

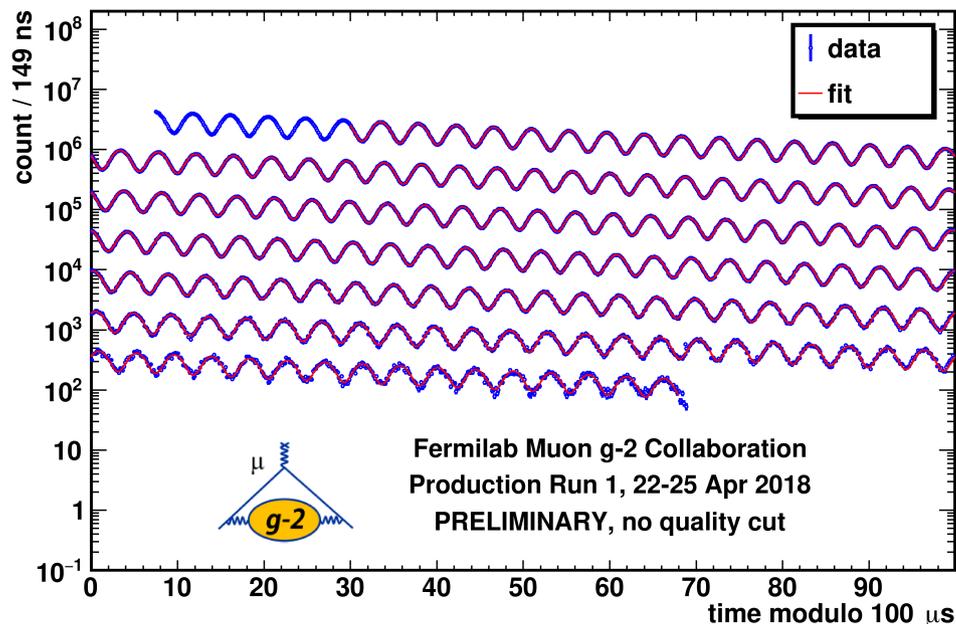
Il sistema di calibrazione laser dell'esperimento Muon g-2 a Fermilab

106° Congresso SIF
14 Settembre 2020

Paolo Girotti

Stabilità di guadagno

- Una delle misure effettuate dall'esperimento g-2 è la frequenza di precessione dei muoni all'interno del fascio. (Si veda la presentazione di M.Sorbara)
- Variazioni del guadagno dei SiPM durante la presenza del fascio causano bias sulla misura di ω_a .



$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\gamma\tau}} [1 + A \cos(\omega_a t + \phi(t))]$$

