

Misura della vita media del muone

Chiara Vinotto

February 13, 2024

Abstract

L'esperienza ha come obiettivo la misura della vita media del muone, attraverso una serie di scintillatori e un bersaglio. Dopo aver determinato il punto di lavoro ottimale per ogni PMT, si procede nel costruire una logica di start e di stop così da ottenere due segnali che mandati in ingresso alla FPGA ci possano restituire degli istanti di tempo. Ottenuti gli istanti di tempo, tramite un'opportuna analisi dati, vengono misurati gli intervalli di tempo tra start e stop. E' stato poi costruito un istogramma, sul quale è stato fatto un fit che ha restituito un valore per τ di $2.19 \pm 0.04 \mu s$.

1 Apparato sperimentale

- Alimentatori di tensione.
- 6 scintillatori plastici disposti uno sopra l'altro a formare un "telescopio", ciascuno letto da un PMT (02,03,04,05,07).
- Un blocco di 4 scintillatori usato come bersaglio letto da 4 PMT (08,09,10,11).
- Un modulo FPGA digitale per misurare i tempi di arrivo dei segnali
- Un PC per l'acquisizione dati del modulo FPGA.
- Moduli NIM: contatori, discriminatori, moduli OR, moduli di coincidenza, convertitore TTL/NIM/TTL, Dual Timer.

2 Punti di lavoro e efficienze

Per iniziare è necessario verificare il funzionamento e individuare il punto di lavoro ottimale di ogni PMT, ovvero scegliere la tensione di alimentazione per la quale si ha una buona efficienza ma un rate di eventi di circa 100 Hz.

Per fare ciò è utile visualizzare in un grafico l'efficienza in funzione dei rate in singola (al variare della tensione di alimentazione) per ogni fotomoltiplicatore.

Ricordando che l'efficienza è definita $\epsilon = \frac{\text{triple}}{\text{doppie}}$, dove al numeratore abbiamo il rate di coincidenze triple e al denominatore il rate di coincidenze doppie tra i segnali discriminati dei PMT. Per ogni PMT è necessario scegliere altri due PMT con i quali mettere in coincidenza il segnale così da ottenere il rate di coincidenze doppie tra i due PMT (escluso quello del quale vogliamo conoscere l'efficienza) e triple mettendo in coincidenza i segnali di tutti e 3 i PMT coinvolti.

E' utile scegliere i due PMT in modo che il fotomoltiplicatore di cui si vuole conoscere l'efficienza sia contenuto tra essi.

Detto questo, per la misura di efficienza dei PMT 03,04,05 sono stati utilizzati il PMT-02 e il PMT-07. Per i PMT 02,08,09,10,11 sono stati utilizzati i PMT 01 e 03.

Per il PMT-01 non è possibile scegliere due fotomoltiplicatori che lo "contengano" motivo per cui sono stati utilizzati i PMT 02 e 07 così da garantirci una traiettoria verticale.

2.1 Procedimento

Come prima cosa sono state impostate le soglie di tensione degli ingressi del discriminatore a circa 40 mV e la durata temporale del segnale discriminato a circa 50 ns, così da rendere trascurabili le doppie accidentali.

Inoltre abbiamo deciso di prendere i conteggi per un intervallo di 30 s.

Per descrivere il procedimento utilizzato, si prende in esame la misura di efficienza per il PMT-03, per gli altri PMT si procede in modo analogo.

Come prima cosa vengono connesse le uscite del PMT-02, PMT-03, PMT-04 agli ingressi del discriminatore (con soglia e durata temporale impostate come detto precedentemente), il segnale discriminato di ogni PMT viene poi mandato in ingresso alle due unità di coincidenza: nella prima unità vengono messi i coincidenza i segnali del PMT-02 e 07 per ottenere le coincidenze doppie, nella seconda invece vengono messi in coincidenza i 3 PMT.

Le uscite lineari delle unità di coincidenza vengono poi collegata agli ingressi del contatore, inoltre un'uscita del discriminatore relativa al segnale del PMT-03 viene anch'essa collegata al contatore così da poter leggere simultaneamente i rate in singola, delle coincidenze doppie e triple.

Montato il set-up, vengono fatte partire acquisizioni di 30 s per ogni valore della tensione di alimentazione scelto. Sono stati acquisiti i seguenti dati.

$V_{alimentazione}$ [V]	$R_{singola}$ [Hz]	R_{doppie} [Hz]	R_{triple} [Hz]	ϵ_3
1740 ± 1	55 ± 7	2.7 ± 1.6	2.4 ± 1.5	0.85 ± 0.04
1760 ± 1	74 ± 9	3.4 ± 1.8	2.9 ± 1.7	0.86 ± 0.03
1780 ± 1	95 ± 10	3.0 ± 1.7	2.8 ± 1.7	0.91 ± 0.03
1800 ± 1	127 ± 11	2.9 ± 1.7	2.7 ± 1.6	0.93 ± 0.03
1820 ± 1	165 ± 13	3.5 ± 1.9	3.2 ± 1.8	0.93 ± 0.03

Table 1: Misura di efficienza del PMT-03 al variare della tensione di alimentazione

L'errore sulle tensioni di alimentazione è stato trovato come la somma in quadratura del 0.05% della misura + 1V, come errore sui rate è stata presa la radice quadrata dei rate stessi.

Mentre l'errore sull'efficienza è stato trovato tramite la seguente relazione

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{\sqrt{R_{triple} * (1 - (R_{triple}/R_{doppie}))}}{R_{doppie}}$$

Poichè le coincidenze doppie e triple vengono prese simultaneamente, considero le doppie come un numero fisso.

Con i dati raccolti sono stati poi realizzati i grafici dell'efficienza in funzione dei rate in singola e della tensione di alimentazione (Figure 1).

Osservando i grafici possiamo notare che le curve di efficienza raggiungono un plateau in cui l'efficienza raggiunge una certa soglia.

Al fine di determinare un punto di lavoro ottimale, è ragionevole scegliere una valore di tensione per il quale si ha la massima efficienza (nella regione del plateau) per il PMT, ma una frequenza di trigger di circa 100 Hz.

Detto questo, come punto di lavoro per il PMT-03 abbiamo scelto il valore di tensione di $1800 \pm 1V$ per il quale si ha un'efficienza $\epsilon_3 = 0.93 \pm 0.03$ e un rate in singola 127 ± 11 .

I dati raccolti e i grafici delle curve di efficienza per gli altri PMT vengono riportati in Appendice.

Ci limitiamo a riportare i valori delle tensioni di alimentazione scelte per ogni PMT.

Punto di lavoro per PMT03

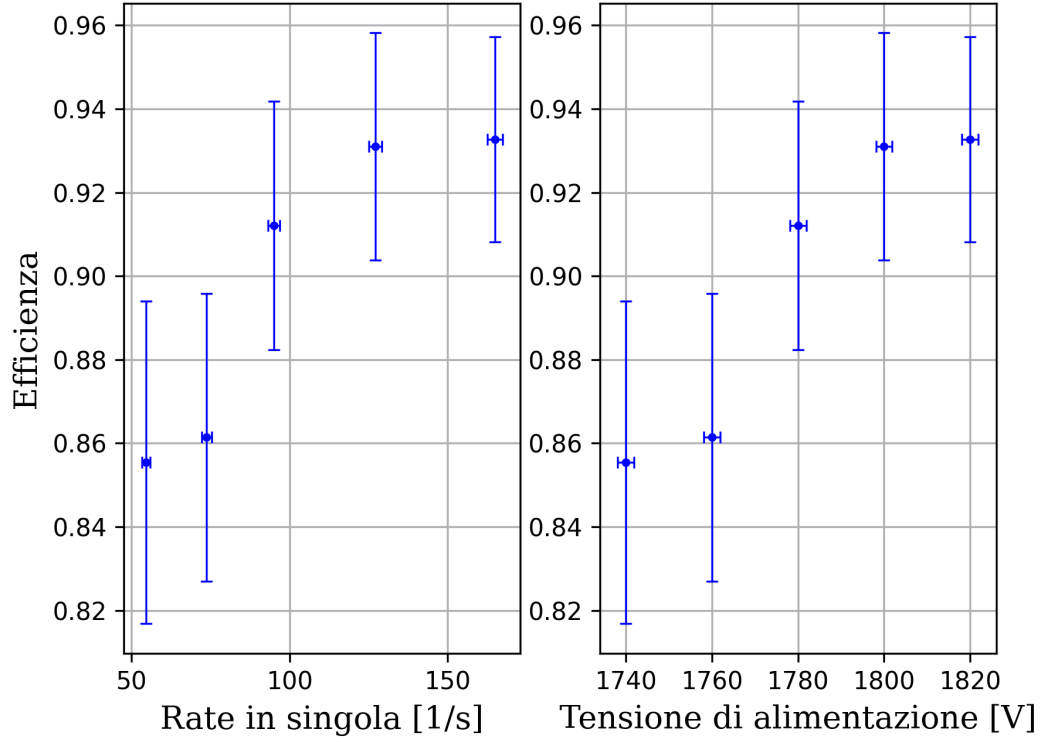


Figure 1: Efficienza del PMT-03 in funzione dei rate in singola (sinistra) e della tensione di alimentazione (destra)

