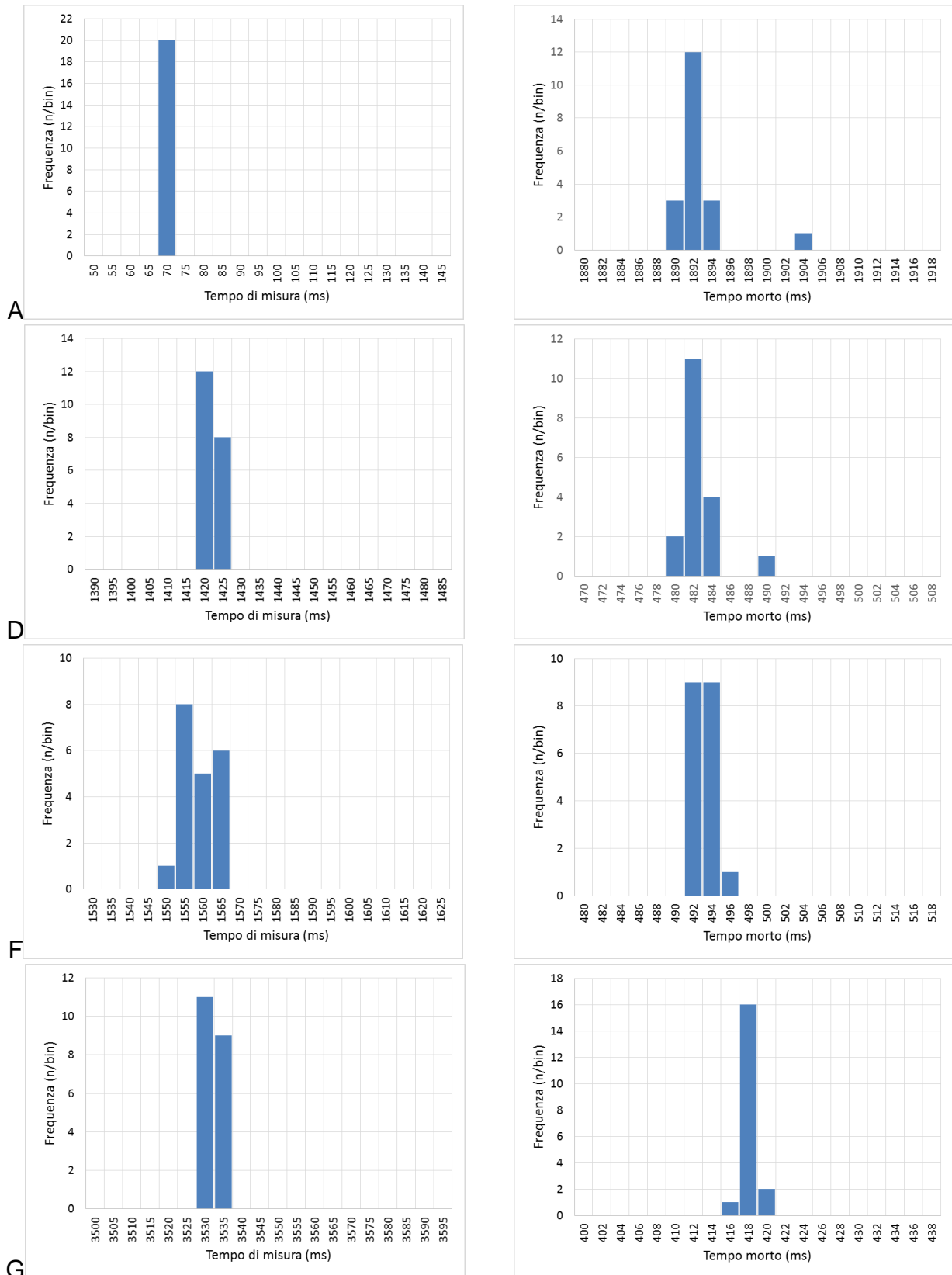


Figura 2: Istogrammi di frequenza del tempo di misura e del tempo morto.