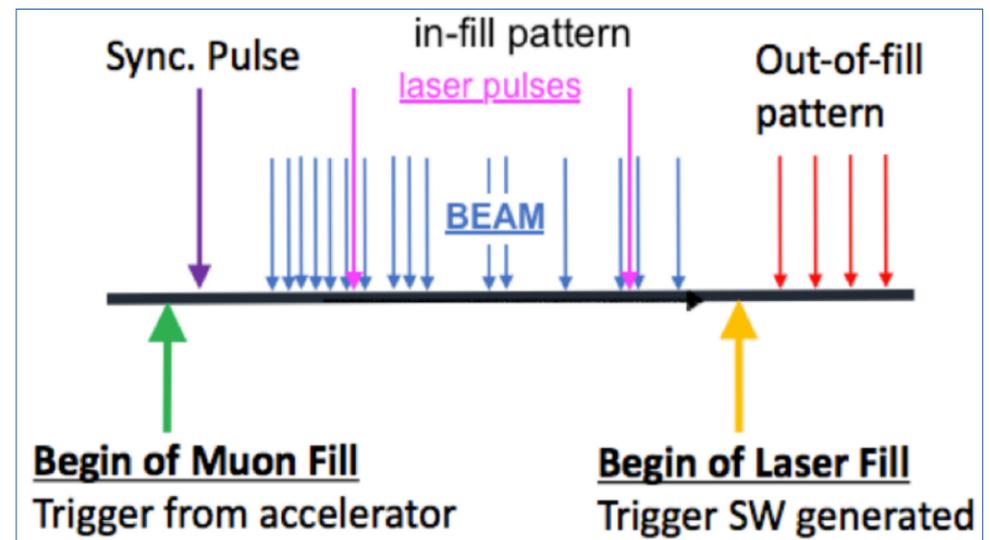
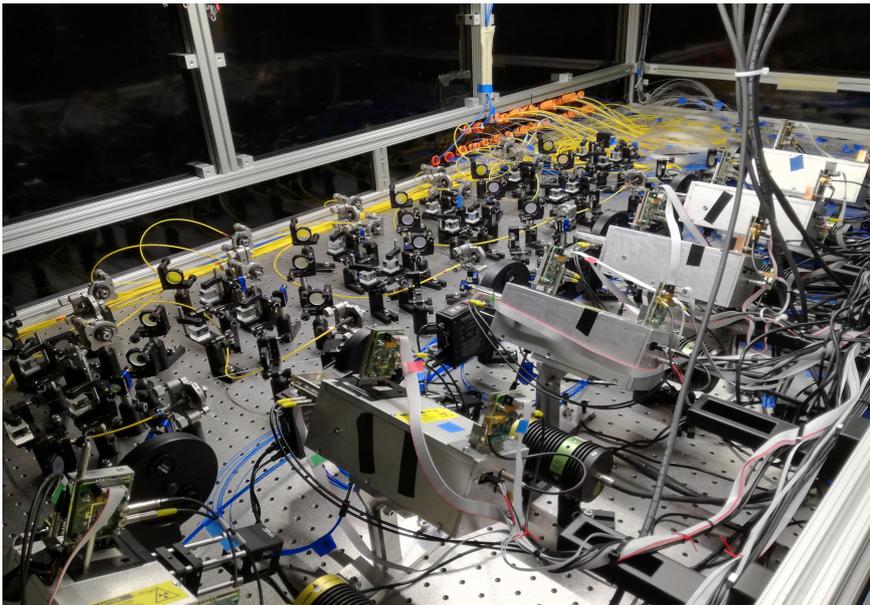
$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\gamma\tau}} [1 + A \cos((\omega_a + \dot{\phi})t + \phi)]$$

$$\frac{\Delta\omega_a}{\omega_a} = \frac{1}{\omega_a} \cdot \frac{d\langle\phi\rangle}{dt} = \frac{1}{\omega_a} \cdot \frac{d\langle\phi\rangle}{d\langle p\rangle} \cdot \frac{d\langle p\rangle}{dt} \neq 0$$