PMT	Tensione di alimentazione [V]
01	1710 \pm 2
02	1800 \pm 2
03	1800 \pm 2
04	170 \pm 2
05	1675 \pm 2
08	1148 \pm 2
09	1279 \pm 2
10	1151 \pm 2
11	1262 \pm 2

Table 2: Punti di lavoro scelti per i PMT

3 Set-Up e presa dati

Dopo aver definito i punti di lavoro, abbiamo realizzato il segnale di START e di STOP, così da poter misurare gli intervalli di tempo tra questi.

Si riporta di seguito lo schema dell'apparato sperimentale utilizzato.

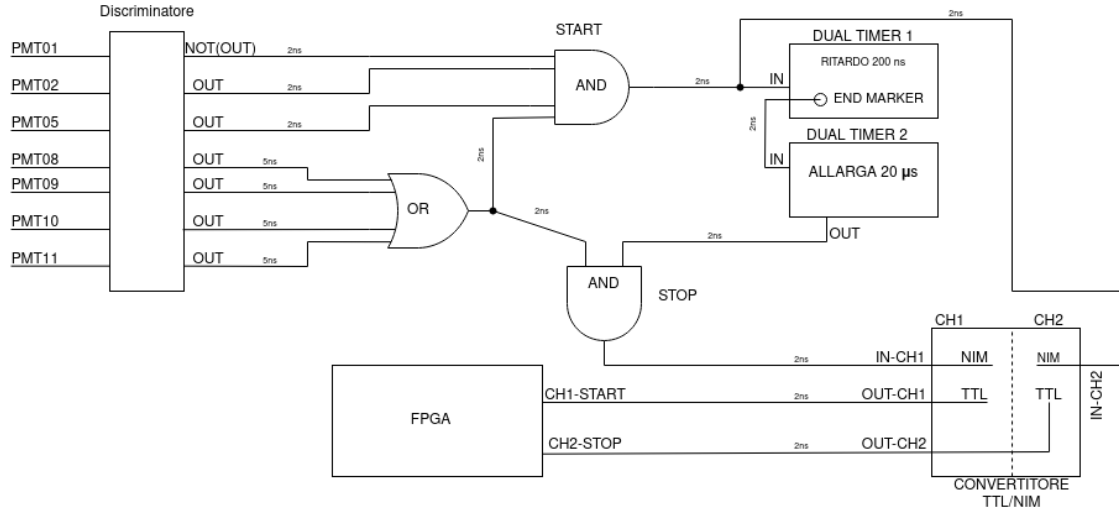


Figure 2: Schema del set-up

3.1 Segnale di START

Come segnale di START abbiamo pensato potesse essere conveniente prendere la coincidenza tra il telescopio, i bersagli e il veto (PMT-01), così da vedere i muoni che attraversano il telescopio e si fermano nel bersaglio senza passare dall'ultimo scintillatore.

Per fare questo, come prima cosa abbiamo preso l'OR tra i segnali dei PMT-08,09,10,11 che leggono il bersaglio perchè ci interessa che almeno uno di questi veda la particella, poi successivamente abbiamo messo in coincidenza l'OR dei bersagli con i segnali discriminati dei PMT-02 e 05 che geometricamente "garantivano" la traiettoria verticale.

Come ultima cosa abbiamo aggiunto alla coincidenza il segnale negato del veto (PMT-01), prendendo l'uscita negata del discriminatore, così da vedere solo eventi che si fermano nel bersaglio.

Per assicurarci che il segnale di veto fosse falso per tutta la durata della coincidenza, abbiamo visualizzato sull'oscilloscopio i segnali dell'or dei bersagli del segnale di veto discriminato (non negato).

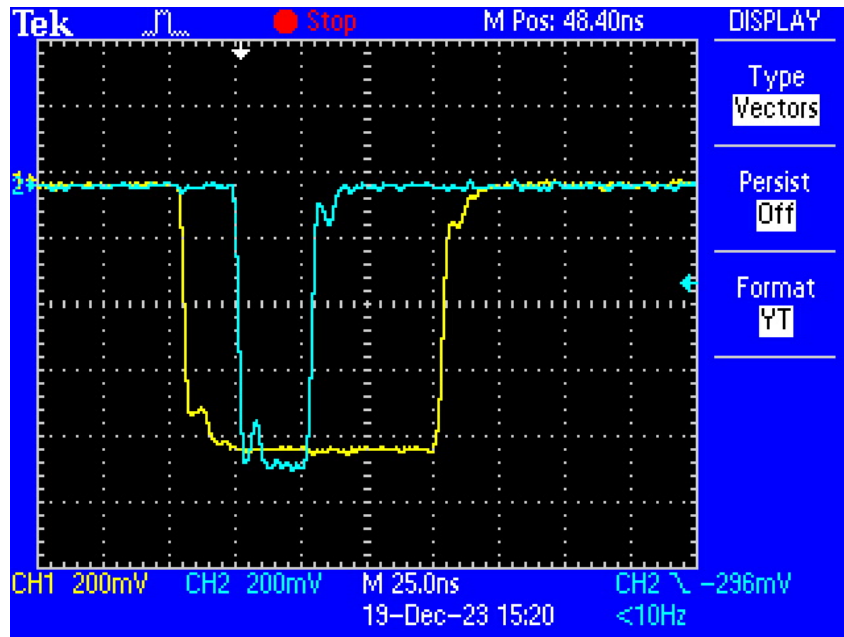


Figure 3: Visualizzazione sull'oscilloscopio del segnale di veto (giallo) e dell'or dei bersaglio (azzurro)

Successivamente abbiamo allargato la durata temporale del segnale di veto discriminato fino a circa $80ns$ agendo sulla vite contrassegnata con WIDTH del discriminatore e ritardato il segnale dell'Or utilizzando cavi da $5ns$ in modo che scatti

circa 10 ns dopo così che la coincidenza resti al centro del segnale di veto.

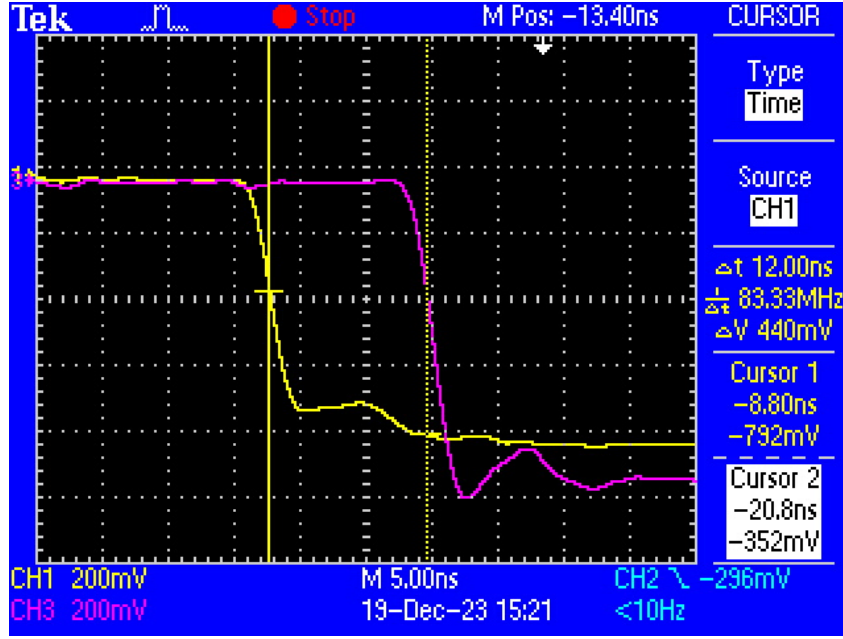


Figure 4: Visualizzazione sull'oscilloscopio del ritardo del segnale dell'or rispetto al segnale di veto, ottenuto utilizzando cavi da 5 ns.

