

# Ricerca di conversione diretta di muone in elettrone con l'esperimento Mu2e

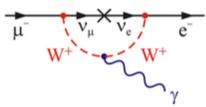


## Introduzione

L'esperimento Mu2e al Fermilab ricerca la conversione coerente di muone in elettrone nel campo elettrico di un nucleo. Si tratta di un esempio di violazione della conservazione del numero leptonic nel settore dei leptoni carichi (CLFV) mai osservato sperimentalmente. L'eventuale osservazione di un processo di CLFV rappresenta un chiaro segnale di fisica oltre il Modello Standard. L'esperimento Mu2e, in fase di costruzione, è stato progettato per migliorare di 4 ordini di grandezza l'attuale sensibilità sperimentale.

## CLFV- Charged Lepton Flavor Violation

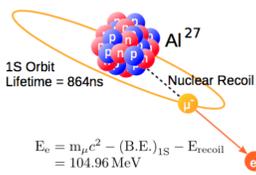
Secondo il Modello Standard (SM) fenomeni di CLFV possono emergere tramite l'oscillazione dei neutrini, ma con rate che sono trascurabili ( $\sim 10^{-54}$ ). Esistono modelli alternativi allo SM in cui tali fenomeni hanno branching ratio che sono osservabili da esperimenti di ultima generazione (MEG\_upgrade, Mu3e, Mu2e/Comet)



## Conversione coerente di muone in elettrone

La conversione di muone in elettrone nel campo di un nucleo atomico è descritta dalla cinematica di un decadimento a due corpi.

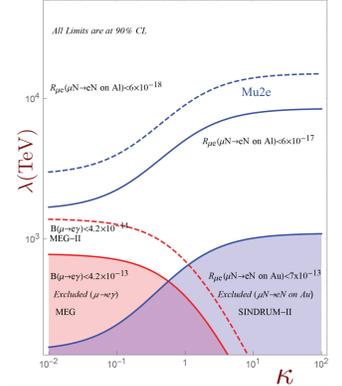
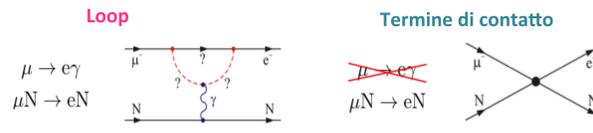
Il segnale distintivo è rappresentato da un singolo elettrone monoenergetico emesso con energia leggermente inferiore della massa a riposo del muone  $E_e \sim 104.96$  MeV. Su alluminio la vita media è  $\tau = 864$  ns.



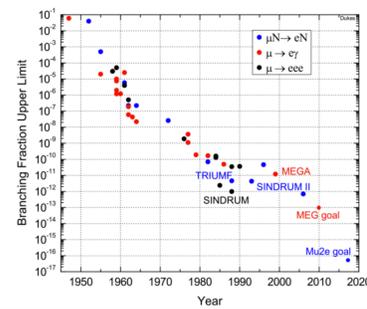
## Sensibilità alla CLFV

$$\mathcal{L}_{CLFV} = \frac{m_\mu}{(1+\kappa)\Lambda^2} \bar{\mu}_R \sigma_{\mu\nu} e_L F^{\mu\nu} + \frac{\kappa}{(1+k)\Lambda^2} \bar{\mu}_L \gamma_\mu e_L \left( \sum_{q=u,d} \bar{q}_L \gamma^\mu q_L \right)$$

A differenza di altri esperimenti Mu2e è in grado di osservare processi descritti sia da termini di loop sia da termini di contatto. In caso di osservazione di un segnale, il paragone con gli altri esperimenti CLFV aiuterebbe a selezionare tra diversi modelli di fisica oltre il modello standard.



## Obiettivi dell'esperimento e sensibilità sperimentale



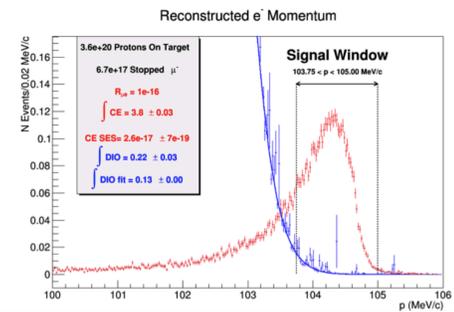
Mu2e si propone di raggiungere un rate di conversione  $R_{\mu e} < 6 \times 10^{-17}$  (@ 90 C.L.) valutato come il rapporto tra il rate di conversione di muone in elettrone e quello di cattura muonica:

$$R_{\mu e} = \frac{N(\mu^- + N(Z, A) \rightarrow e^- + N(Z, A))}{\mu^- + N(Z, A) \rightarrow \nu_\mu + N(Z-1, A)}$$

Questo limite corrisponde ad una Single Event Sensitivity (SES) di  $2.77 \times 10^{-17}$ .