## Interpretazione dei risultati

Con il tempo di integrazione minimo (Misura "A",  $I=0.2$  ms) si ottiene un rate elevato,  $R \cong 1.5$  kHz. Tuttavia il tempo morto è alto,  $D \cong 1.9$  s. Da alcune misurazioni che ho fatto risulta che il tempo morto è determinato in larga misura dalla velocità di riempimento del buffer. Il tempo di scaricamento dati e di riarmo dello strumento è nettamente inferiore. Nel caso "A" il buffer del pico è pieno e pronto per il trasferimento circa 1.6 s dopo l'inizio della misura. Poiché la misura è brevissima ( $M \cong 70$  ms), immagino che tutto questo tempo sia quello necessario allo pseudo-ADC per regolare il traffico e convertire i 100 dati praticamente simultanei.

Quando aumenta il tempo di integrazione, per esempio nel caso di Misura "D", il rate crolla in maniera inaspettata e non sembra cambiare di molto anche nei casi seguenti (Figura 3). Di contro il tempo morto diminuisce di un fattore circa 4. Probabilmente in questi casi, poiché le misure sono distanziate nel tempo, l'ADC riesce a convertirle una di seguito all'altra o quasi.

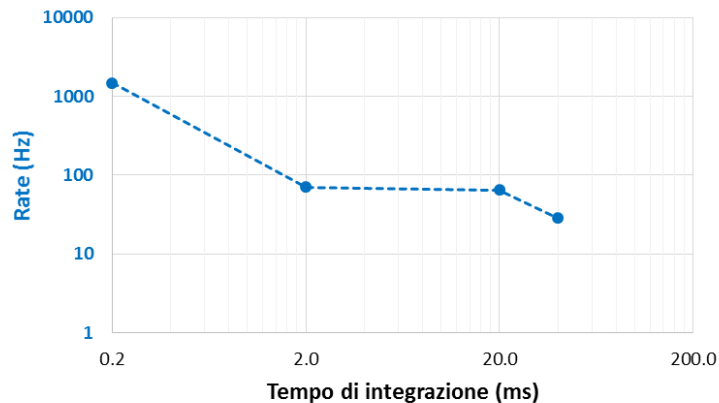


Figura 3: Rate misurato in funzione del tempo di integrazione.

E' ovvio però che la velocità di conversione dell'ADC è la stessa in tutti i casi. Infatti guardando le prime 3 colonne della Tabella 1, la somma  $M+D$  è praticamente costante e vale circa 2 s. Essa include il tempo di conversione di 100 misure (circa 1.6 s in ogni caso) ed il tempo di trasferimento su PC. Quest'ultimo può essere stimato analizzando i risultati della Misura "G", corrispondente al rate più basso. Qui gli eventi sono talmente distanziati temporalmente che l'ADC ha già finito di convertirne uno quando arriva quello seguente. Allora il tempo morto, circa 0.4 s, è sostanzialmente il tempo necessario per trasferire i dati dal buffer del pico al PC e a riarmare lo strumento (Figura 4).