Per verificare la funzionalità del segnale di START abbiamo inoltre messo in coincidenza le coincidenze tra $2\&5\&OR(8, 9\ 10, 11)\&\bar{1}$ e $2\&5\&OR(8, 9\ 10, 11)\&1$, verificando che non ci fossero conteggi.

Per un'ulteriore verifica del funzionamento del segnale di Start abbiamo connesso l'uscita della coincidenza di tutti i segnali all'ingresso del contatore così da verificare che il rate di muoni visti fosse compatibile con quanto atteso.

Abbiamo ottenuto un rate di 1.57 ± 0.12 Hz, con rate atteso di circa 3 Hz.

3.2 Segnale di STOP

Per il segnale di stop abbiamo deciso di utilizzare l'OR dei bersagli in coincidenza con l'OR negato dei PMT-01 e PMT-02 (che è equivalente a prendere l'and tra PMT-01 negato e PMT-02 negato)..

Per essere sicuri che lo stop avvenga entro un intervallo temporale (GATE) compatibile con la vita media del muone, con il modulo DUAL TIMER abbiamo generato un segnale di durata di circa $20\ \mu s$ che viene triggerato dal segnale di start (in ingresso al dual timer) dal quale è in ritardo di circa 20 ns. Il segnale generato dal dual timer è stato poi messo in coincidenza con l'or dei bersagli.

Osservando i segnali all'oscilloscopio abbiamo notato che i segnali di stop avvenivano a circa 10 ns dagli start. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che viene utilizzato l'Or dei bersagli sia per il segnale di Start che per quello di Stop. Quindi, per evitare che i segnali di stop coincidessero con gli start, utilizzando il secondo modulo DUAL TIMER abbiamo ritardato la finestra temporale entro la quale vogliamo la coincidenza per assicurarci che siano eventi compatibili con il decadimento del muone.

Per fare ciò, nel primo modulo abbiamo generato un segnale di durata di 200 ns triggerato dal segnale di start mandato in ingresso. Successivamente abbiamo mandato in ingresso al secondo modulo dual timer l'endmarker del primo modulo; il segnale end marker è un impulso di durata di circa 50ns che inizia alla fine del segnale generato dal dual timer. Si genera così un segnale ritardato di 200 ns dallo start di durata $20\ \mu s$.

In questo modo il segnale di stop può avvenire in una finestra temporale che parte da t_{START} (istante in cui scatta lo start)+ 200ns e dura altri $20\ \mu s$.

Sono stati poi collegati i segnali di start e di stop a due ingressi del contatore ed è stato osservato che il rate degli stop è circa il 5% del rate degli start. Per aumentare il rate degli stop è stato scelto di usare come segnale di stop la coincidenza tra l'OR dei bersagli e il GATE realizzato con il dual timer.

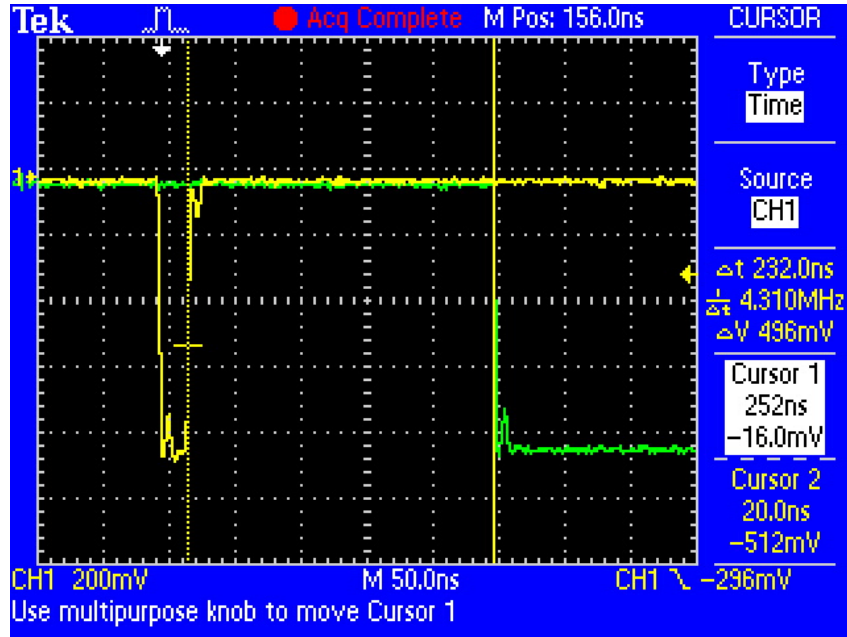


Figure 5: Visualizzazione sull'oscilloscopio del ritardo del GATE rispetto al segnale di start.

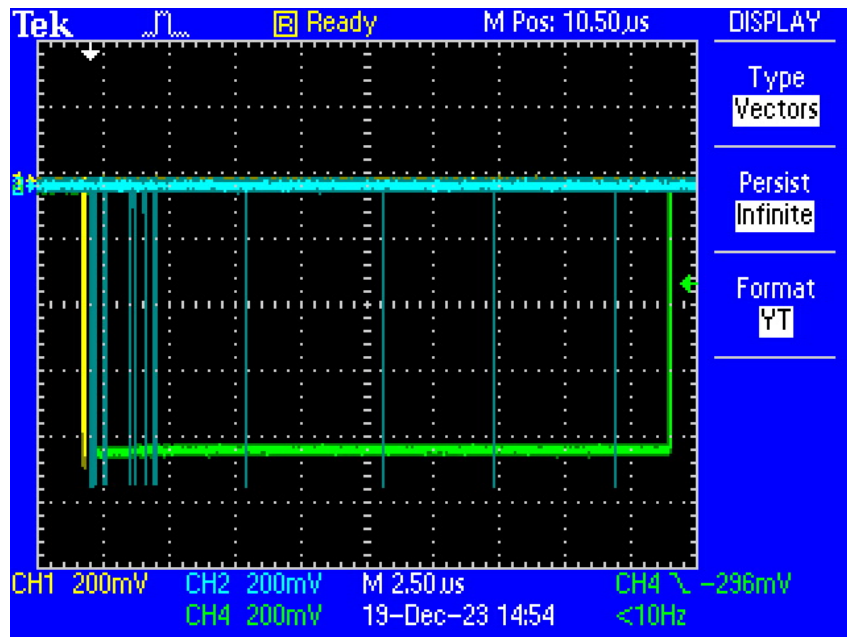


Figure 6: Visualizzazione sull'oscilloscopio del segnale di START e del segnale di STOP che avviene all'interno del GAP in persistenza

3.3 FPGA

Dopo aver verificato il buon funzionamento dei segnali di START e di STOP, abbiamo inserito il modulo FPGA nel crate. La FPGA ci permette di registrare gli istanti di tempo in cui arrivano i segnali di start e di stop.

La FPGA, però, legge segnali con durata maggiore di 20 ns. Quindi per rendere i segnali di start e di stop leggibili alla FPGA abbiamo allargato la durata temporale di ogni segnale discriminato agendo su WIDTH di ogni discriminatore, portandola a circa 60 ns per ogni discriminatore.

Successivamente utilizzando l'oscilloscopio ci siamo assicurati che i segnali di START e di STOP avessero la durata temporale adeguata.

Per il segnale di Start è stata fatta un'ulteriore verifica; infatti all'oscilloscopio abbiamo verificato che il segnale di veto fosse sempre abbastanza largo da contenere la coincidenza dei PMT e dell'OR ed è stato portato a 100 ns.

Inoltre è necessario convertire i segnali NIM in TTL prima di mandarli in ingresso alla FPGA. Quindi, utilizzando un convertitore TTL/NIM/TTL abbiamo convertito i segnali di start e di stop e poi collegati rispettivamente al canale 1 e 2 della FPGA .