Per discriminare gli **elettroni di conversione (CE)** da un **elettrone proveniente dal decadimento in orbita (DIO)** di un muone è necessaria un'eccellente risoluzione in momento (150 KeV/c).

La simulazione completa mostra lo spettro in momento ricostruito per gli eventi di DIO e CE permettendo di ottimizzare la regione di selezione del segnale che risulta estendersi da 103.5 MeV/c fino a 104.7 MeV/c



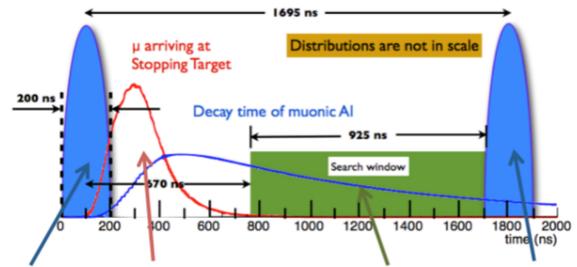
## Il fascio di muoni del Muon Campus



L'acceleratore del Fermilab trasporterà con il Delivery Ring un fascio di protoni da 8 GeV sul nostro bersaglio di produzione per un totale di  $10^{20}$  POT in 3 anni di presa dati.

Per ridurre il contributo dei fondi di tipo **prompt** (cattura pionica e muonica radiativa) il fascio verrà prodotto in maniera impulsata con pacchetti separati da  $\sim 1.7 \mu s$ . L'acquisizione dell'esperimento inizierà  $\sim 700$  ns dopo l'arrivo del fascio per permettere di estinguere i segnali veloci mantenendo un'alta accettazione per i CE ( $\tau = 864$  ns).

Per evitare segnali spuri da protoni prodotti fuori tempo si richiede un'estinzione di  $10^{10}$  per tutte le particelle fuori dal pacchetto.



## Setup sperimentale

L'apparato sperimentale è organizzato in tre magneti solenoidali superconduttori:

### PS - solenoide di produzione:

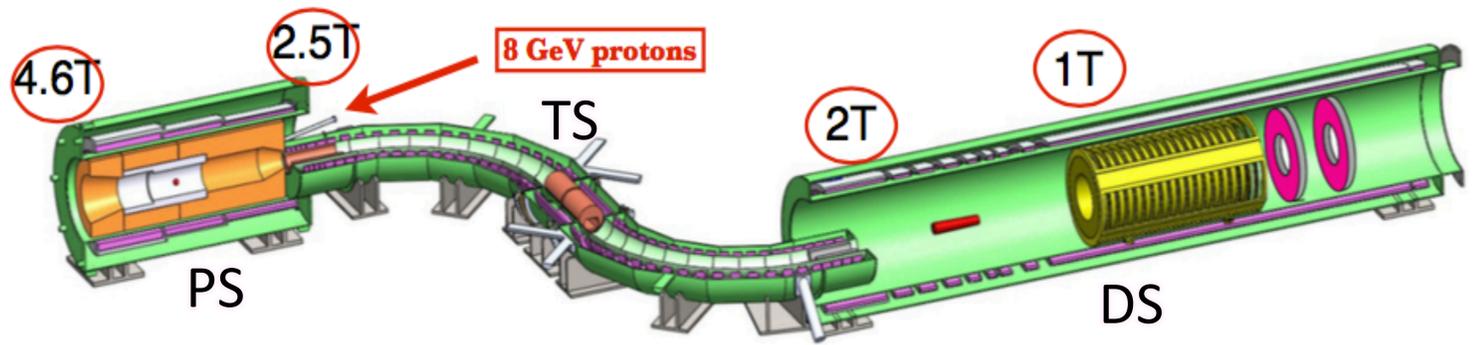
Il fascio di protoni da 8 GeV incide su un bersaglio di tungsteno emettendo prevalentemente pioni. Il campo a gradiente assicura che le particelle cariche si dirigano verso il secondo solenoide.