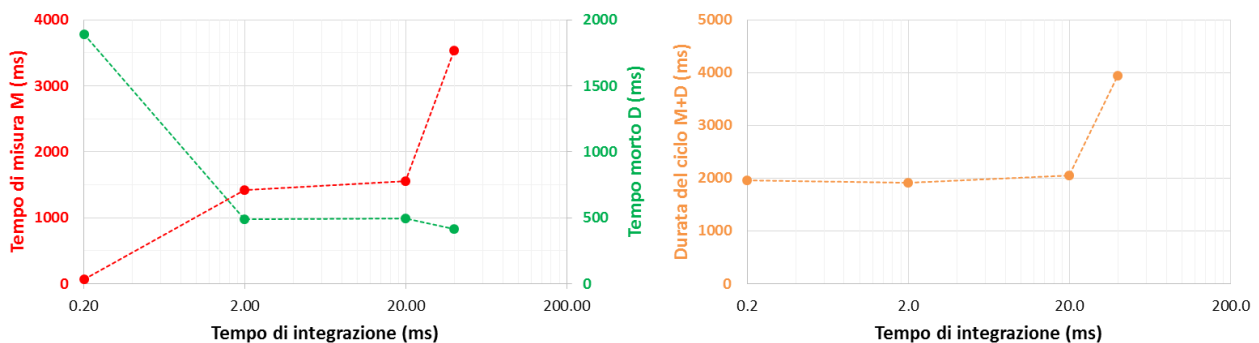


Figura 4: Tempo di misura, tempo morto e durata totale del ciclo.

## Configurazione per il secondo run alla CHARM

Nel run alla CHARM abbiamo bisogno di campionare la corrente della GEM durante lo spill del fascio di protoni. Poiché lo spill dura diverse centinaia di ms, il ciclo di misura del pico deve essere lungo circa altrettanto. Inoltre, poiché la distanza tra due spill varia da un minimo di 2 s circa fino a 28 s, dobbiamo tenere basso il tempo morto.

Quindi ho fatto due ulteriori misure (Tabella 2 e Figura 5). Con  $l=2$  ms occorre prendere  $N=40$  punti in modo da avere un intervallo di misura  $M \cong 500$  ms.

Con  $l=0.2$  ms, occorre prendere una caterva di punti ( $N=500$ ) per avere un intervallo di misura  $M \cong 350$  ms. In questo caso il tempo morto è enorme ( $D \cong 7$  s). Infatti, se nelle misure precedenti il tempo di conversione del pico per 100 punti era 1.6 s, quello per 500 punti è stimato in circa 8.0 s.

	MISURA K	MISURA L
<b>N</b>	40	500
<b>l</b>	2 ms	0.2 ms
<b>N. cicli</b>	20	20
Risultati numerici		
<b>M</b>	545 ms	345 ms
<b>R</b>	74 Hz	1468 Hz
<b>D</b>	366 ms	7103 ms

Tabella 2: Parametri di impostazione e risultati delle seconda serie di misure.

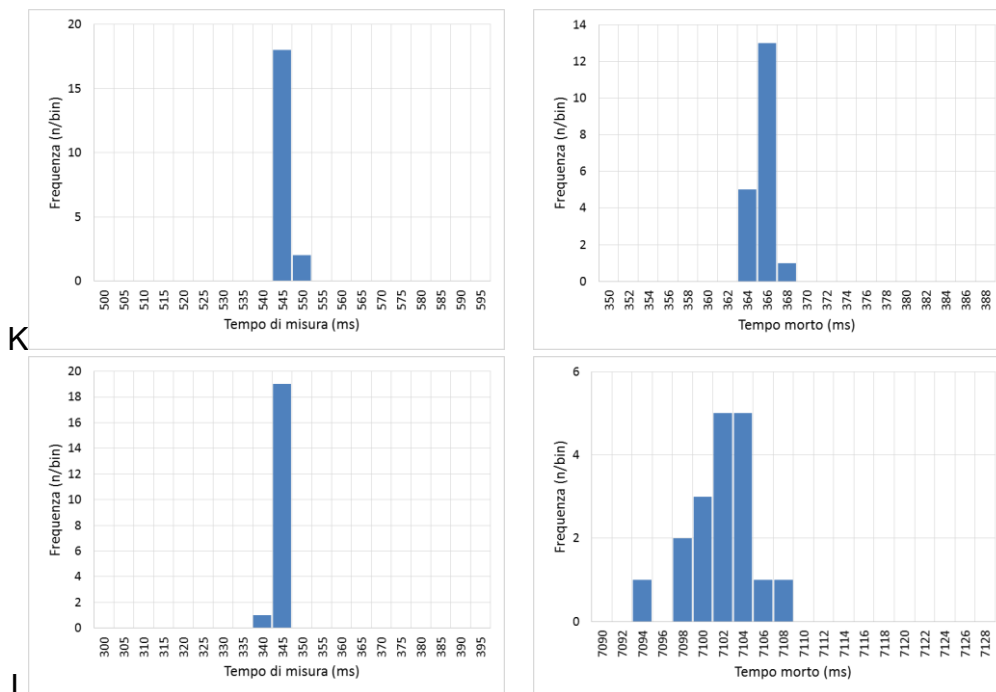


Figura 5: Istogrammi di frequenza della seconda serie di misure.