In figura vengono riportati i segnali di Start e di Stop prima e dopo la conversione in TTL. Come si può notare il convertitore restituisce un segnale positivo di $3.06 \pm 0.2V$ per lo start e $3.08 \pm 0.2V$ per lo stop .

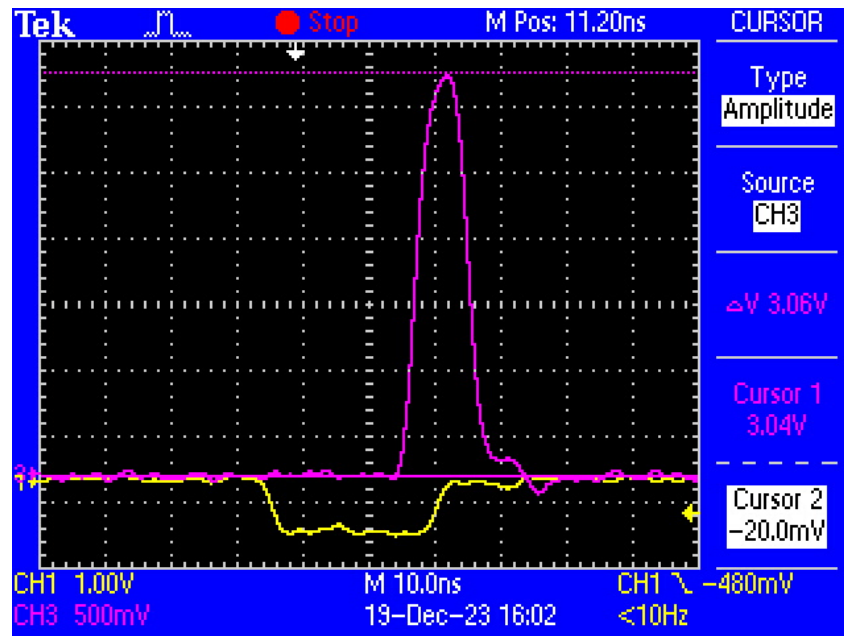


Figure 7: Visualizzazione sull'oscilloscopio della conversione in TTL dei segnali Start

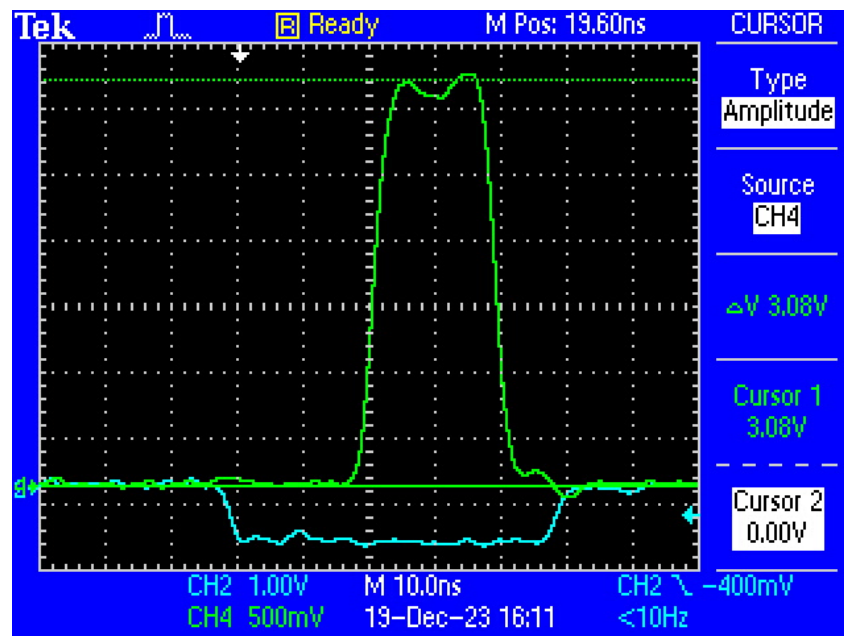


Figure 8: Visualizzazione sull'oscilloscopio della conversione in TTL dei segnali Stop

Successivamente, tramite PC sono state lanciate alcune acquisizioni di prova grazie alle quali abbiamo visto che la FPGA restituisce un file di due colonne dove nella prima viene registrato il numero del canale e nella seconda l'istante temporale in cui è arrivato il segnale. Inoltre abbiamo notato che il tempo registrato dalla FPGA non è sempre crescente, ma ha un andamento a dente di sega; questo comportamento è stato tenuto in considerazione e scartato durante l'analisi dati.

Dato che il rate degli eventi di stop è basso rispetto agli start, per avere più statistica è utile lanciare acquisizioni lunghe della durata di qualche giorno.

4 Analisi dati

Per stimare la vita media del muone è necessario costruire un istogramma e fare un fit con una funzione esponenziale decrescente che ha come parametro la vita media.

Per costruire l'istogramma è necessario misurare le differenze di tempo tra i segnali di start e di stop (indicati da 1 e 2 nel file resituato dalla FPGA).

Con un'opportuna analisi abbiamo misurato tutte le differenze di tempo tra i canali 1 e 2, e abbiamo selezionato solo i $0 < \Delta t < 25 \mu s$, questo intervallo ci permette di avere informazioni anche sulla coda dell'esponenziale.

Questi intervalli di tempo vengono poi utilizzati per costruire un'istogramma (Figure 9).

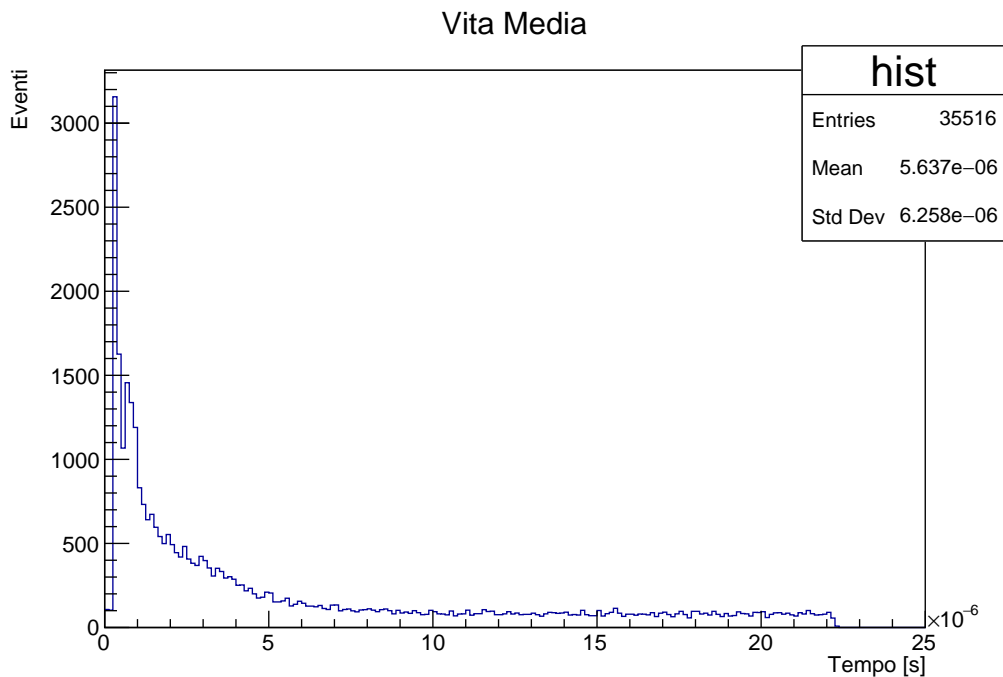


Figure 9: Istogramma ottenuto dall'acquisizione del 06/12/2023.

Osservando l'istogramma si notano dei picchi iniziali non compatibili con l'andamento esponenziale che ci aspettiamo. Per vedere a cosa siano dovuti questi picchi abbiamo misurato le differenze di tempo tra due canali 1 consecutivi e tra due canali 2 consecutivi per vedere come sono distribuiti e abbiamo ottenuto i seguenti grafici (Figure 10).

Osservando i due grafici si nota che sia gli start e gli stop consecutivi sono molti meno rispetto all'entries totali dell'istogramma e quindi trascurabili.

Per scartare canali 1 o 2 consecutivi e misurare la differenza di tempo tra start e stop sono stati eliminati tutti quei dati corrispondenti a due start e due stop più vicini di $25 \mu s$.

