

L'esperimento Mu2e

Istituto Nazionale

di Fisica Nucleare

Raffaella Donghia in collaborazione con l'esperimento Mu2e

Introduzione

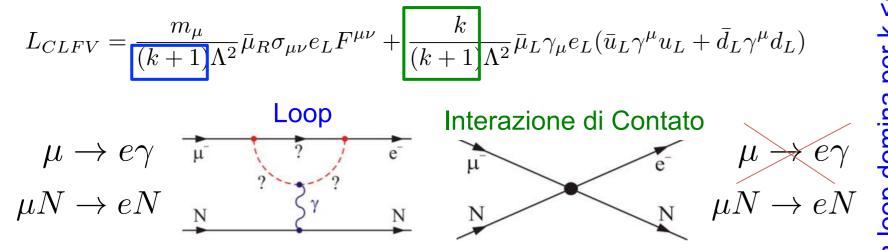
L'esperimento Mu2e (Fermilab) vuole studiare il processo di conversione coerente di muone in elettrone nel campo coulombiano di un nucleo di alluminio. L'obiettivo di Mu2e è quello di porre un limite dell'ordine di 10⁻¹⁷ sulla sensibilità di tale processo, valore migliore di 4 ordini di grandezza rispetto a quello noto oggi, fornito dai risultati dell'esperimento SINDRUM II. Inoltre, tale esperimento rappresenta un'opportunità unica per lo studio della fisica oltre il Modello Standard fino a una scala di energia di circa 10⁴ TeV

Charged Lepton Flavor Violation

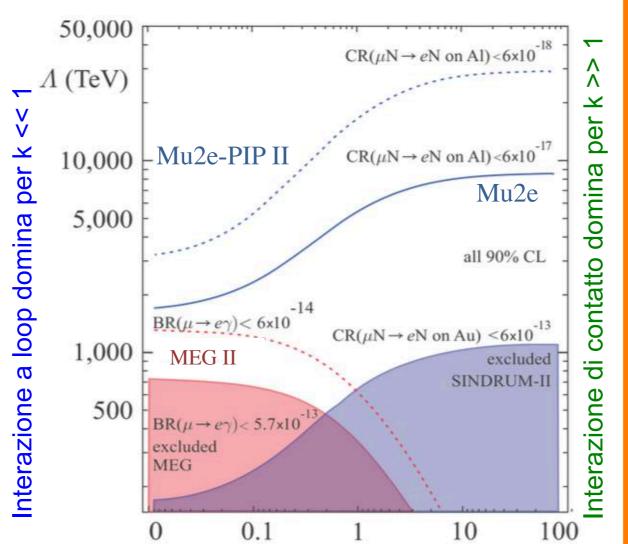
Nel Modello Standard (MS), la violazione del numero sapore dei leptoni carichi (CLFV) può avvenire tramite oscillazione di neutrini. Data la piccola massa di tali particelle, la probabilità prevista dal MS per processi CLFV è minore di 10⁻⁵⁴, impossibile da osservare sperimentalmente (ad oggi). Tuttavia, diversi modelli di Nuova Fisica oltre il MS (NF) prevedono che processi CLFV possano avvenire con probabilità maggiori, osservabili sperimentalmente. Per cui, la rivelazione di un segnale CLFV rappresenterebbe una chiara evidenza di NF.

Settore Muonico

Due tipi di interazione contribuiscono alla Lagrangiana efficace che descrive la CLFV nel settore muonico:



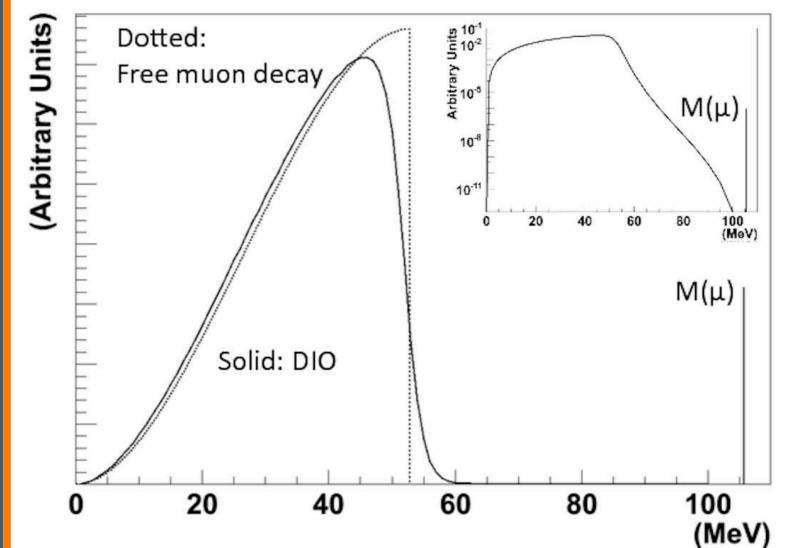
l processi μN → eN e μ → eγ hanno una sensibilità complementare alla NF. È importante, quindi, studiare sperimentalmente entrambi per poter selezionare tra i modelli di fisica sottostanti.



Conversione di Muone in Elettrone

Il processo di conversione di muone in elettrone è un processo coerente che avviene necessariamente nel campo di un nucleo (stato iniziale: atomo muonico) dove nello stato finale viene emesso un elettrone monoenergetico.

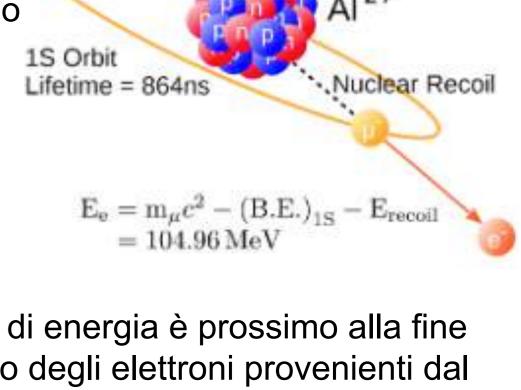
La segnatura sperimentale di questo processo è, quindi, un singolo elettrone con energia pari a ~ 104.96 MeV, ovvero la massa del muone a riposo corretta con l'energia di rinculo del nucleo e con l'energia di legame dell'alluminio.



Tale valore di energia è prossimo alla fine dello spettro degli elettroni provenienti dal decadimento in orbita di muoni (DIO), che rappresenta il principale fondo dell'esperimento.

Perciò, è necessario costruire un apparato sperimentale con un'ottima risoluzione in impulso

(~ 100 keV/c) per poter distinguere le due distribuzioni



Apparato Sperimentale

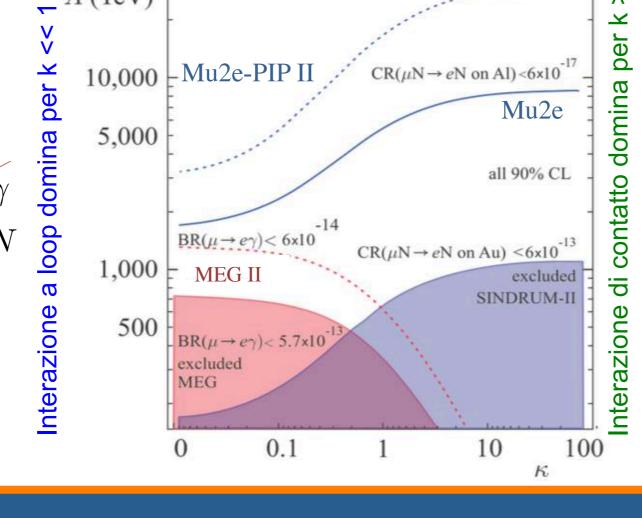
L'apparato sperimentale è costituito da tre magneti superconduttori solenoidali:

Solenoide di Produzione (PS) Nel PS arriva un fascio di protoni che urtano un bersaglio di tungsteno, dove interagendo producono principalmente pioni i quali decadono per lo più in

muoni. Il campo a gradiente riflette le particelle cariche verso il secondo solenoide



Il TS seleziona particelle a basso impulso e carica negativa (tramite il collimatore centrale). La particolare forma a "S" permette di eliminare il fondo indotto da particelle neutre. Un assorbitore di protoni nella parte centrale permette, inoltre, di ridurre il fondo dovuto ai protoni che non hanno interagito nel primo bersaglio.

