



Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Fisica e Astronomia

Corso di Laurea Triennale in
Fisica

Tesi di Laurea

**Caratterizzazione di fotomoltiplicatori di nuova concezione
per esperimenti di grandi dimensioni dedicati allo studio delle
oscillazioni di neutrini**

Relatore

Alberto Garfagnini

Laureando
Enrico Lusiani

Correlatore

Riccardo Brugnera

Anno Accademico
2015-2016

L'esperimento JUNO

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

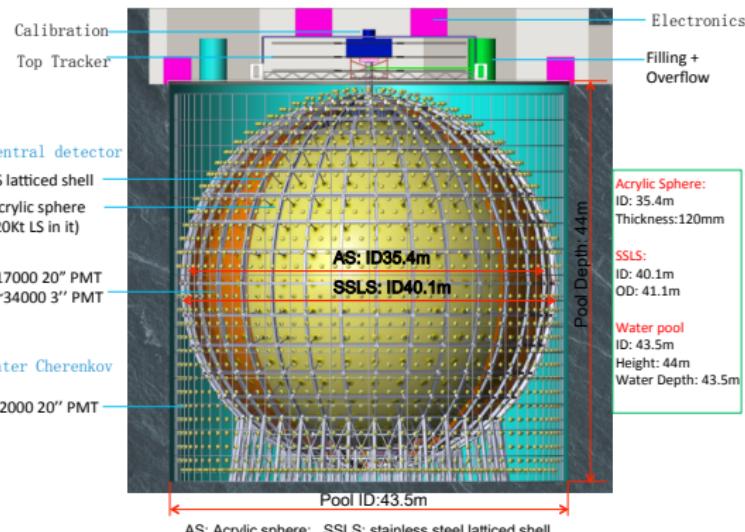
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

Analisi di grandi segnali



Misura della gerarchia di massa tramite neutrini da reattori nucleari

20000 PMT da 20"

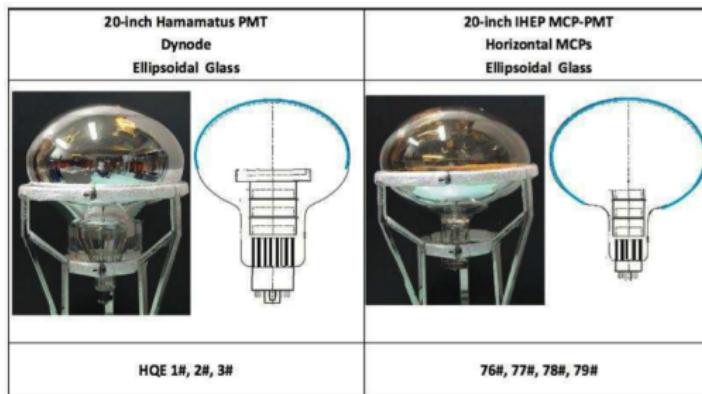


I PMT di JUNO

L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a
singolo elettrone
Caratteristiche
temporali del segnale
Analisi di grandi
segnali

PMT	R12860 HQE	MCP-PMT
Electron Multiplier	Linear focusing	MCP
QE	27.5 %	30 %
G	10^7	10^7
P/V	3.22	4.58
Dark Rate	10 kHz	20 kHz
HV Nominale	2 kV	1.5 kV
Rise time	7 ns	2 ns
Fall time	17 ns	12 ns
Transit time spread	2.7 ns	12 ns

In JUNO, 5000 R12860 HQE e 15000 MCP-PMT



Setup sperimentale

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

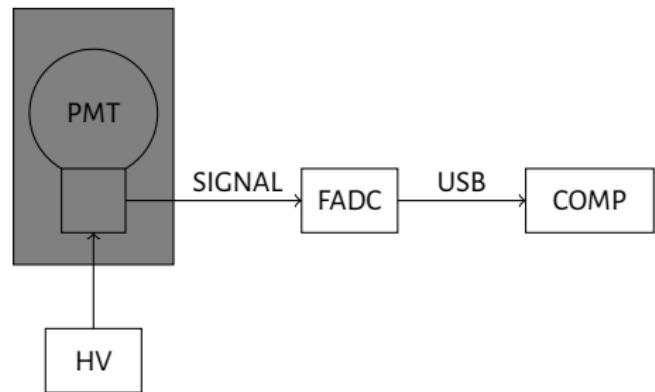
Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

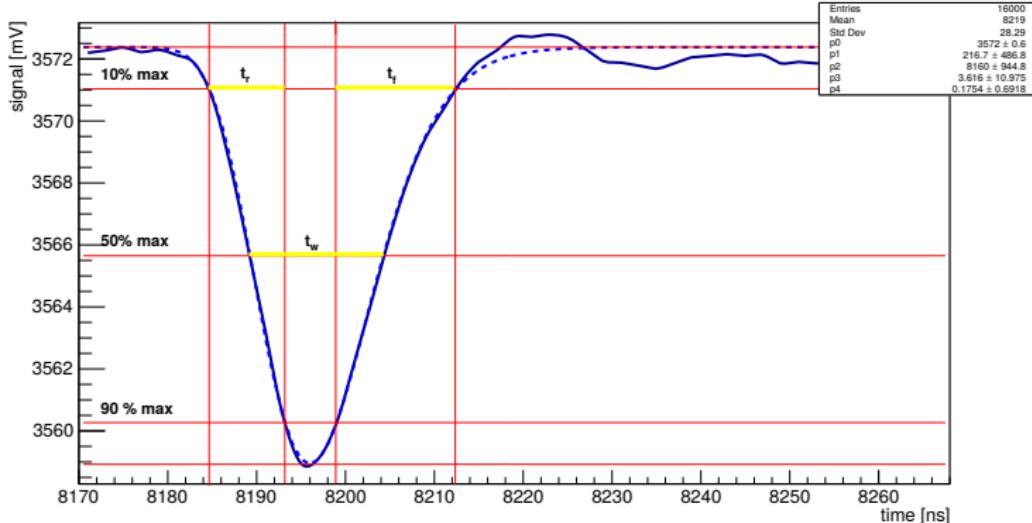
Analisi di grandi
segnali

Il setup è costituito da:

- HV: Ortec 556
- PMT R12860 HQE della Hamamatsu Photonics o MCP-PMT della NNVT
- CAEN DT5730, 500 MSa/s, 1ch = 0.12208 mV



Tipical waveform:



Parametri:

- Fall/rise time
 - Larghezza temporale
 - Baseline
 - Ampiezza
 - Integrale (\propto Carica)

Misure di buio

Anche con il PMT al buio, vengono rilevati dei segnali detti impulsi di buio (figura in basso)

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

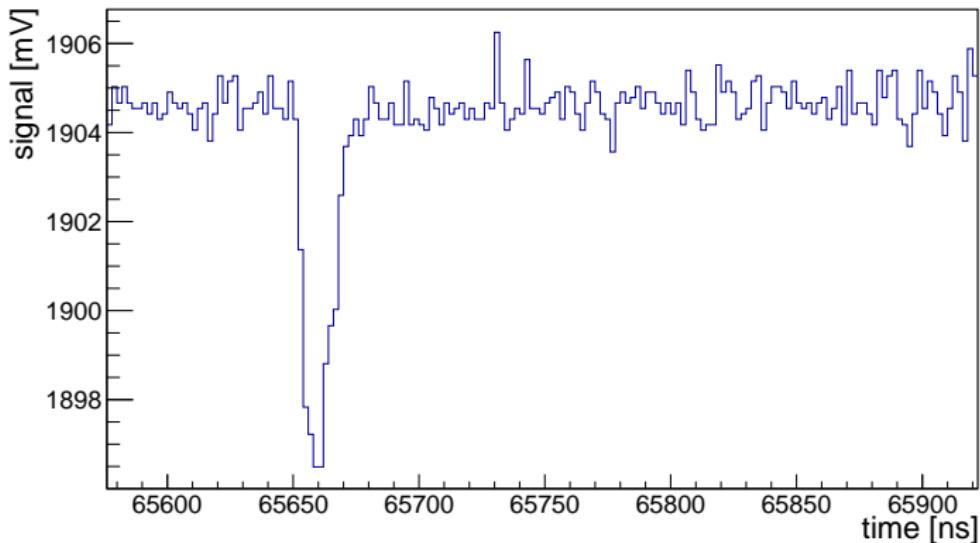
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

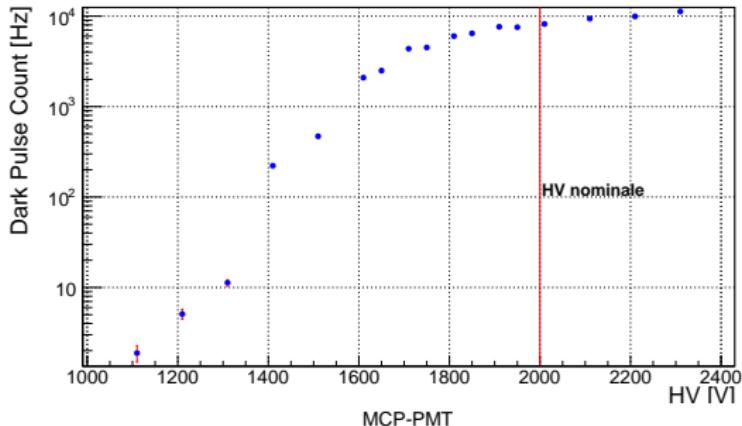
Analisi di grandi segnali



Aampiezza ≈ 8 mV

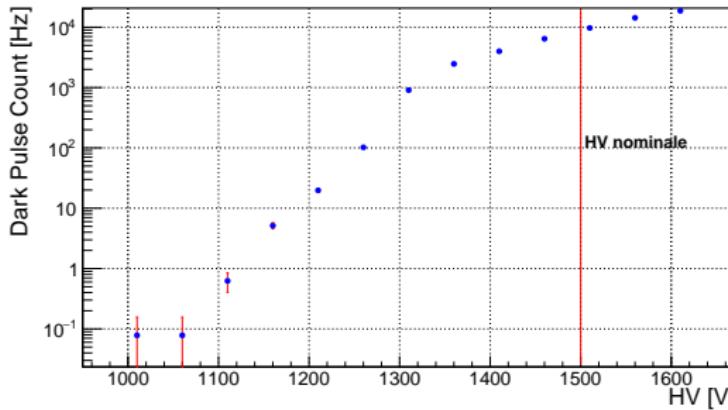
RMS_{rumore} ≈ 0.35 mV

R12860 HQE



$$f(2.01 \text{ kV}) \approx 8 \text{ kHz}$$

MCP-PMT



$$f(1.51 \text{ kV}) \approx 10 \text{ kHz}$$

Studio dello spettro a singolo elettrone

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

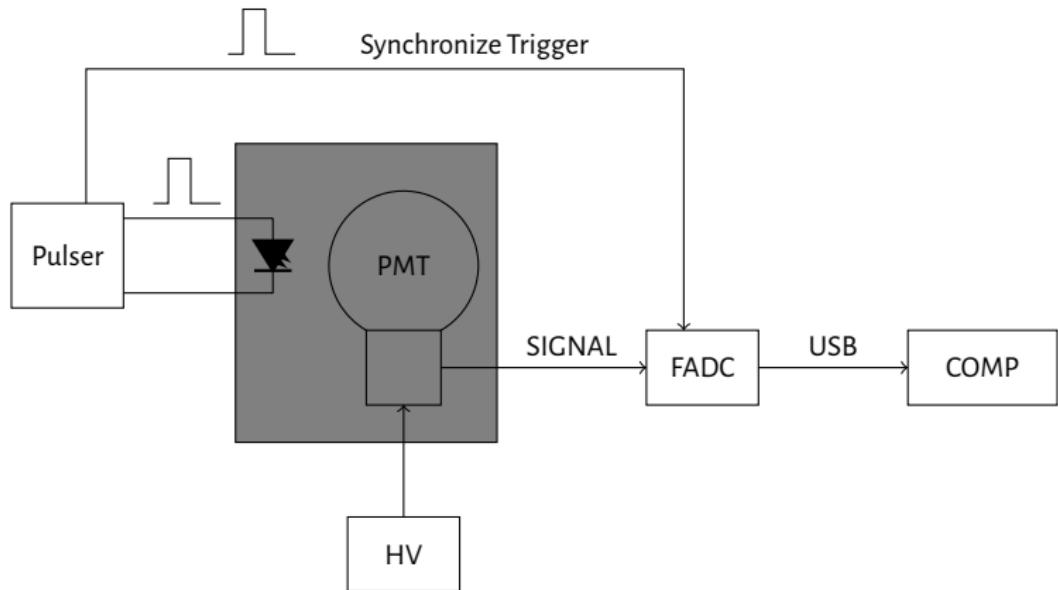
Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali

