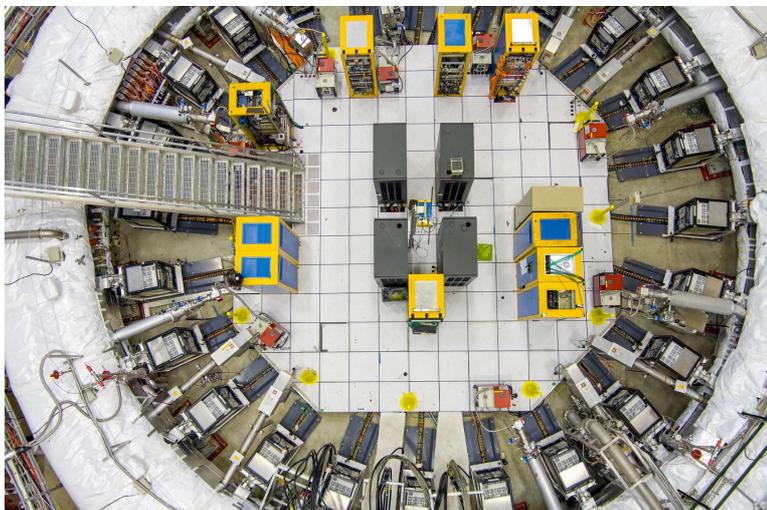


## MUON g-2 RADDOPPIA LA PRECISIONE E SI PREPARA AL CONFRONTO FINALE CON LA TEORIA



Una nuova e ancora più precisa misura di una particolare proprietà magnetica del muone, il cosiddetto *momento magnetico anomalo*, è stata presentata oggi, 10 agosto, nel corso di un seminario, dalla Collaborazione scientifica dell'esperimento Muon g-2 del Fermi National Accelerator Laboratory (FermiLab) di Batavia, vicino Chicago, Stati Uniti. La nuova misura di g, la più precisa ad oggi realizzata, rafforza e migliora di un fattore due la misura pubblicata nell'aprile 2021 dalla stessa Collaborazione, e pone in modo sempre più stringente previsioni

teoriche e misure sperimentali davanti alla resa dei conti. Il lavoro viene presentato in dettaglio in un articolo sottomesso per la pubblicazione a *Physical Review Letters* dalla Collaborazione Muon g-2, di cui l'INFN è uno dei principali membri fin dagli inizi.

Il nuovo risultato sperimentale di Muon g-2, basato sui dati raccolti nei primi tre anni di attività sperimentale, è  $g-2 = 0,00233184110 \pm 0,00000000043$  (incertezza statistica)  $\pm 0,00000000019$  (incertezza sistematica), che corrisponde a una precisione di 0,20 parti per milione.

"Con questo aggiornamento della nostra misura stiamo davvero sondando un nuovo territorio e stiamo determinando il momento magnetico del muone con una precisione migliore di quanto non sia mai stato realizzato prima", sottolinea **Graziano Venanzoni**, professore all'Università di Liverpool e ricercatore associato all'INFN, co-coordinatore internazionale della Collaborazione Muon g-2. "Questa misura – prosegue Venanzoni – ci porta oltre le precedenti sensibilità e conferma la tensione con la previsione teorica del 2020". "Nei prossimi anni la Collaborazione Muon g-2 lavorerà per integrare nell'analisi tutti i dati raccolti nei sei anni di attività dell'esperimento, il valore che otterremo dovrà allora essere confrontato con il valore previsto dalla teoria, che è anch'esso in via di perfezionamento".

La nuova misura sperimentale di g-2 è stata migliorata non solo grazie a un insieme di dati più ampio (sono stati considerati due anni di dati in più rispetto al risultato del 2021), ma anche dagli aggiornamenti tecnici apportati all'esperimento. "Abbiamo migliorato molti dettagli sperimentali tra il primo anno di acquisizione dati e il secondo e terzo anno – spiega **Marco Incagli**, ricercatore responsabile nazionale per l'INFN di Muon g-2 – e abbiamo così raggiunto l'obiettivo di ridurre l'incertezza causata da eventuali imperfezioni sperimentali, ossia quella nota come incertezza sistematica".

La presa dati si è conclusa il 9 luglio 2023, quando la collaborazione ha spento il fascio di muoni che alimentava l'esperimento, concludendo così l'attività scientifica di Muon g-2 dopo sei anni di raccolta dati, e dopo aver

raggiunto l'obiettivo di raccogliere un insieme di dati di oltre 21 volte maggiore rispetto a quello raccolto dal precedente esperimento condotto nel laboratorio di Brookhaven. Ma, mentre l'incertezza sistematica totale ha già superato l'obiettivo di progettazione, l'aspetto più ampio che contribuisce all'incertezza, ossia l'incertezza statistica (determinata dalla quantità di dati analizzati), sarà migliorata solo una volta incorporati nell'analisi tutti i dati prodotti e raccolti nei sei anni di attività, un obiettivo che la Collaborazione Muon g-2 mira a completare nei prossimi due anni.