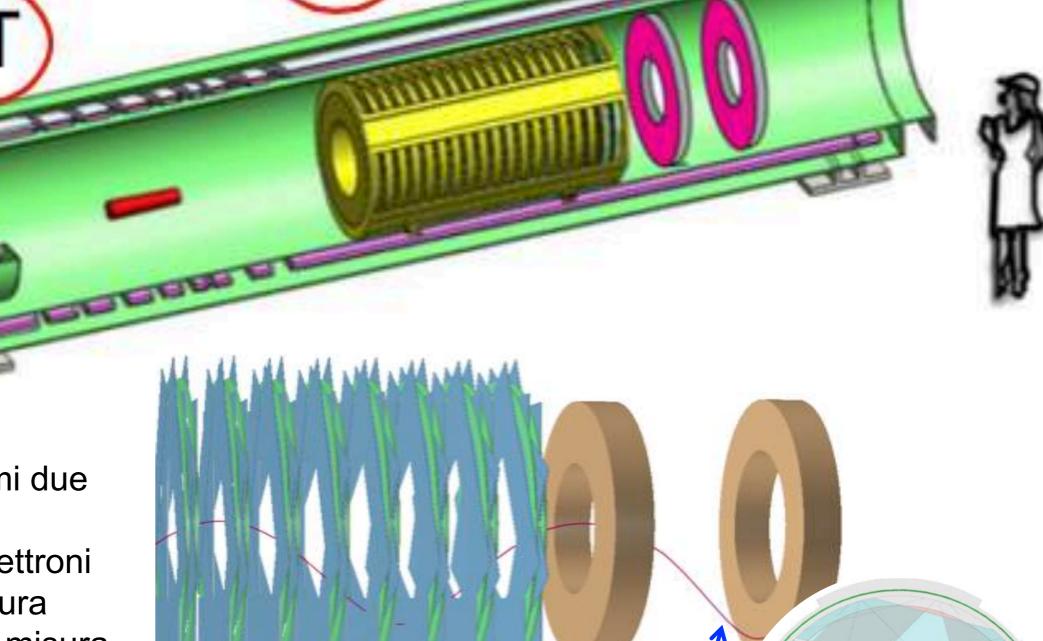


Solenoide di Rivelazione (DS)

Il fascio di muoni negativi a basso impulso (E_{cinetica} ~ 7 MeV), formatosi nei primi due solenoidi, entra, in ultimo, nel DS dove urta un bersaglio di alluminio. Il DS ospita, inoltre, gli strumenti necessari per la rivelazione e l'analisi degli elettroni da conversione provenienti dal bersaglio: uno spettrometro magnetico che misura l'impulso delle particelle (tracciatore) e un calorimetro elettromagnetico che ne misura energia e tempo,

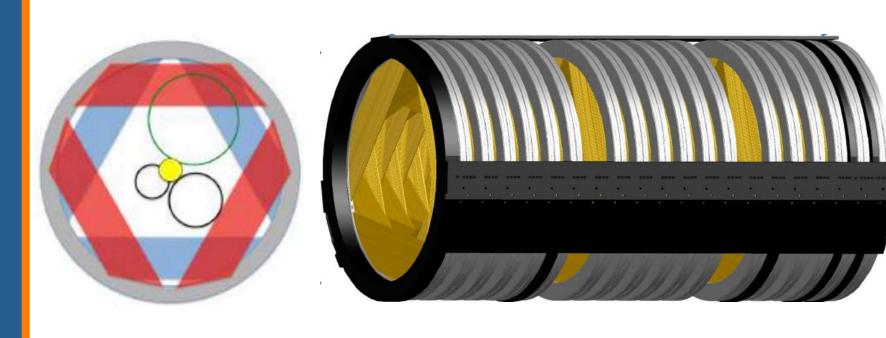
8 GeV protons

Entrambi i rivelatori hanno un'accettanza ottimizzata per rivelare particelle con energia prossima a quella degli elettroni da conversione (traccia blu), circa 105 MeV. Particelle con energia inferiore a ~ 56 MeV passano all'interno del buco dei rivelatori, senza interagire (traccia verde).