- Impulsatore a 1 kHz con ampiezza 5 V e durata 54 ns
- LED FNL-U300B22WCSL con lunghezza d'onda $\lambda_d = 460\text{nm}$



L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

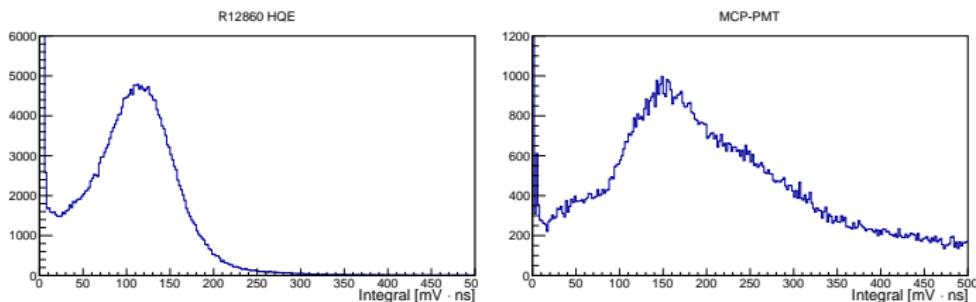
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali



$$R_{\text{ptv}}^{\text{R12860}} = 3.1 \pm 0.3 \quad (\text{specs: } 3.22)$$

$$R_{\text{ptv}}^{\text{MCP-PMT}} = 3.7 \pm 1.7 \quad (\text{specs: } 4.58)$$

$$G = \frac{Q_{\text{single}}}{e} = \frac{\int_{\text{single}} v(t) dt}{eR_{\text{eq}}} = \begin{array}{ll} (1.421 \pm 0.002) \cdot 10^7 & \text{R12860 HQE} \\ (1.935 \pm 0.010) \cdot 10^7 & \text{MCP-PMT} \end{array}$$

Caratteristiche temporali del segnale

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

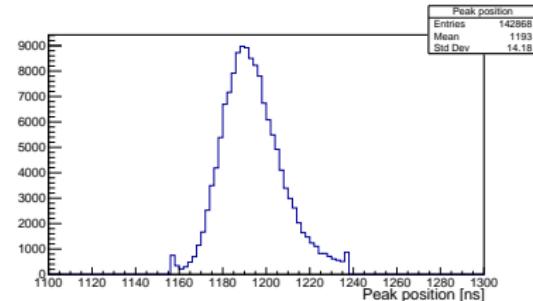
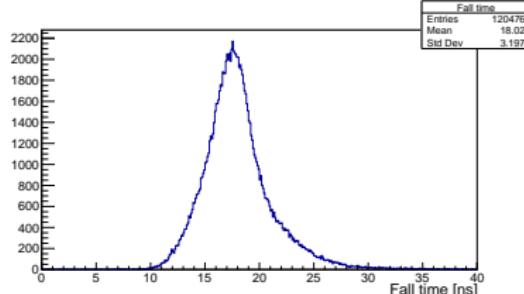
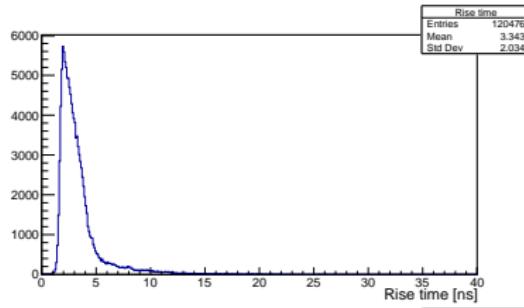
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

Analisi di grandi segnali



$$\text{Rise time} = 3.1 \pm 0.1 \text{ ns}$$

$$\text{Fall time} = 18.0 \pm 0.1 \text{ ns}$$

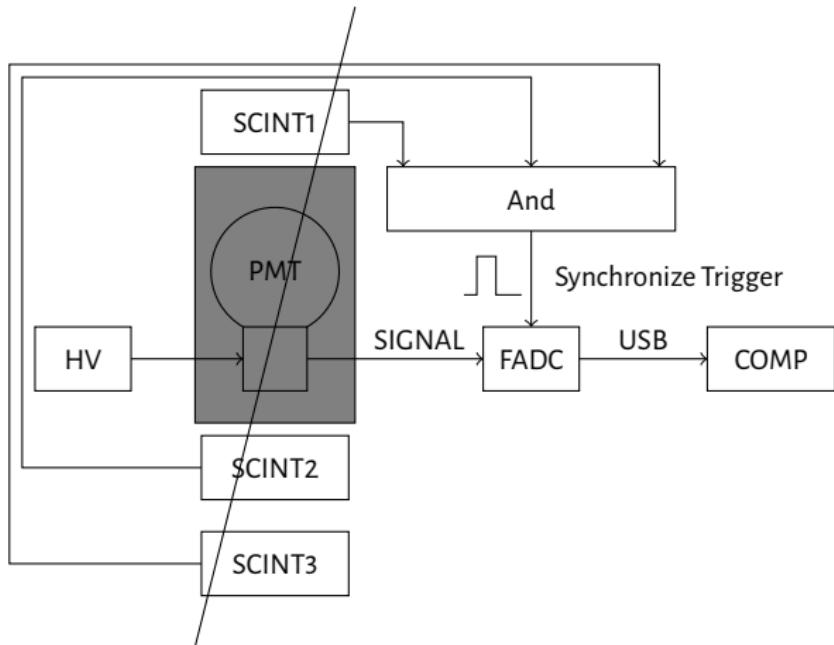
Transit time spread $\approx 10 \text{ ns}$