Così facendo abbiamo ottenuto delle differenze temporali "pulite" rappresentate da uno start e il suo stop.

Il nostro programma di analisi prende semplicemente uno stop e il suo start precedente, verificando che la differenza temporale sia positiva e minore di 25 microsecondi.

Dopo aver "ripulito" i dati è stato costruito un altro istogramma; nonostante ciò i picchi iniziali non cambiano mentre il numero di entries diminuisce.

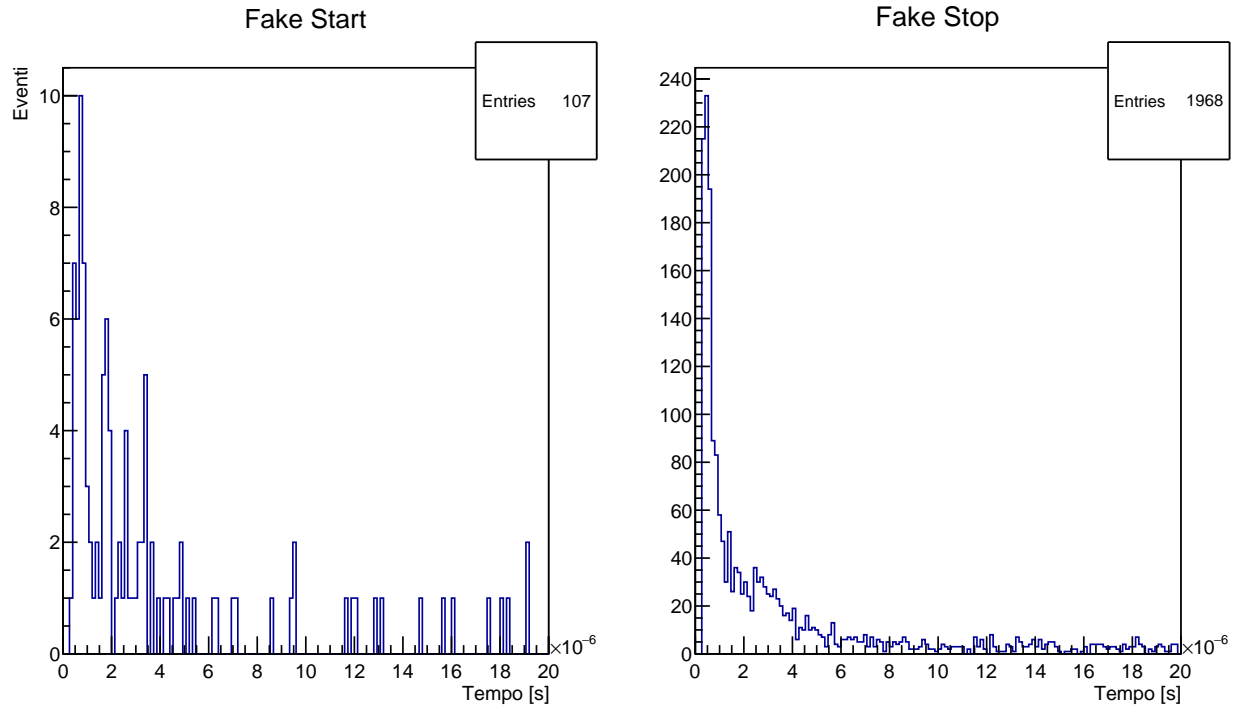


Figure 10: Distribuzione di due START (sinistra) e due STOP (sinistra) consecutivi

4.1 Fit

Una volta ottenuta un'analisi che restituisse delle differenze di tempo "pulite" è stato costruito un altro istogramma utilizzando l'acquisizione più lunga (12-19/12/2023) per avere più statistica possibile.

Sull'istogramma è stato poi effettuato un fit con la funzione $A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + C$, dove A è l'ampiezza a $t = 0$, τ è la vita media e C è una costante che serve per stimare il fondo.

Si ottiene quindi il seguente fit.

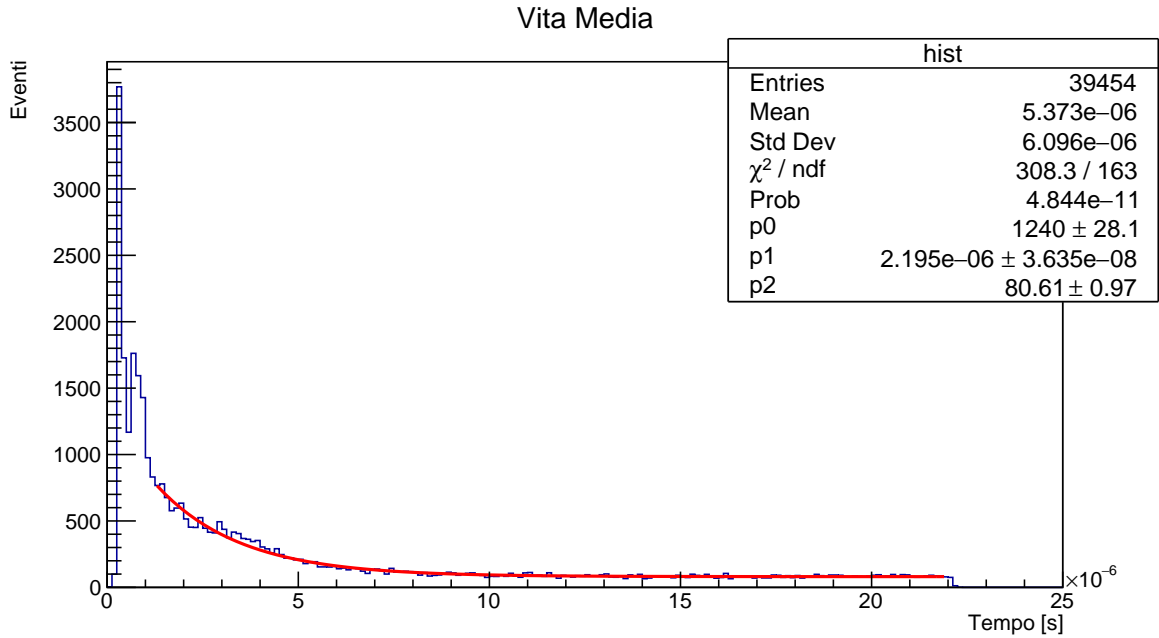


Figure 11: Fit dell'istogramma con acquisizione del 12/12/2023 ($p_0 = A$, $p_1 = \tau$, $p_2 = C$)

Per il fit è stato scelto l'intervallo di tempo $[1.2 \mu s, 22 \mu s]$ così da tagliare i picchi iniziali, non compatibili con l'andamento esponenziale. Il fit restituisce $\tau = 2.19 \pm 0.04 \mu s$, compatibile con il valore atteso.

4.1.1 Fondo

Per quanto riguarda C dobbiamo prima fare una stima del fondo.

Possiamo considerare fondo tutti quegli eventi dovuti a raggi cosmici che passano nel bersaglio obliquamente e fanno partire uno STOP accidentale dopo un certo intervallo temporale dallo START, compatibile con le richieste dell'analisi. Questi eventi hanno una vita media molto maggiore rispetto alla vita media del muone, motivo per cui possiamo approssimare tutto a una costante.

Per stimare il fondo possiamo utilizzare la seguente relazione: $Fondo = \#_{start} \cdot P$, dove $\#_{start}$ è il numero di volte che scatta il CH1 e P è la probabilità che uno stop accidentale finisca in un bin ed è definita come: $P = Rate_{OR} \cdot \Delta bin$, infatti il fondo è proporzionale alla larghezza del bin.

Quindi sostituendo quelli che sono i valori, $Rate_{OR} \sim 400 \text{ Hz}$, $\Delta bin = \frac{25 \cdot 10^{-6}}{200} s$ e $\#_{start} \sim 10^6$, si ottiene un fondo di circa 50, mentre il fit restituisce una costante $C = 81 \pm 1$.

4.1.2 Errori

Gli errori dei risultati del fit dipendono dagli errori associati ai punti dell'istogramma sul quale viene fatto il fit. Questi punti hanno come errore sulle ordinate la radice quadrata dell'altezza del bin, in quanto questi si riempiono seguendo una distribuzione poissoniana, mentre sulle ascisse come errore hanno la metà della larghezza del bin.