= 0 se il guadagno è stabile

Sistema laser

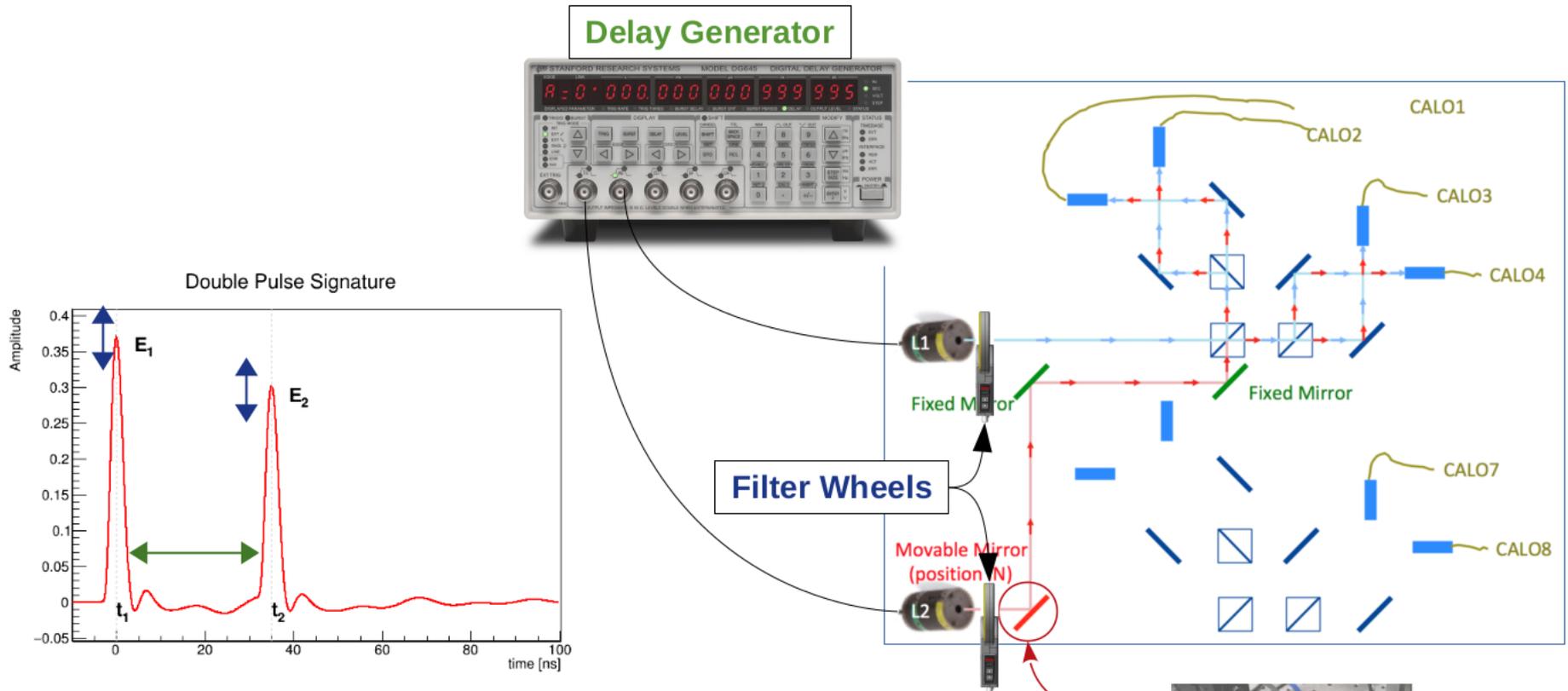
- Un preciso sistema laser permette di monitorare la stabilità dei SiPM a varie scale temporali
- 6 teste laser illuminano i 1296 SiPM dei 24 calorimetri posizionati all'interno dell'anello.
- Impulsi laser sono inviati sia durante la circolazione del fascio di muoni che al di fuori di essa.



Correzioni di guadagno

- Gli impulsi laser vengono inviati ai SiPM per ottenere tre correzioni di guadagno a tre scale temporali differenti:
 - Doppio impulso (STDP): ~ 15 ns
 - Impulsi durante il Fill (IFG): ~ 5 μ s
 - Impulsi fuori dal Fill (OOF): \sim ore/giorni
- Inoltre, il sistema laser è utilizzato anche per il calcolo del guadagno hardware dei SiPM (fotostatistica) e per la sincronizzazione temporale dei canali.

STDP (doppio impulso)