La misura del tempo di salita è limitata dalla frequenza di campionamento dell'FADC



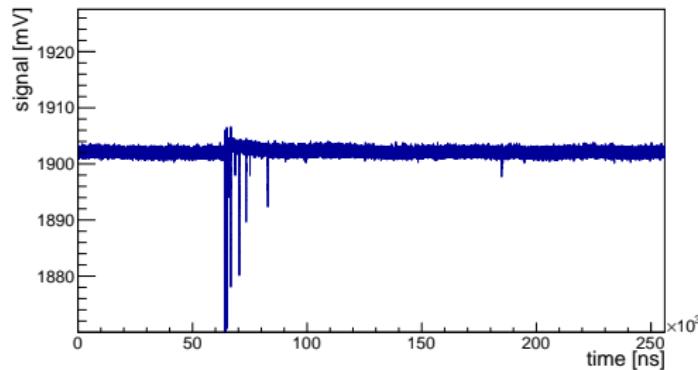
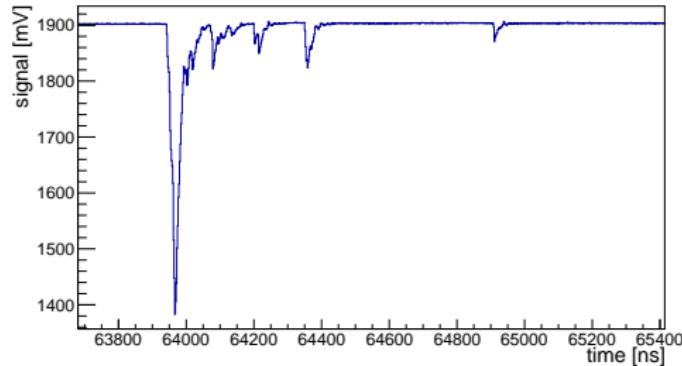
Analisi di grandi segnali

Analisi fatta sull'effetto di grandi segnali sul PMT, come quelli ottenuti dal passaggio di raggi cosmici.



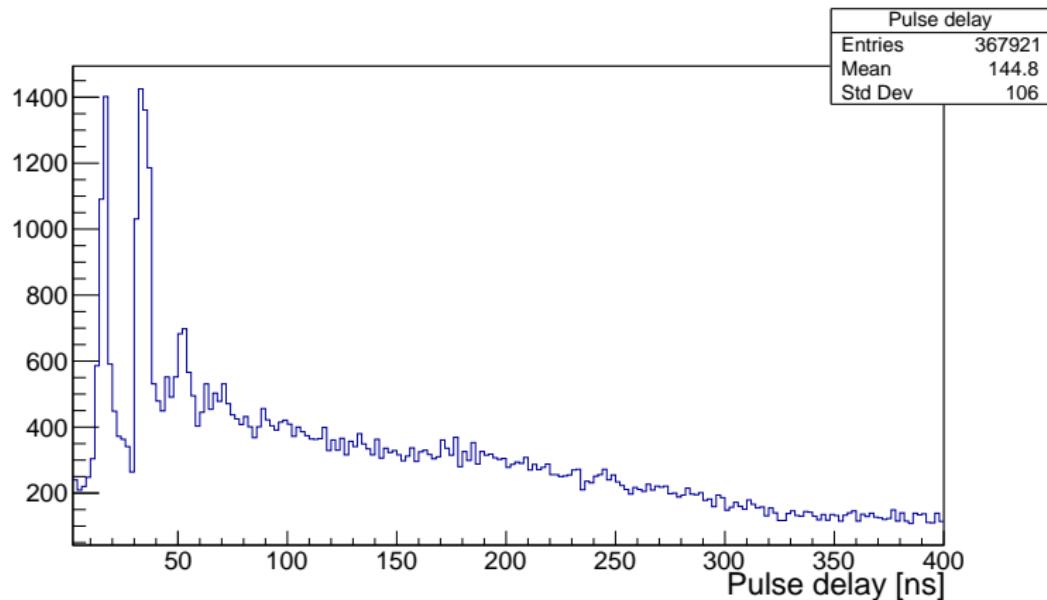
Tipical waveform

- L'esperimento JUNO
- Fotomoltiplicatori
- Setup sperimentale
- Misure di buio
- Studio dello spettro a singolo elettrone
- Caratteristiche temporali del segnale
- Analisi di grandi segnali



Afterpulses

L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a singolo elettrone
Caratteristiche temporali del segnale
Analisi di grandi segnali



Overshoot

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

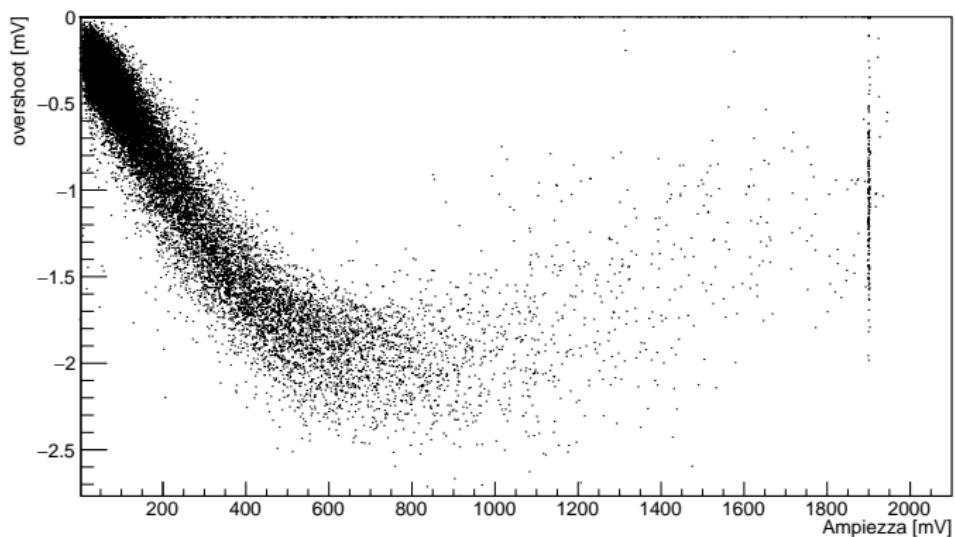
Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali

Dopo ogni segnale, la baseline nell'MCP si sposta in alto di una valore dipendente dalla carica raccolta.