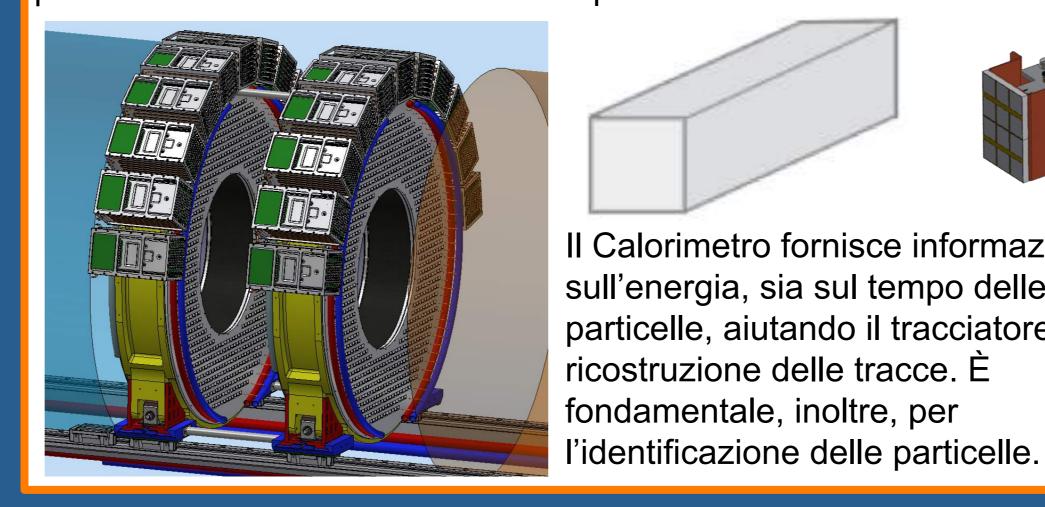
Tracker

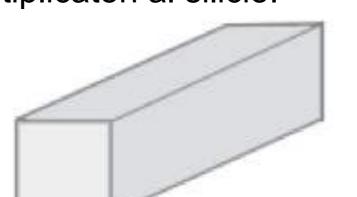


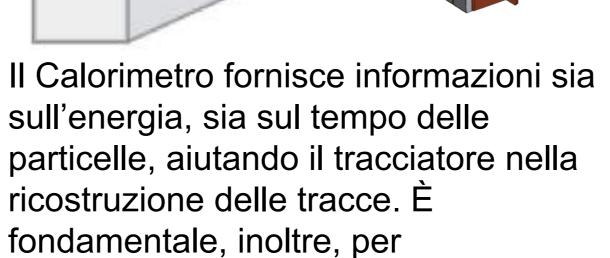
Il tracciatore consiste in un array di circa 20000 straw drift tube, suddivise in 18 stazioni di tracciamento ruotate tra loro di 60° e dedite alla misura della curvatura della traiettoria (e quindi l'impulso) delle particelle cariche che passano nel campo magnetico da 1 T del Detector Solenoid.

Calorimetro

Il calorimetro dell'esperimento Mu2e è un calorimetro a cristalli ad alta granularità con una risoluzione energetica di ~ 5% (@ 100 MeV). È costituito da due dischi in cui sono suddivisi 1700 cristalli di Ioduro di Cesio puro ciascuno letto da due Fotomoltiplicatori al silicio.