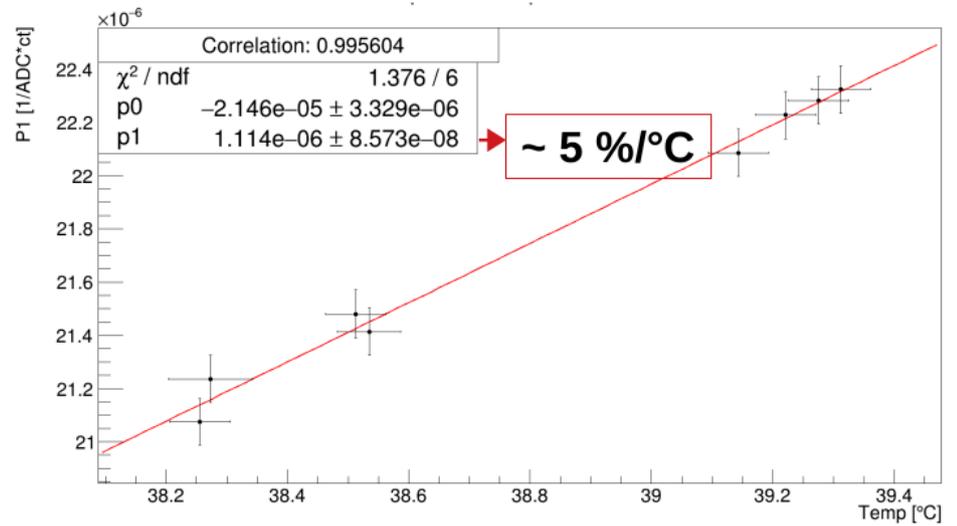
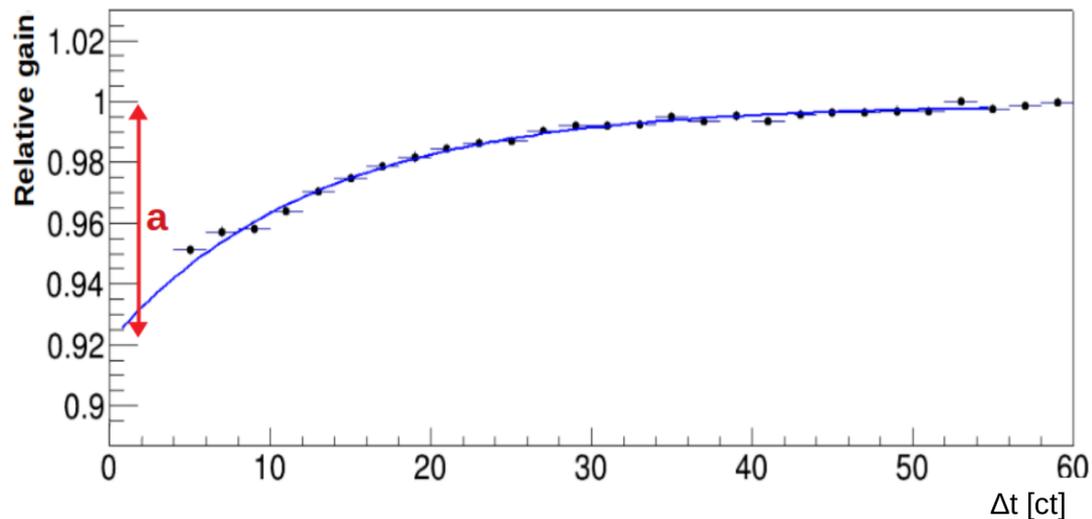


- Correzione di guadagno per segnali a brevissima distanza (nanosecondi).
- Configurazione dedicata del laser, capace di inviare due impulsi laser allo stesso SiPM.



STDP (doppio impulso)

- La caduta di guadagno sul secondo segnale a causa del primo è di forma esponenziale, con una vita media di circa 15 ns e un'ampiezza che dipende da:
 - Energia del primo segnale (5%/GeV)
 - Temperatura del SiPM (1 + 0.05/°C)