Conclusioni

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali

Hamamatsu R12860 HQE

Guadagno $(1.421 \pm 0.002) \cdot 10^7$

P/V 3.1 ± 0.3

TTS <6 ns

Rumore $f(2\text{kV}) = (8.2 \pm 0.8)\text{kHz}$

Ottimo per il timing degli eventi

NNVT MCP-PMT

Guadagno $(1.935 \pm 0.010) \cdot 10^7$

P/V 3.7 ± 1.7

TTS ≈ 10 ns

Rumore $f(1.5\text{kV}) = (9.77 \pm 0.03)\text{kHz}$

Ottimo per la misura dell'energia dell'evento

Entrambi buoni candidati per l'esperimento JUNO e per successivi esperimenti che richiedano PMT di grandi dimensioni

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

Analisi di grandi segnali

Un fotomoltiplicatore (PMT) è un rilevatore di fotonni che sfrutta i principi dell'effetto fotoelettrico e dell'emissione secondaria.

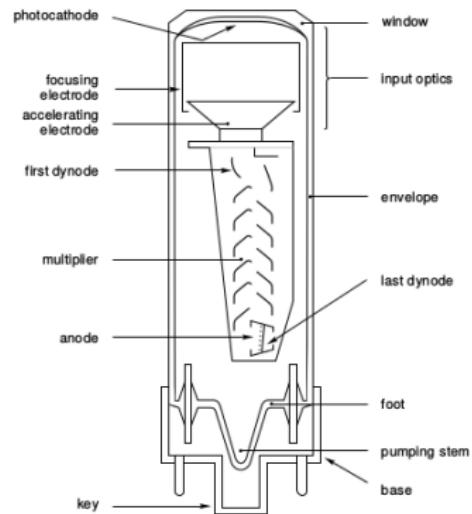
Le sue parti principali sono:

- **Fotocatodo**

Sottile pellicola che converte i segnali luminosi in elettroni tramite effetto fotoelettrico. Si definisce efficienza quantica η il rapporto tra fotonni in entrata ed elettroni in uscita.

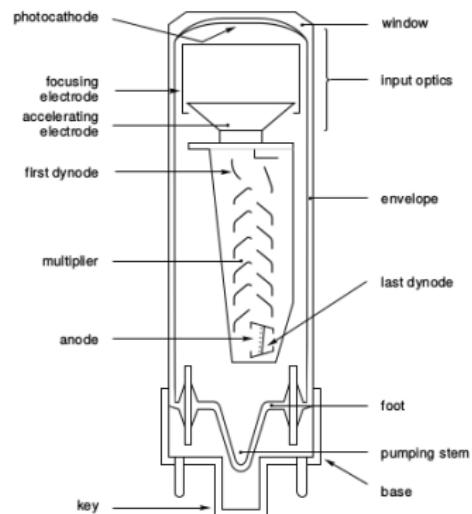
- **Sistema di input degli elettroni**

Un sistema di uno o più elettrodi che focalizzano gli elettroni che escono dal fotocatodo verso il primo dinodo, in modo da uniformare il tempo impiegato ad arrivarci. Si definisce efficienza di raccolta ϵ il rapporto tra elettroni in arrivo dal catodo e elettroni giunti al primo dinodo.



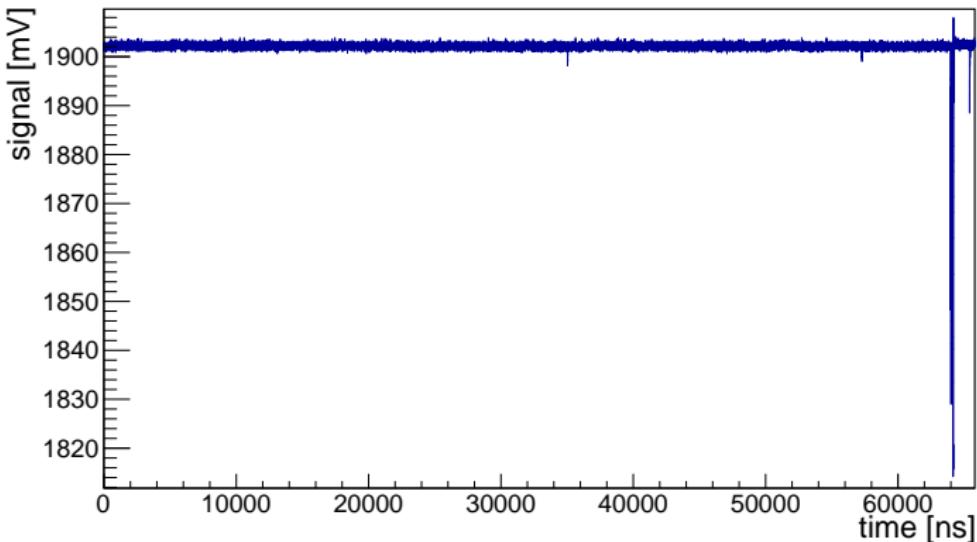
MAB 100

- **Moltiplicatore di elettroni**
 Composto da più elettrodi, i dinodi, tenuti ad una d.d.p. costante. Gli elettroni arrivando ad un elettrodo vengono moltiplicati grazie al processo dell'emissione secondaria. Può essere strutturato in diversi modi, che influenzano le caratteristiche del fotomoltiplicatore nell'insieme.
- **Anodo**
 Elettrodo che raccoglie la carica in uscita dal moltiplicatore, dando un segnale elettrico.
- **Partitore di tensione**
 Circuito che assegna le varie tensioni ad ogni dinodo o elettrodo principale del PMT



Studio della baseline

L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a
singolo elettrone
Caratteristiche
temporali del segnale
Analisi di grandi
segnali