### TS - solenoide di trasporto:

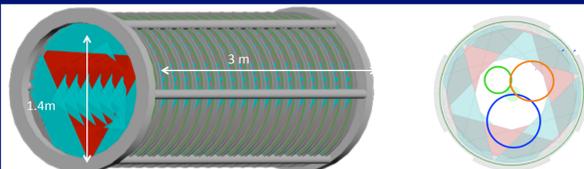
Caratterizzato dalla forma ad S che permette di eliminare il trasporto di particelle neutre. In questo tratto dell'esperimento i pioni decadono prevalentemente in muoni. La presenza di collimatori garantisce una selezione di muoni negativi di bassa energia.

### DS - solenoide di rivelazione:

Vi si trova un bersaglio, costituito da 17 fogli di alluminio, su cui incide il fascio di basse energia ( $p < 100$  MeV/c) di muoni negativi ad altissima intensità 10 GHz. In questa regione sono presenti i rivelatori che permettono l'osservazione degli elettroni di conversione: un tracciatore, che ne misura l'impulso, e un calorimetro elettromagnetico, che ne misura il tempo e l'energia. L'intera regione è circondata da un sistema di veto per raggi cosmici.



## Il tracciatore



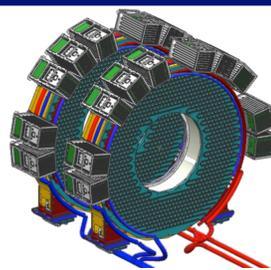
Il tracciatore è composto da  $\sim 20000$  straw drift tubes organizzati in 18 stazioni ruotate l'una rispetto all'altra di  $60^\circ$ . Permette di studiare la curvatura delle tracce ricostruendo così l'impulso delle particelle cariche. I fori centrali garantiscono che soltanto particelle con impulso  $> 95$  MeV possano essere ricostruite. Per ottenere la risoluzione in momento necessaria (150 keV/c) lo spessore degli straws è di soli 15  $\mu m$ .

## Il calorimetro elettromagnetico

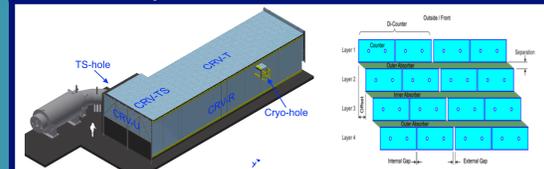
Il calorimetro elettromagnetico è costituito da due dischi, ognuno composto di  $\sim 700$  cristalli di ioduro di cesio puro (CsI) letti da due fotomoltiplicatori al silicio (SiPM).

La distanza tra i due dischi corrisponde a mezza lunghezza d'onda degli elettroni di conversione per ottimizzare la loro probabilità di osservazione.

Il calorimetro, ricostruendo l'energia e il tempo, è fondamentale per l'identificazione delle particelle e coopera con il tracciatore nella ricostruzione delle tracce. Garantisce una risoluzione energetica (temporale) di  $\sim 5\%$  ( $< 500$  ps) a 100 MeV



## Cosmic Ray Veto



I muoni provenienti da raggi cosmici rappresentano una dei fondi principali per Mu2e in quanto possono simulare segnali tipo elettroni da 105 MeV interagendo con l'apparato o decadendo in volo. La parte finale del TS e l'intero DS sono circondati dal sistema di veto costituito da strati di scintillatori plastici e assorbitori in alluminio con efficienza  $\epsilon = 99.99\%$

## Attività presso Laboratori Nazionali di Frascati

Nel 2015 è iniziata la fase di costruzione dell'esperimento Mu2e. Anche i rivelatori hanno completato la fase di pre-produzione e, da qualche mese, è iniziata quella di produzione. Al gruppo Italiano/INFN è stata affidata la progettazione del calorimetro a cristalli. La ricerca e sviluppo di questo rivelatore sono stati guidati dal gruppo dei LNF, dove sono state testate diverse opzioni di cristalli e fotosensori prima di arrivare all'attuale disegno. Attualmente si sta svolgendo presso il Fermilab la fase di controllo qualità di ogni singolo componente del calorimetro. L'obiettivo è quello di completare l'installazione del rivelatore nella sala sperimentale di Mu2e nell'estate del 2020. Si aspetta di prendere dati con il fascio di muoni in maniera continuativa per almeno 3 anni a partire dal 2021.