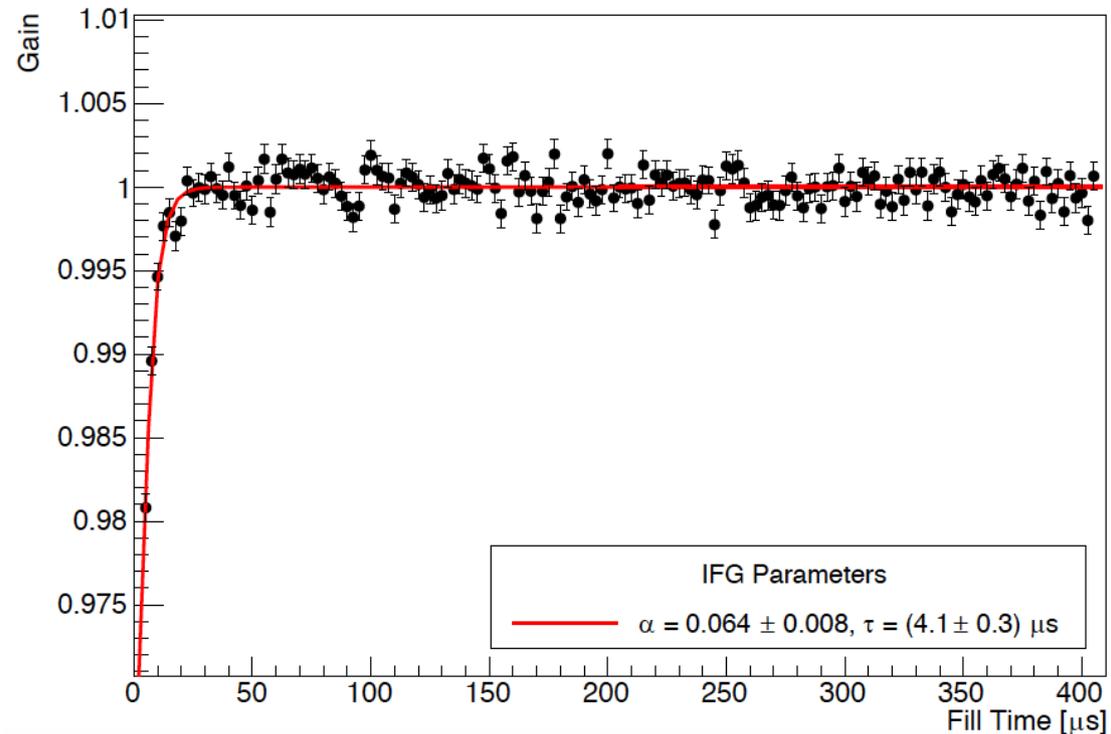
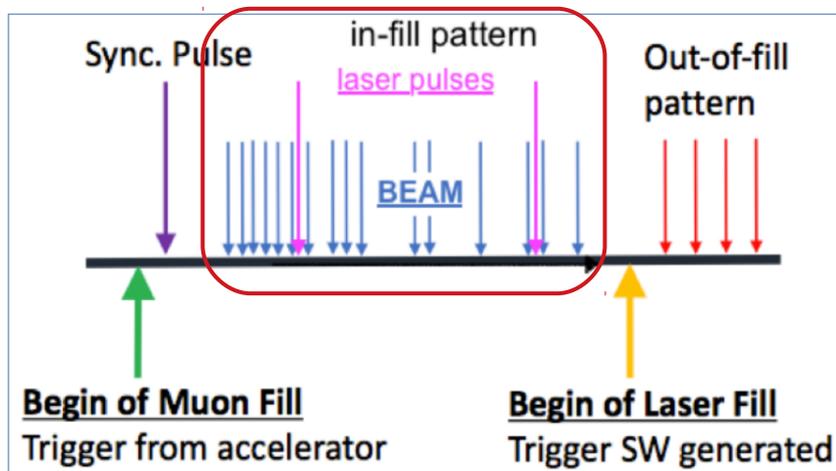


$$G(\Delta t, E_1, T) = 1 - E_1 \cdot P_1 [1 + \alpha(T - T_{ref})] \cdot e^{-\Delta t / \tau}$$

Guadagno In-Fill (IFG)

- Correzione per la caduta di guadagno dovuta all'iniezione del fascio e dello "splash" di particelle che ne consegue
- Calcolata come rapporto tra l'energia del SiPM e quella dei monitor del laser

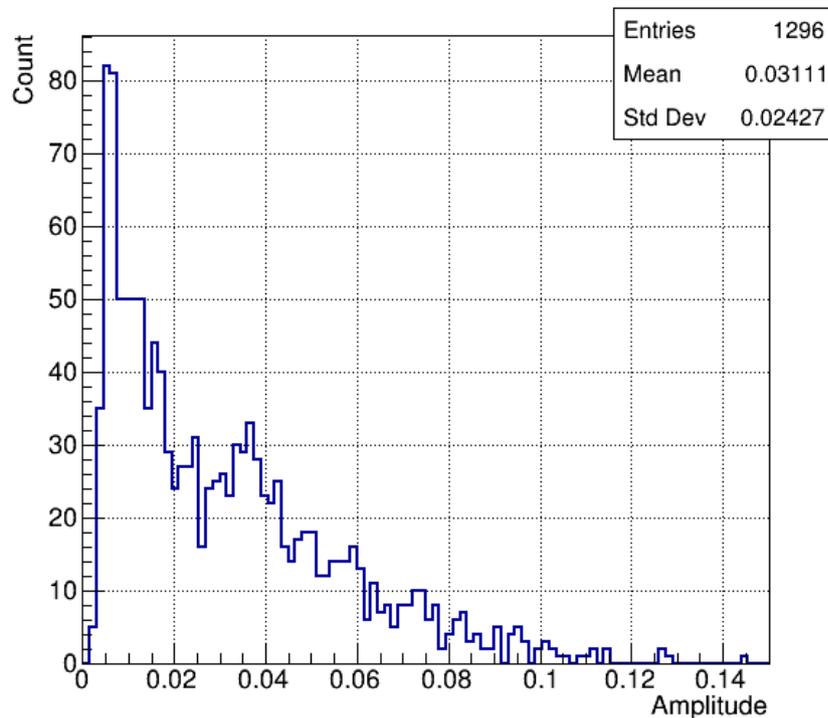
$$g(t) = \frac{SiPM}{LM} / \left(\frac{SiPM}{LM} \right)_{OOFF}$$