Studio della baseline

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

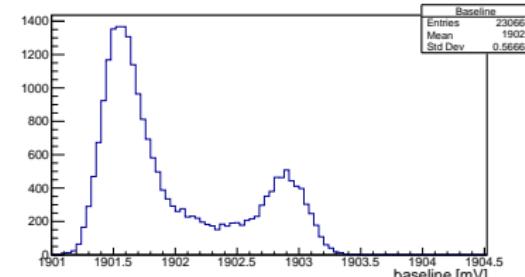
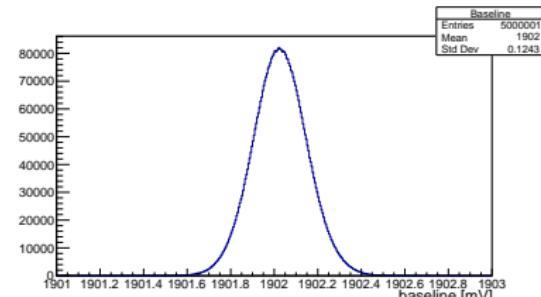
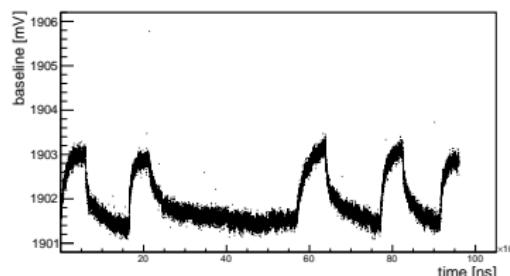
Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

Analisi di grandi segnali

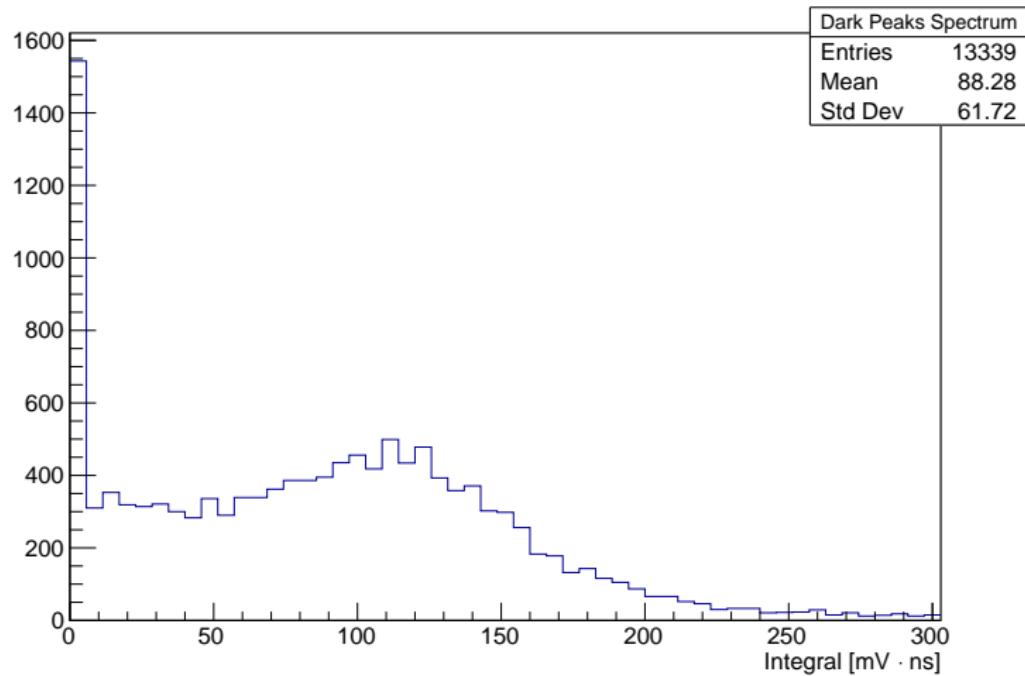
Nell'R12860 la baseline è perfettamente gaussiana, con larghezza a metà altezza 0.29 mV

Nell'MCP-PMT invece sono presenti due picchi, separati da 1.3 mV tra loro, segno che la baseline oscilla tra due valori.
Più visibile nel grafico temporale



Spettro dei dark pulse Hamamatsu

L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a singolo elettrone
Caratteristiche temporali del segnale
Analisi di grandi segnali



Spettro dei dark pulse MCP-PMT

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

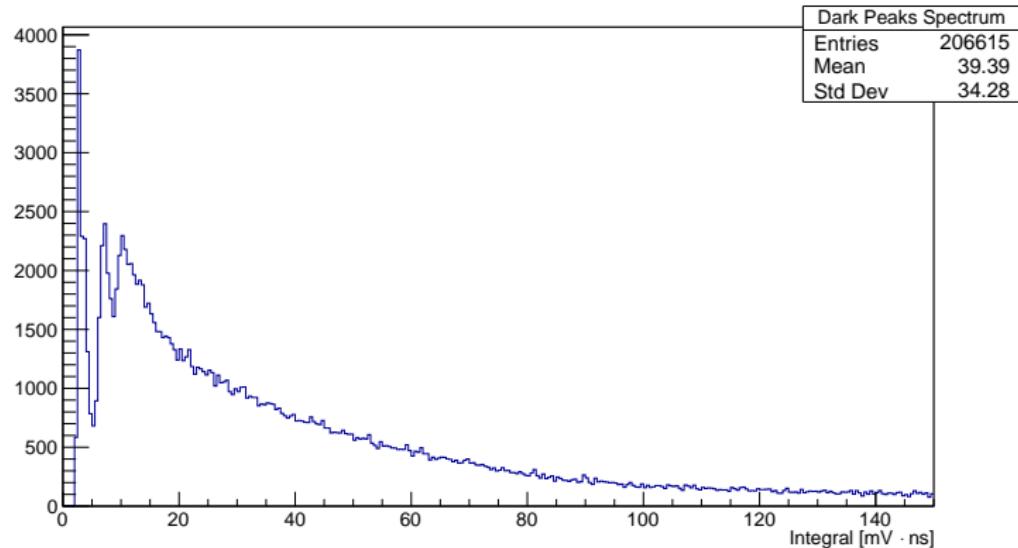
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