Infatti, la scelta del binnaggio determina la bontà del fit.

Poiché si ha una durata temporale di $25 \mu s$ e 200 bin, la larghezza del bin è $\Delta bin \sim 10^{-7}$, 1/2 ordini di grandezza superiore alla sensibilità con cui il modulo FPGA registra i tempi, quindi l'errore di calibrazione associato alla misura di quest'ultima è trascurabile.

Aumentando il numero di bin si ottiene un istogramma più fine ma anche un fit peggiore se si ha una statistica appena sufficiente. Se si diminuisce il numero di bin incrementiamo il fondo e otterremo un istogramma più piatto, dunque l'istogramma rispecchierà meno l'andamento esponenziale. La scelta della larghezza del bin è quindi correlata alla mole di dati ed influisce, come si è visto nella sezione precedente, nella stima del fondo.

5 Appendice: Punto di lavoro dei PMT

Di seguito i grafici e le relative tabelle dei valori per i punti di lavoro dei vari PMT.

Per completezza si riporta come sono state ottenute le incertezze.

L'incertezza sulla tensione visualizzata tramite software è pari a 0.05% misura +1V sommati in quadratura per i PMT del telescopio.

Per gli alimentatori dei PMT dei bersagli si misura la tensione con il multimetro digitale, per cui si associa un errore di 0.05% della misura +1 digit sommati in quadratura.

L'errore sugli N conteggi è la radice quadrata degli N conteggi stessi, poiché seguono una statistica poissoniana, dunque l'errore associato al rate $R = N/T$, con T tempo di acquisizione è $\Delta R = \sqrt{N}/T$.

Punto di lavoro per PMT01

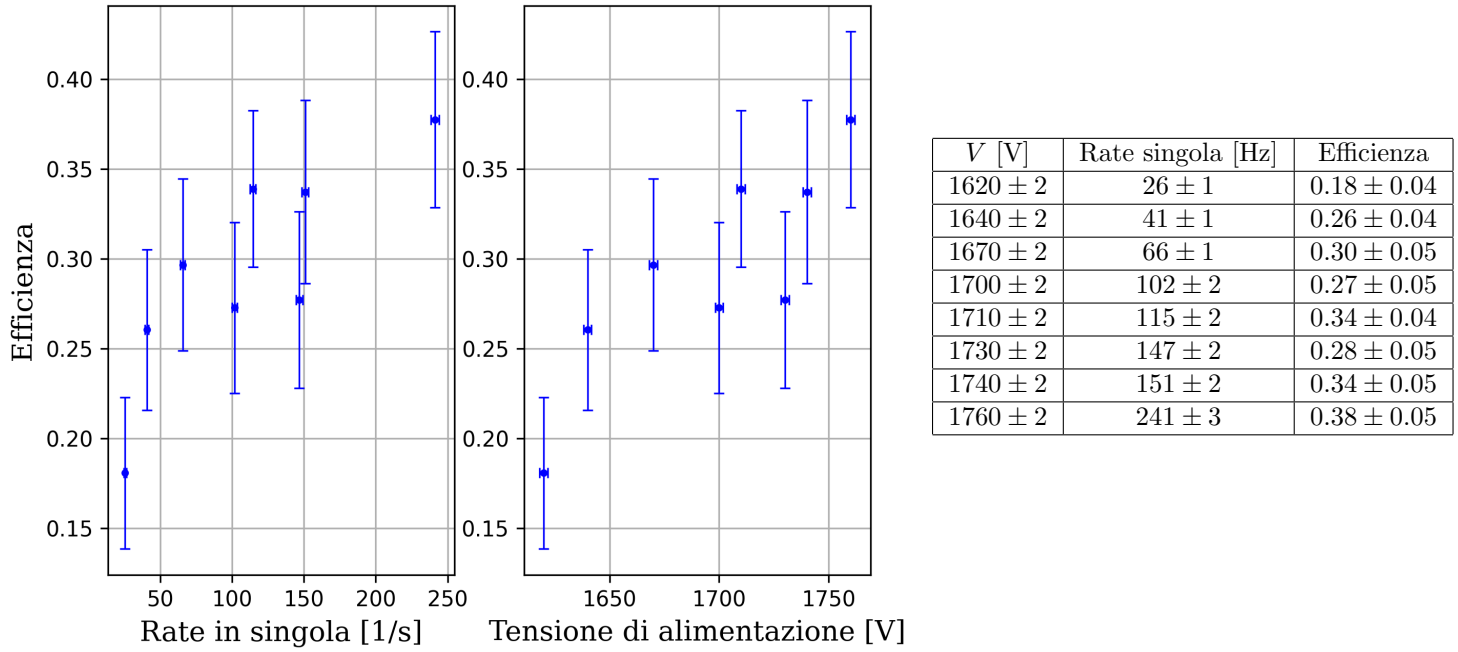
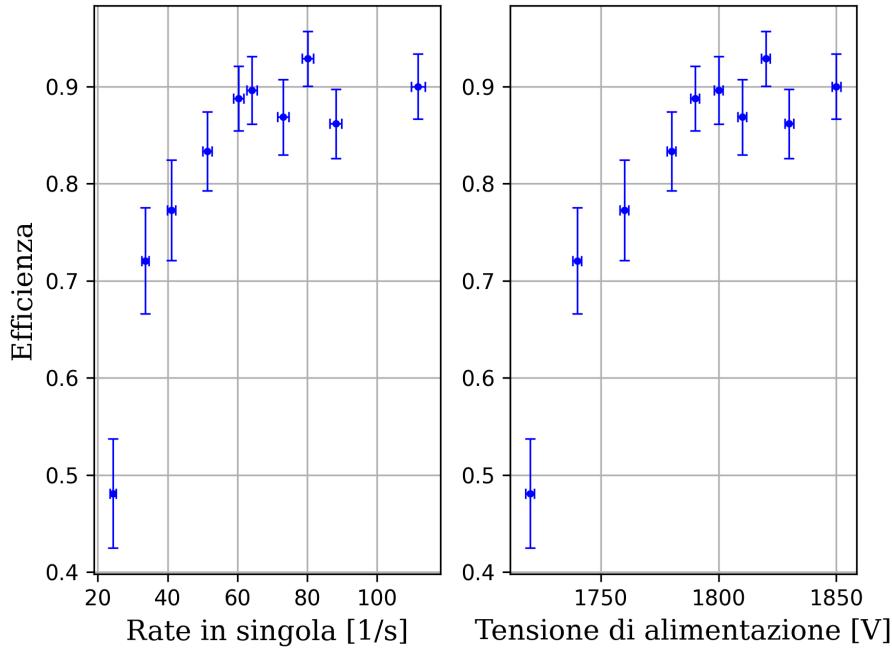


Figure 12: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT01. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1710 \pm 2V$

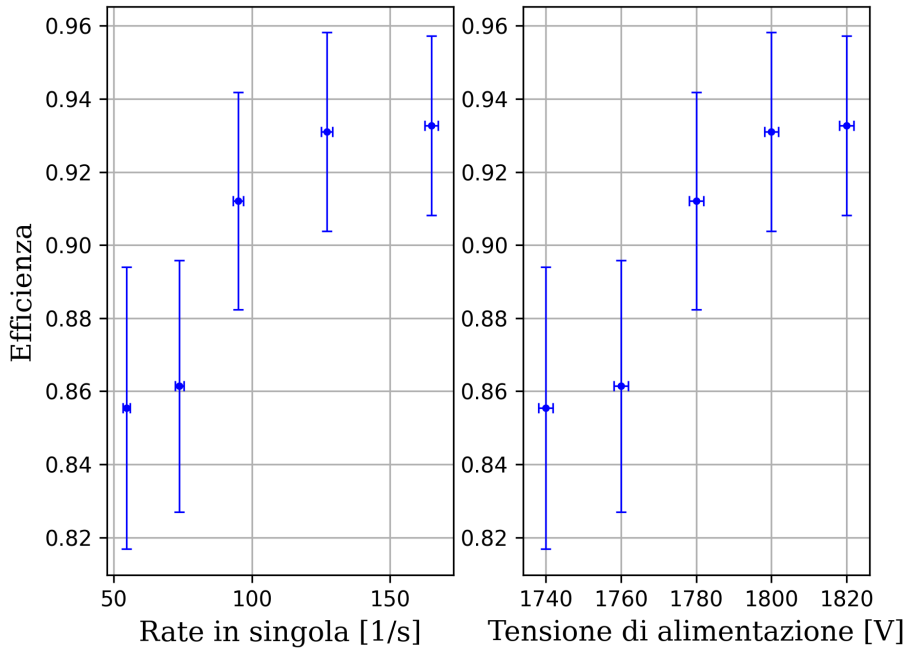
Punto di lavoro per PMT02



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
1720 ± 2	24 ± 1	0.48 ± 0.06
1740 ± 2	34 ± 1	0.72 ± 0.05
1760 ± 2	41 ± 1	0.77 ± 0.05
1780 ± 2	51 ± 1	0.83 ± 0.04
1790 ± 2	60 ± 1	0.89 ± 0.03
1800 ± 2	64 ± 1	0.90 ± 0.03
1810 ± 2	73 ± 2	0.87 ± 0.04
1820 ± 2	80 ± 2	0.93 ± 0.03
1830 ± 2	88 ± 2	0.86 ± 0.04
1850 ± 2	112 ± 2	0.90 ± 0.03