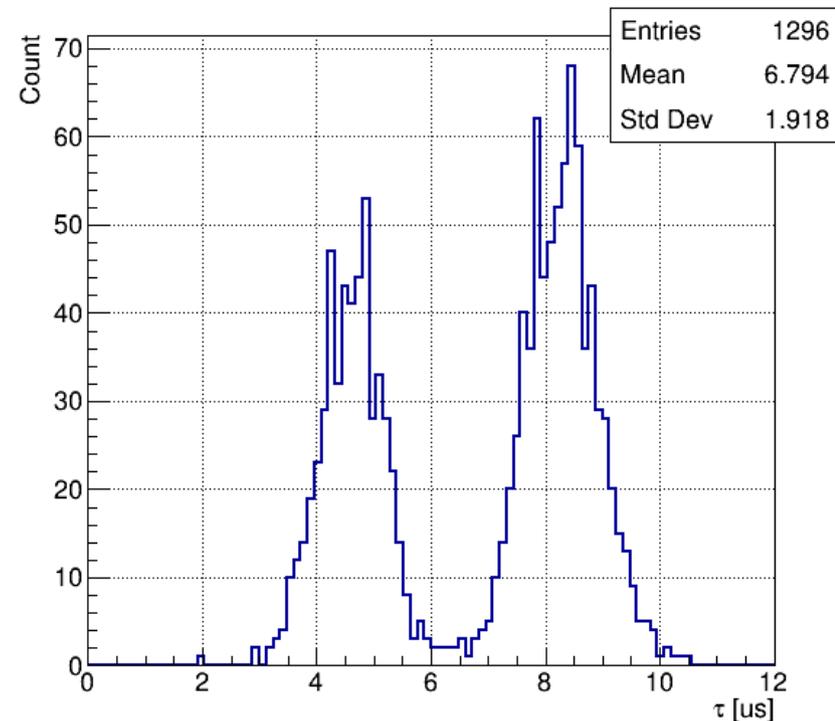
Guadagno In-Fill (IFG)

- La caduta di guadagno è un'esponenziale la cui ampiezza dipende dall'energia depositata dalle particelle perse durante l'iniezione del fascio
- La vita media dipende dall'elettronica, e presenta una doppia distribuzione a ~ 4 us e ~ 8 us.