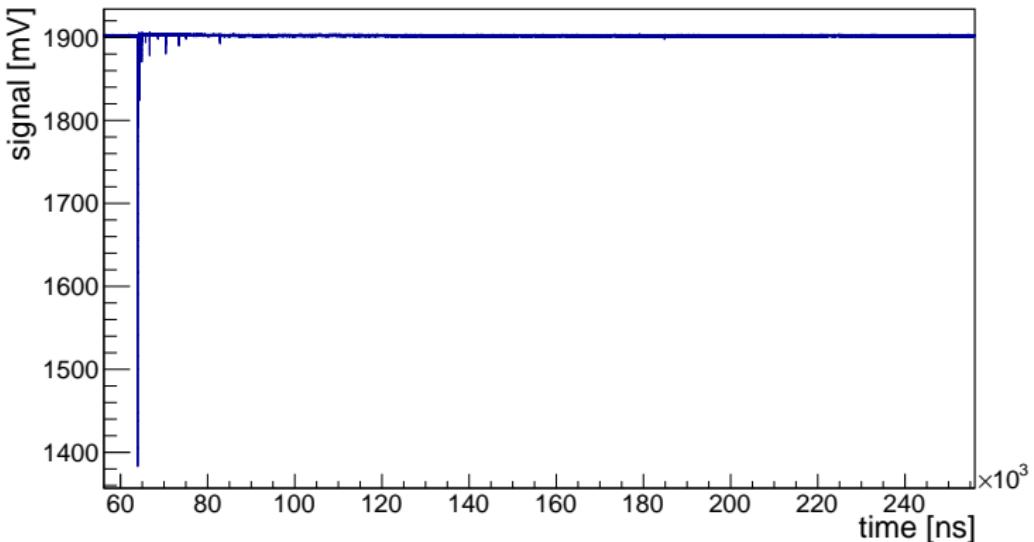
Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali

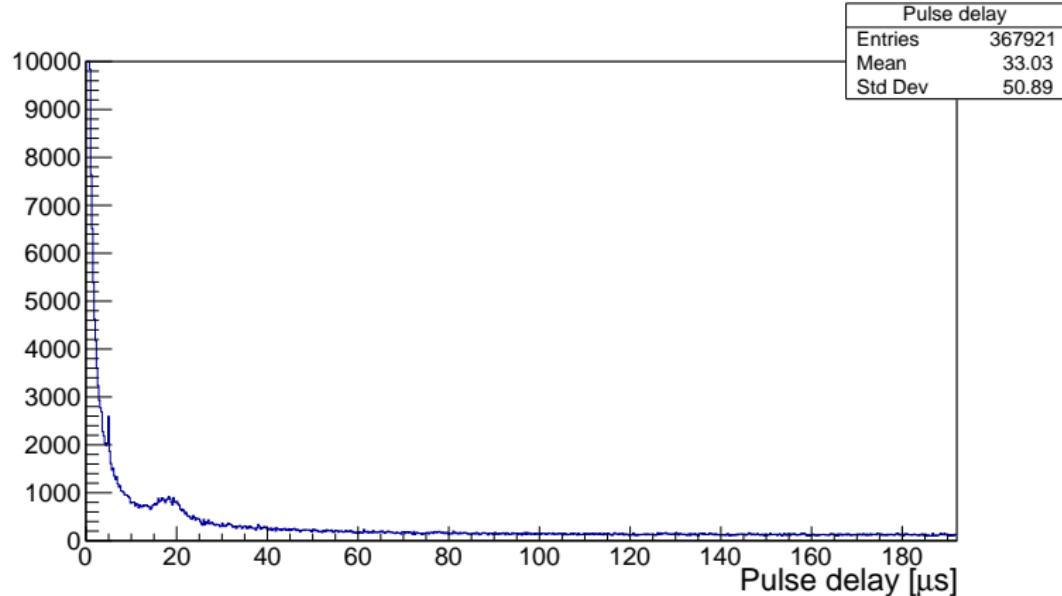


Esempio di evento con i cosmici

L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a
singolo elettrone
Caratteristiche
temporali del segnale
Analisi di grandi
segnali



L'esperimento JUNO
Fotomoltiplicatori
Setup sperimentale
Misure di buio
Studio dello spettro a
singolo elettrone
Caratteristiche
temporali del segnale
Analisi di grandi
segnali



Correlazione ampiezza ritardo per gli afterpulses

L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

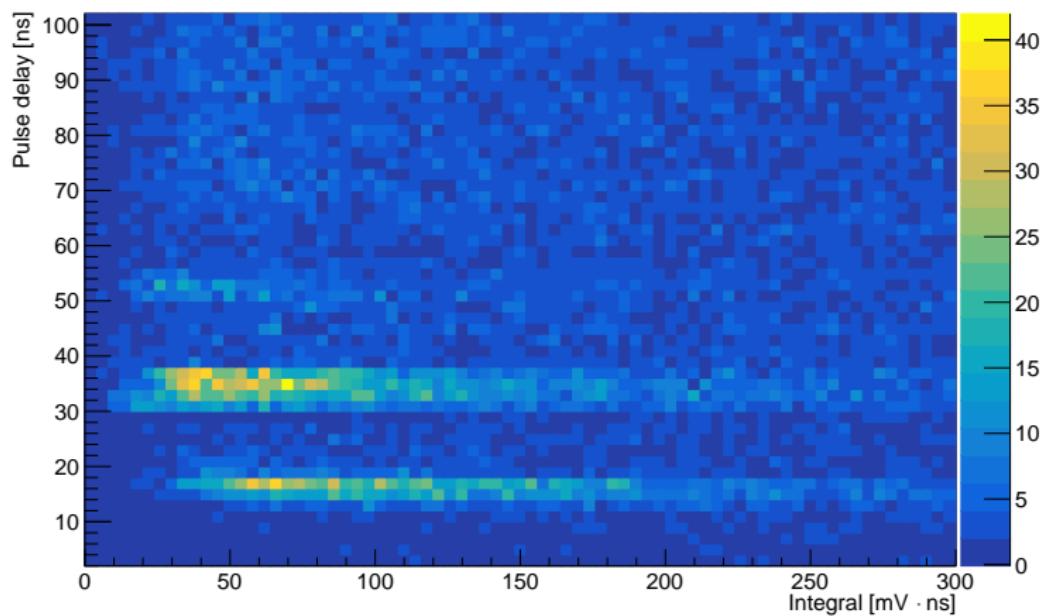
Studio dello spettro a singolo elettrone