Figure 13: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT02. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1800 \pm 2V$

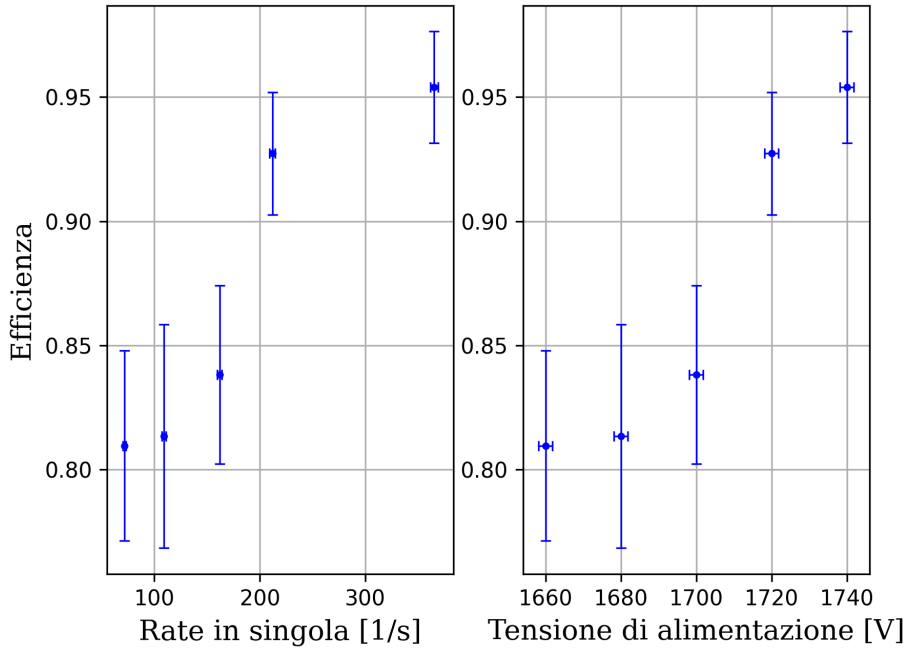
Punto di lavoro per PMT03



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
1740 ± 2	55 ± 1	0.86 ± 0.04
1760 ± 2	74 ± 2	0.86 ± 0.03
1780 ± 2	95 ± 2	0.91 ± 0.03
1800 ± 2	127 ± 2	0.93 ± 0.03
1820 ± 2	165 ± 2	0.93 ± 0.02

Figure 14: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT03. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1800 \pm 2V$

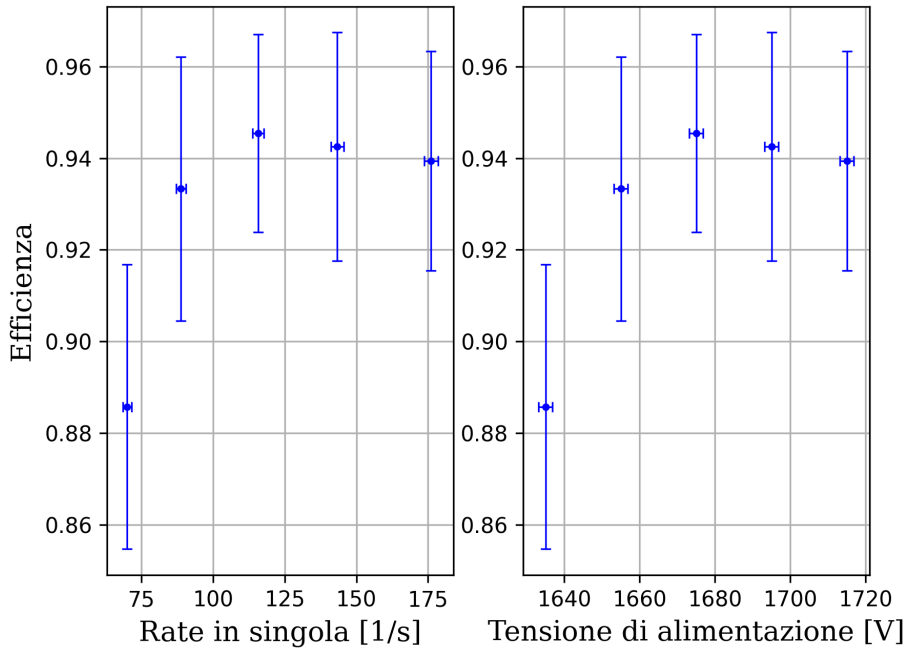
Punto di lavoro per PMT04



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
1660 ± 2	72 ± 2	0.81 ± 0.04
1680 ± 2	109 ± 2	0.81 ± 0.04
1700 ± 2	162 ± 2	0.84 ± 0.04
1720 ± 2	212 ± 3	0.93 ± 0.02
1740 ± 2	365 ± 3	0.95 ± 0.02

Figure 15: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT04. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1720 \pm 2V$

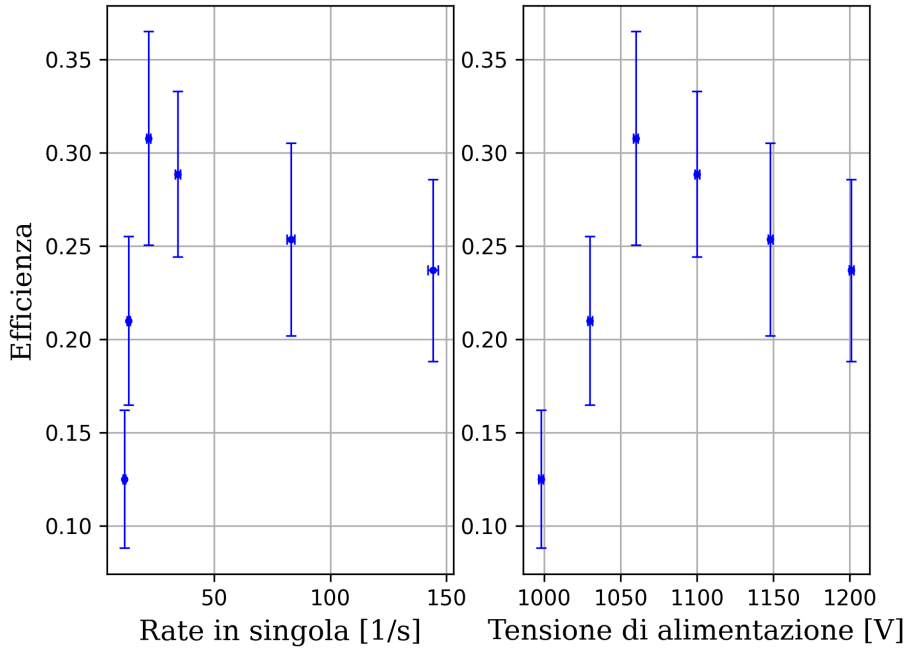
Punto di lavoro per PMT05



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
1635 ± 2	70 ± 2	0.89 ± 0.03
1655 ± 2	89 ± 2	0.93 ± 0.03
1675 ± 2	116 ± 2	0.95 ± 0.02
1695 ± 2	143 ± 2	0.94 ± 0.02
1715 ± 2	176 ± 2	0.94 ± 0.02

Figure 16: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT05. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1675 \pm 2V$