## Misure con generatore di tensione

Ho utilizzato un generatore di segnali (in tensione) per misurare la risposta del pico. L'ampiezza del segnale è 50 mV, la durata è 100 ms. Ho impostato una rampa di salita di 200 ns e una rampa di discesa di 2  $\mu$ s per verificare la capacità di riprodurre la forma del segnale mediante i campionamenti del pico (Figura 6, in alto). Lo zero della scala dei tempi è stato preso in corrispondenza del fronte di salita del segnale

Il pico è stato configurato come nella misura "L" al massimo rate possibile in modo da campionare la corrente ogni 0.7 ms circa.

La misura di corrente in funzione del tempo è mostrata in Figura 6 in basso.

La durata del segnale è ben riprodotta. Il fronte di salita è troppo breve per poter avere un buon campionamento mentre il fronte di discesa, più lungo, è già apprezzabile, come si vede dal dettaglio di Figura 7.

Purtroppo il generatore non permette di avere fronti di salita e di discesa molto lunghi.

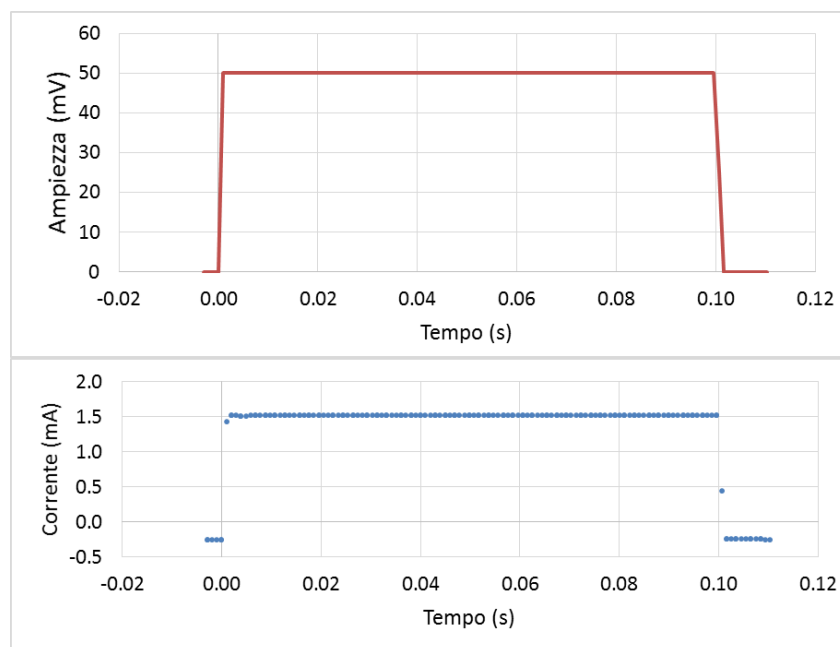


Figura 6. **In alto:** segnale di tensione del generatore in funzione del tempo. **In basso:** corrente misurata dal pico in funzione del tempo.