Caratteristiche temporali del segnale

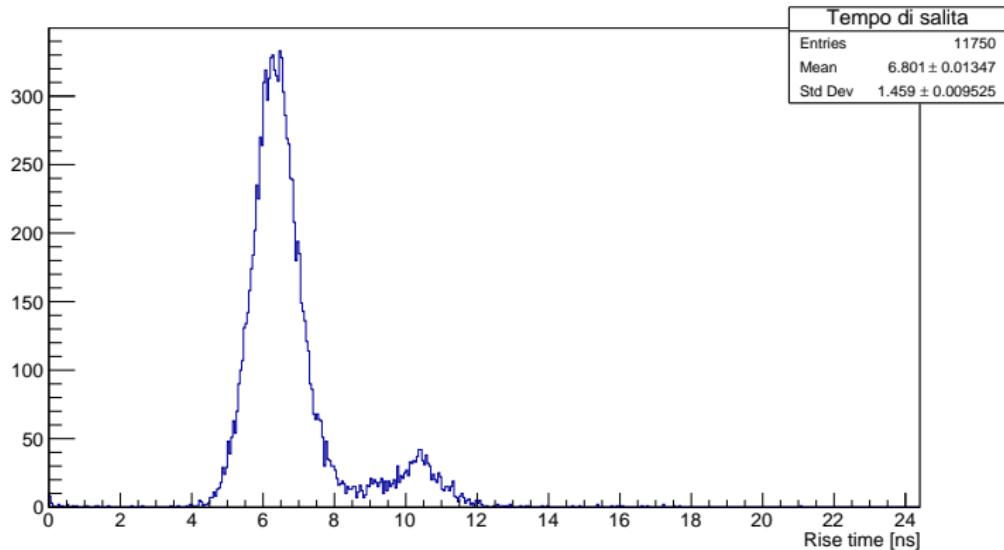
Analisi di grandi segnali

Nel grafico in 2D dell'ampiezza in funzione del ritardo si può vedere la correlazione tra le due grandezze quando si parla di afterpulses. Il picco tra i 30 e i 38 ns ha un'ampiezza media pari circa ad 1/3 o 1/4 di quella di singolo elettrone.

Pulse delay vs pulse integral



Caratteristiche temporali R12860 HQE



L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

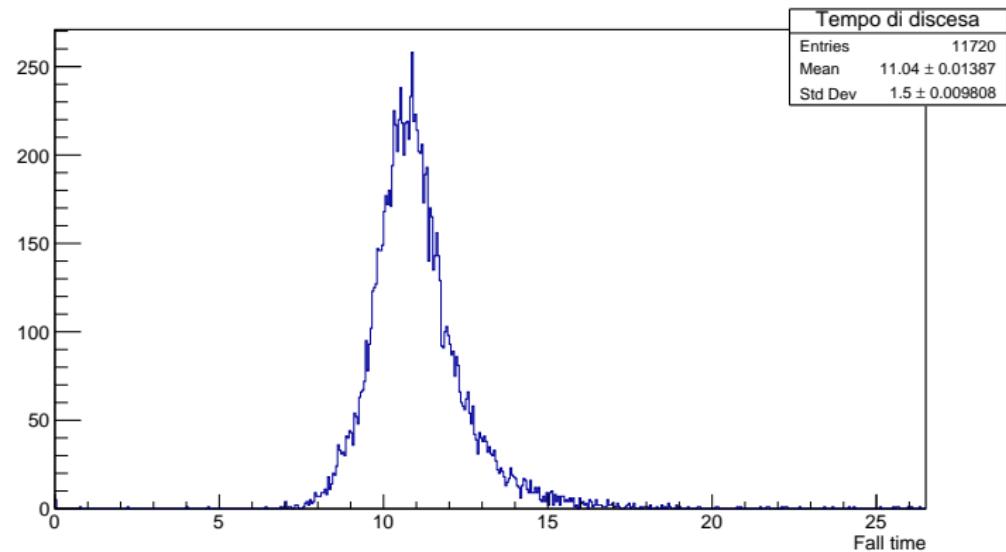
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali



L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

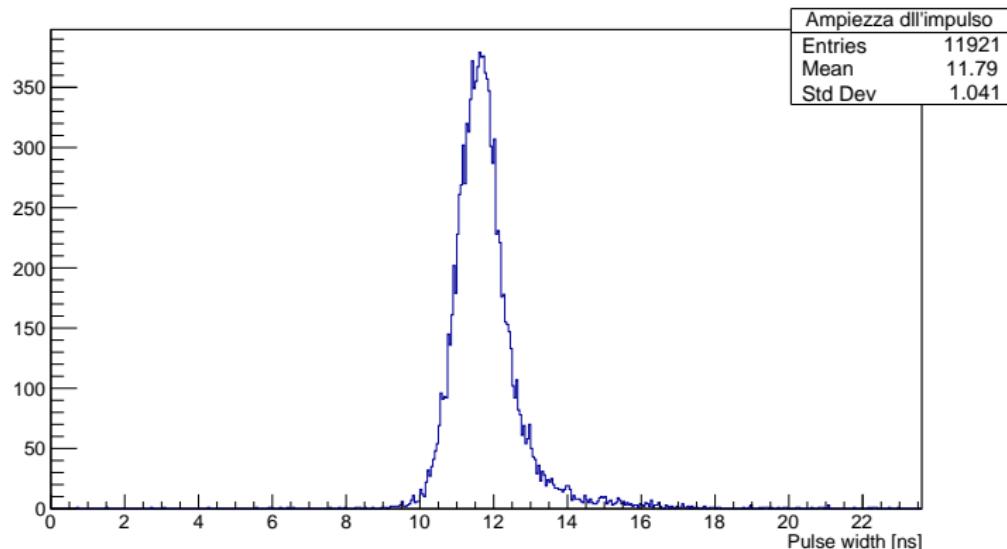
Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali



L'esperimento JUNO

Fotomoltiplicatori

Setup sperimentale

Misure di buio

Studio dello spettro a
singolo elettrone

Caratteristiche
temporali del segnale

Analisi di grandi
segnali