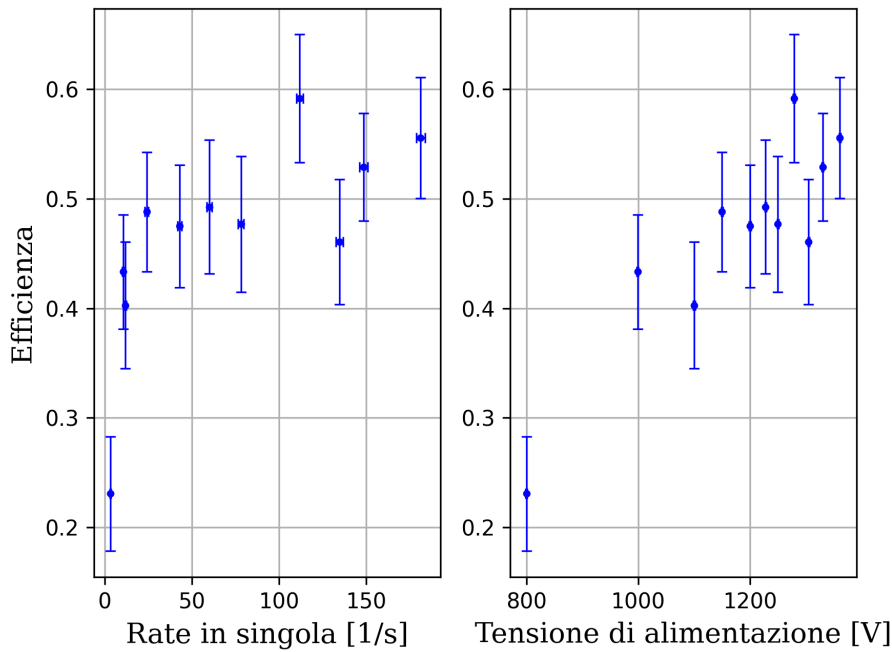
Punto di lavoro per PMT08



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
998 ± 1	11 ± 1	0.12 ± 0.04
1030 ± 2	13 ± 1	0.21 ± 0.05
1060 ± 2	22 ± 1	0.31 ± 0.06
1100 ± 2	34 ± 1	0.29 ± 0.04
1148 ± 2	83 ± 2	0.25 ± 0.05
1201 ± 2	144 ± 2	0.24 ± 0.05

Figure 17: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT08. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1148 \pm 2V$

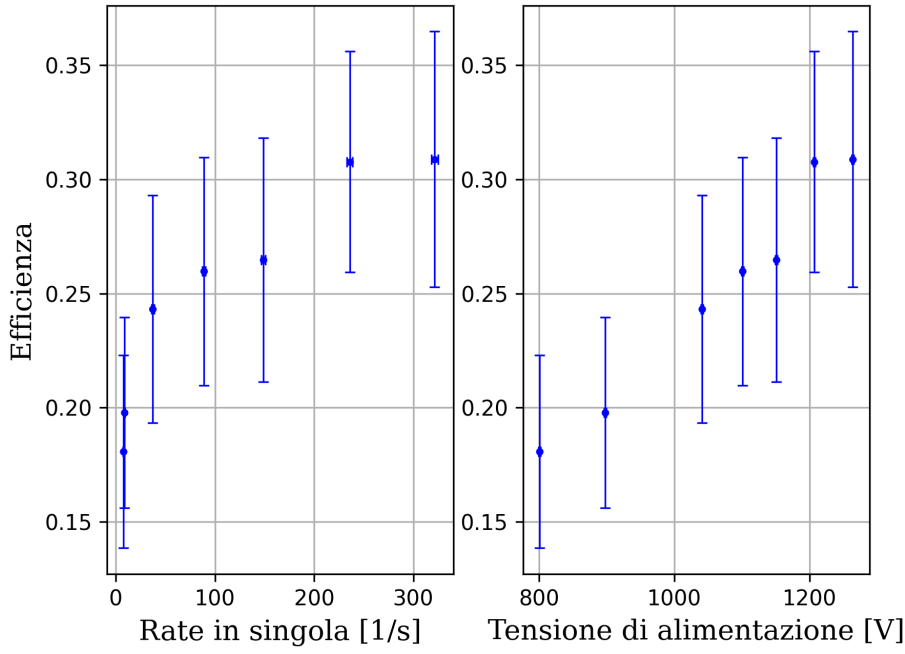
Punto di lavoro per PMT09



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
800 ± 1	3 ± 0	0.23 ± 0.05
999 ± 1	11 ± 1	0.43 ± 0.05
1100 ± 2	12 ± 1	0.40 ± 0.06
1150 ± 2	24 ± 1	0.49 ± 0.05
1200 ± 2	43 ± 1	0.47 ± 0.06
1228 ± 2	60 ± 1	0.49 ± 0.06
1250 ± 2	78 ± 2	0.48 ± 0.06
1279 ± 2	112 ± 2	0.59 ± 0.06
1305 ± 2	135 ± 2	0.46 ± 0.06
1330 ± 2	148 ± 2	0.53 ± 0.05
1361 ± 2	181 ± 2	0.56 ± 0.06

Figure 18: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT09. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1279 \pm 2V$

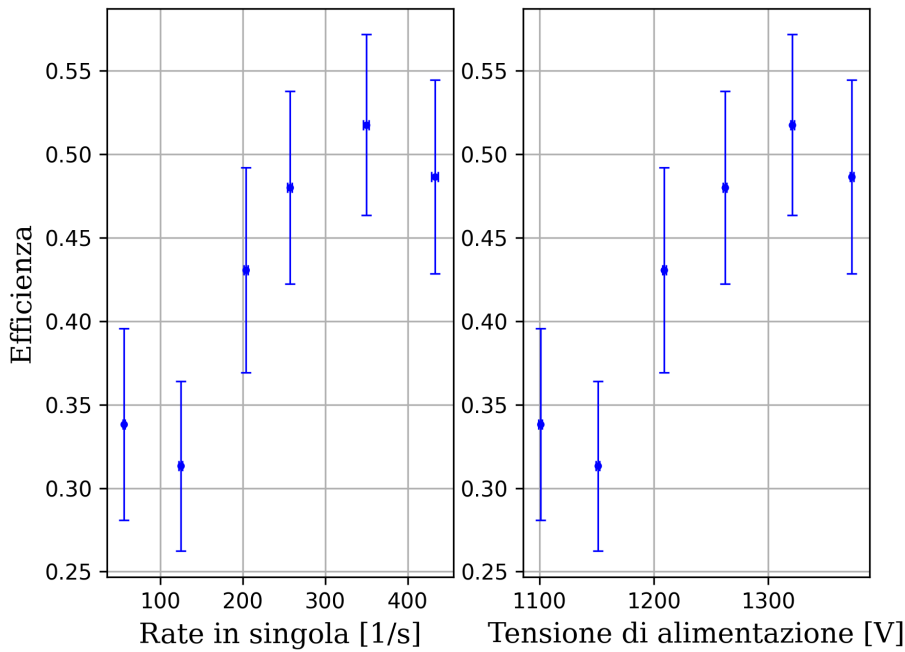
Punto di lavoro per PMT10



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
801 ± 1	8 ± 1	0.18 ± 0.04
898 ± 1	9 ± 1	0.20 ± 0.04
1041 ± 2	37 ± 1	0.24 ± 0.05
1101 ± 2	89 ± 2	0.26 ± 0.05
1151 ± 2	149 ± 2	0.26 ± 0.05
1207 ± 2	236 ± 3	0.31 ± 0.05
1264 ± 2	321 ± 3	0.31 ± 0.06

Figure 19: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT10. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1151 \pm 2V$

Punto di lavoro per PMT11



V[V]	Rate singola [Hz]	Efficienza
1101 ± 2	56 ± 1	0.34 ± 0.06
1151 ± 2	125 ± 2	0.31 ± 0.05
1209 ± 2	204 ± 3	0.43 ± 0.06
1262 ± 2	257 ± 3	0.48 ± 0.06
1321 ± 2	350 ± 3	0.52 ± 0.05
1373 ± 2	433 ± 4	0.49 ± 0.06

Figure 20: Punto di lavoro con relativa tabella di valori per PMT11. Si sceglie la tensione di alimentazione di $1262 \pm 2V$