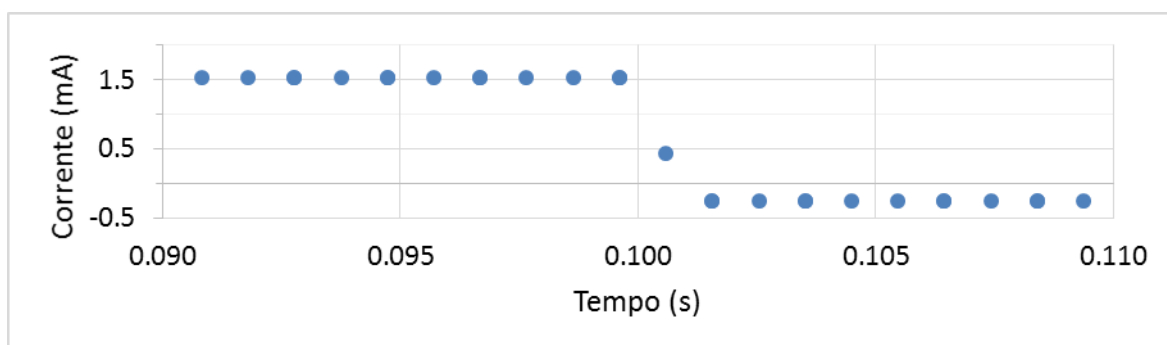


Figura 7: Dettaglio della corrente misurata dal pico in corrispondenza del fronte di discesa del segnale.

## Misure con generatore di tensione e trigger esterno

La lettura del pico può essere condizionata da un segnale esterno di trigger. A questo scopo il pico ha un connettore per iniettare il segnale di trigger che deve essere TTL compatibile e avere una durata minima di 2  $\mu\text{s}$ .

Per effettuare il test ho impostato il pico al tempo di integrazione minimo, cioè al massimo rate. Il segnale di input è costituito da un impulso di corrente costante e durata pari a circa 26 ms (Figura 8). Lo stesso impulso è stato utilizzato per generare il segnale di trigger. Il ritardo del campionamento rispetto al trigger è inferiore a 1 ms.

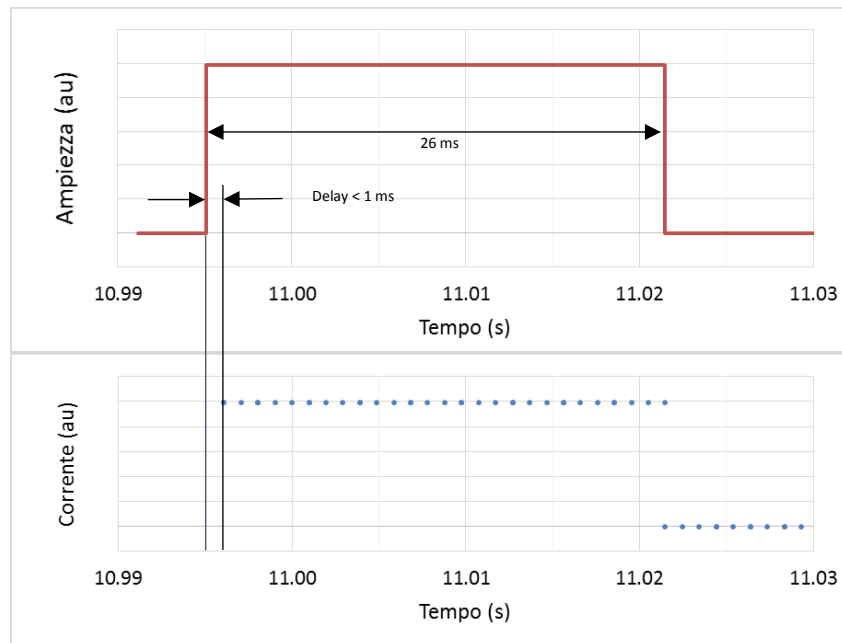


Figura 8: **In alto:** Segnale del generatore. **In basso:** Campionamento del segnale ottenuto con il pico configurato al massimo rate. Il ritardo rispetto al trigger è inferiore a 1 ms.

## Conclusioni

Per il nuovo test alla CHARM propongo di:

1. lavorare con le condizioni della MISURA "K" che permettono di avere una misura di corrente ogni 14 ms circa ed un tempo morto  $D < 0.5$  s. Si può eventualmente aumentare il numero di misure a  $N=50$  per coprire un intervallo temporale un po' più ampio.
2. utilizzare il segnale di spill del PS per triggerare il pico