Amplitude distribution

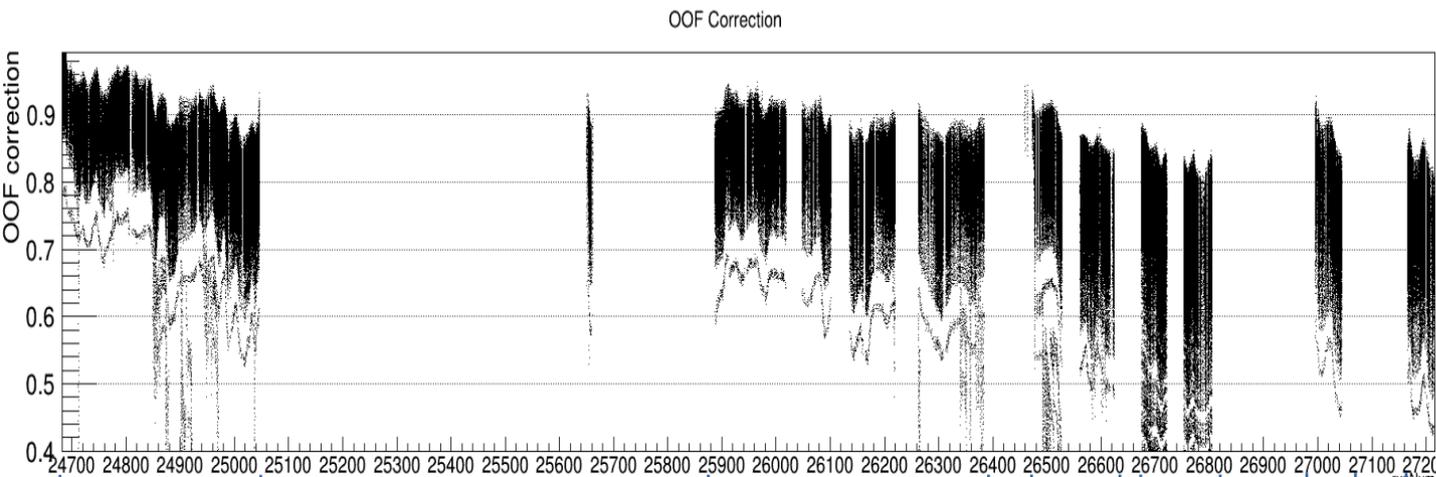
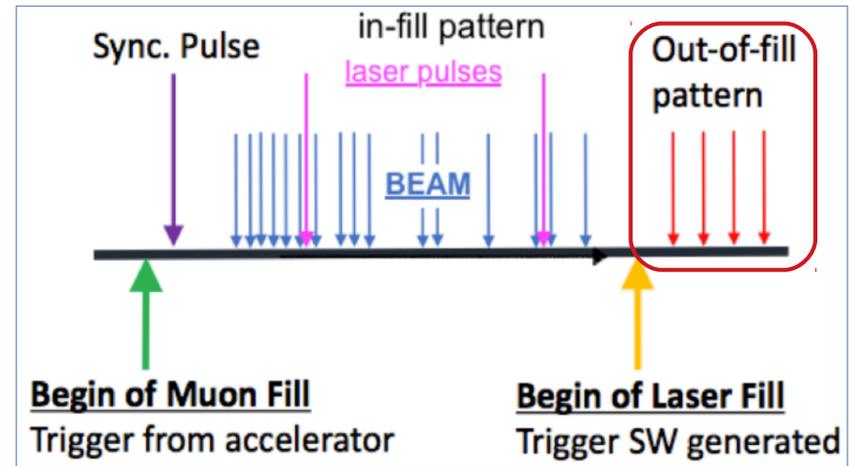


Lifetime distribution

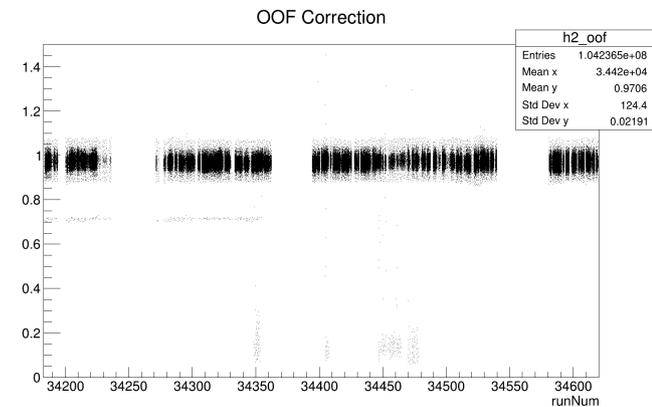


Guadagno Out-Of-Fill

- 4 impulsi laser sono inviati ai SiPM per monitorare la deriva a lungo termine dovuta alla temperatura
- Stabilità notevolmente migliorata a partire dal Run3 (2019/2020)



Run2



Run3

Conclusioni

- Il sistema laser qui descritto permette di ottenere una stabilità di guadagno dei 1296 SiPM dell'ordine di 10^{-4} ad ogni scala temporale, dai nanosecondi ai mesi di acquisizione dell'esperimento.
- Questo fa sì che l'errore sistematico sulla misura di ω_a dovuto alle fluttuazioni di guadagno sia inferiore al valore nominale di 20 parti per miliardo, 6 volte più piccolo dell'errore ottenuto a E821 (BNL).
- Il Run3 acquisito lo scorso inverno e gli imminenti Run4 e Run5 vedranno una stabilità finale ancora maggiore grazie ai miglioramenti sulla stabilità della temperatura della sala sperimentale e della stanza che contiene il tavolo ottico del laser.