## PER APPROFONDIRE

**Tra previsione teorica e dati sperimentali.** Il funzionamento dell'universo al suo livello più fondamentale è descritto da una teoria nota come Modello Standard delle particelle elementari: facendo previsioni basate su questa teoria e confrontandole con i risultati sperimentali, è possibile verificare la sua completezza o se vi siano margini per scoprire una nuova fisica oltre il Modello Standard. I muoni, particelle elementari previste dal Modello Standard, simili agli elettroni ma circa 200 volte più massicce, hanno, come gli stessi elettroni, un minuscolo magnete interno che, in presenza di un campo magnetico, precede od oscilla come l'asse di una trottola. La velocità di precessione, in un dato campo magnetico, dipende proprio dal valore del momento magnetico  $g$ . La teoria del Modello Standard prevede con grande precisione il valore di  $g$ , che dovrebbe essere leggermente diverso da 2.

Il nuovo risultato di Muon g-2 si conferma in tensione con la previsione teorica che era stata presentata nel 2020 dalla *Muon g-2 Theory Initiative*, un progetto fondato per mettere assieme la comunità mondiale della fisica teorica che lavora alla determinazione dell'anomalia magnetica del muone con l'obiettivo di ricavare nell'ambito del Modello Standard un unico valore teorico condiviso che possa essere messo a confronto con il valore ricavato dai dati sperimentali. Alla luce delle nuove misure sperimentali che alimentano i calcoli delle previsioni teoriche, e di un nuovo calcolo basato su un diverso approccio teorico – la teoria di gauge su reticolo – gli scienziati della Muon g-2 Theory Initiative stanno lavorando per affinare la loro previsione, con l'obiettivo di fornirne, entro i prossimi due anni, una migliorata, che tenga conto anche di entrambi gli approcci teorici.

La differenza di  $g$  da 2 (ossia  $g-2$ ) può essere attribuita alle interazioni del muone con le particelle in una "schiuma" quantistica che lo circonda. Queste particelle "fluttuano" in continuazione tra lo stato di esistenza e non esistenza, cambiando così il modo in cui il muone interagisce con il campo magnetico. Il calcolo del valore di  $g-2$  è molto impegnativo. Il Modello Standard prevede come cambia  $g$  in questa schiuma quantistica, in considerazione di tutte le forze e le particelle note: i calcoli teorici considerano forze elettromagnetiche, nucleari deboli e nucleari forti, fotoni, elettroni, quark, gluoni, neutrini, bosoni W e Z e bosone di Higgs. Se il Modello Standard è corretto e se il calcolo di  $g-2$  sulla base del Modello Standard lo è altrettanto, allora a questa previsione deve corrispondere la misura sperimentale. Il fatto che il valore di  $g$  misurato sperimentalmente si discosti da quello previsto teoricamente potrebbe perciò essere indicazione dell'esistenza di particelle non ancora note che, appunto, contribuiscono a determinare il valore di  $g-2$ .

**Come funziona l'esperimento.** I muoni, che sono generati naturalmente nell'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre, possono essere prodotti in gran numero dall'acceleratore del Fermilab e iniettati all'interno dell'anello di accumulazione magnetico di Muon g-2, del diametro di 15 metri, dove vengono fatti circolare migliaia di volte con velocità prossima a quella della luce. Come gli elettroni, anche i muoni sono dotati di spin e possiedono un momento magnetico, ovvero producono un campo magnetico del tutto analogo a quello

di un ago di bussola. All'interno dell'anello di Muon g-2, il momento magnetico dei muoni acquista un moto di precessione attorno alla direzione del campo magnetico, analogo a quello di una trottola in rotazione. L'esperimento misura con altissima precisione la frequenza di questo moto di precessione dei muoni. Il Modello Standard prevede che per ogni particella il valore del momento magnetico sia proporzionale a un certo numero, detto 'fattore giromagnetico g', e che il suo valore sia leggermente diverso da 2, da qui il nome 'g-2' o 'anomalia giromagnetica' dato a questo tipo di misura. Il risultato di Muon g-2 evidenzia una differenza tra il valore misurato di 'g-2' per i muoni e quello previsto dal Modello Standard, la cui previsione si basa sul calcolo delle interazioni dei muoni con particelle "virtuali" che si formano e si annichilano continuamente nel vuoto che li circonda. La discrepanza tra il risultato sperimentale e il calcolo teorico potrebbe quindi essere dovuta a particelle e interazioni sconosciute di cui il Modello Standard non tiene conto.

**La Collaborazione scientifica internazionale Muon g-2.** comprende quasi 181 scienziati e scienziate provenienti da 33 istituzioni in sette paesi. L'esperimento Muon g-2 è supportato dal Department of Energy (USA), dalla National Science Foundation (USA), dall'INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Italy), dallo Science and Technology Facilities Council (UK), dalla Royal Society (UK), dal programma europeo Horizon 2020, dalla National Natural Science Foundation of China, da MSIP, NRF e IBS-R017-D1 (Repubblica della Corea) e dalla German Research Foundation (DFG).

## Video

### Il risultato del 2021 di Muon g-2

## LETTURE

### Precisamente anomalo

*La misura del momento magnetico del muone*

di Luca Trentadue

in Asimmetrie 23 Muone

### Una vita da mediano

*Storia della più elegante, eclettica e robusta tra le particelle*

di Filippo Ceradini

in Asimmetrie 23 Muone

### Un mare di antimateria

*L'equazione di Dirac, dalla meccanica quantistica al modello standard*

di Graziano Venanzoni

in Asimmetrie 19 Equazioni