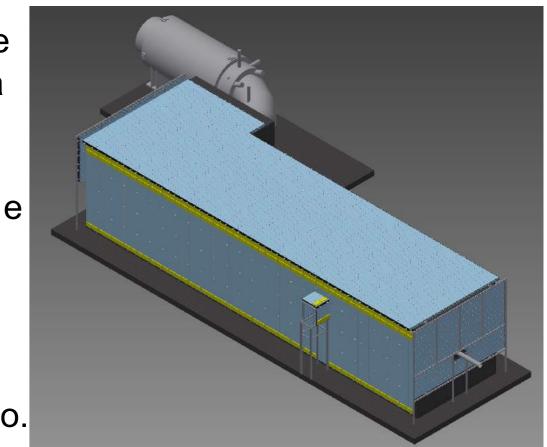






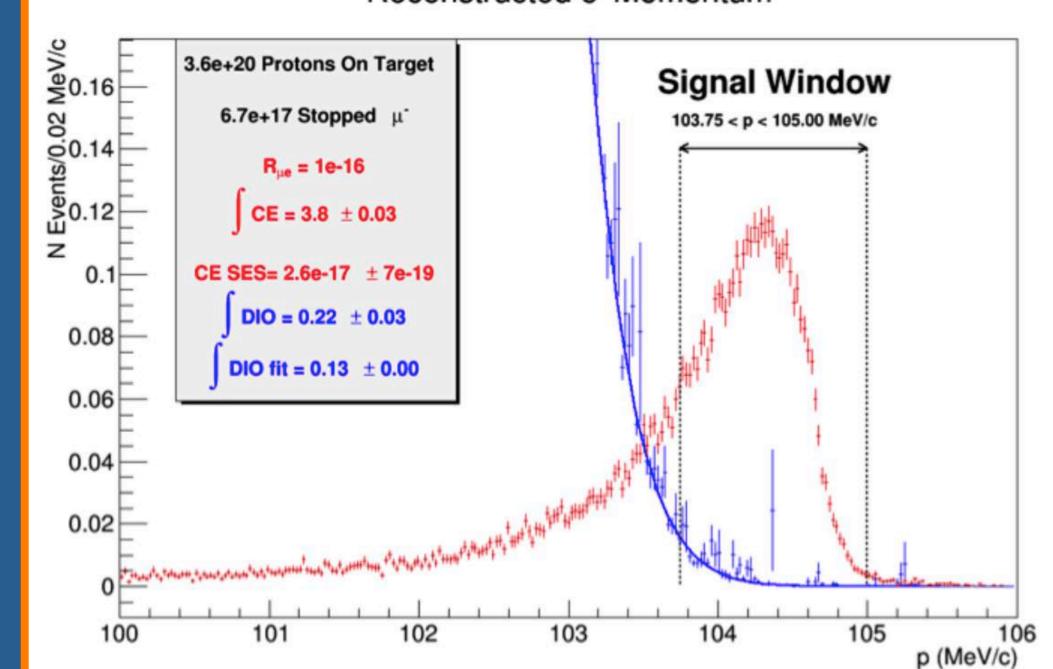
Muoni provenienti da raggi cosmici sono un altro potenziale fondo per l'esperimento: circa un evento al giorno può essere scambiato per un elettrone da conversione emesso dal bersaglio di alluminio.

Per eliminare questi segnali e raggiungere la sensibilità richiesta dall'esperimento, un veto attivo circonda la parte finale del TS e l'intero DS. Questo è costituito da strati di rivelatori plastici a scintillazione e assorbitori di alluminio.



Simulazioni e prospettive per le ricerche di CLFV

Reconstructed e Momentum



In tre anni di presa dati, l'esperimento Mu2e collezionerà ~ 6.7 x 10¹⁷ muoni stoppati sul bersaglio di alluminio. La figura a sinistra mostra lo spettro in impulso dei DIO (blu) e degli elettroni da conversione di muone (rosso), assumendo una probabilità sul processo di conversione $R_{ue} = 10^{-16}$

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

Nel caso in cui tale segnale venisse osservato, sarà utile cambiare materiale del bersaglio dei muoni per discriminare i vari modelli teorici di NF. Qualora non venisse osservato, l'esperimento Mu2e porrà un limite su R_{ue} pari a 6 x 10⁻¹⁷ (al 90% C.L.), migliorando di 4 ordini di grandezza il valore noto oggi.

