

# I MUONI

Domenico De Angelis, Gaetano De Angelis, Ludovica Russo

3A/4A Liceo Scientifico Ernesto Pascal, Pompei (Na), Italia

[domenico.deangelis@liceopascalpompei.edu.it](mailto:domenico.deangelis@liceopascalpompei.edu.it)

[gaetano.deangelis@liceopascalpompei.edu.it](mailto:gaetano.deangelis@liceopascalpompei.edu.it)

[ludovica.russo@liceopascalpompei.edu.it](mailto:ludovica.russo@liceopascalpompei.edu.it)

## INTRODUZIONE

I muoni sono particelle elementari appartenenti alla famiglia dei leptoni, proprio come gli elettroni ma con una massa di circa 200 volte maggiore, il che li rende fondamentali per studiare fenomeni fisici ad energie più elevate.

I muoni che raggiungono la Terra sono prodotti dai raggi cosmici; quando questi penetrano l'atmosfera, generano pioni, che a loro volta decadono in muoni e neutrini.

Nell'articolo parleremo della loro scoperta, degli strumenti di rivelazione e delle applicazioni inerenti alla ricerca scientifica.

## STORIA

I muoni furono scoperti da Carl David Anderson e dal suo studente Seth Neddermeyer nel 1936: mentre studiavano i raggi cosmici essi notarono che, nell'attraversare un campo magnetico, alcune particelle deviavano la propria traiettoria in maniera diversa dagli elettroni e da altre particelle note; in particolare, venivano deflesse con una curvatura minore rispetto agli elettroni, ma maggiore rispetto ai protoni. Si assunse che la carica di queste nuove particelle fosse identica a quella dell'elettrone e, per giustificare la differente deflessione, si ritenne che avessero una massa intermedia.

All'inizio fu attribuito erroneamente il nome di mesone a queste nuove particelle ma con lo studio condotto nel 1945 da Oreste Piccioni, Ettore Pancini e Marcello Conversi si dimostrò che questa nuova particella scoperta non era un mesone. I mesoni infatti non avevano alcuna interazione nucleare a differenza della nuova particella elementare scoperta, che prese quindi il nome di muone.

## CARATTERISTICHE

Il muone è una particella subatomica della famiglia dei leptoni, strettamente correlata all'elettrone ma con alcune importanti differenze:

- Il muone ha una massa a riposo di  $105,7 \text{ MeV}/c^2$ , circa 207 volte la massa dell'elettrone
- Ha una vita media estremamente breve di circa 2,2 microsecondi (nel proprio sistema di riferimento).
- È dotato di una carica elettrica negativa (esiste anche la sua antiparticella, il muone positivo).

I muoni si formano in natura principalmente durante la collisione dei raggi cosmici (particelle altamente energetiche provenienti dallo spazio). Quando i Raggi Cosmici entrano nell'atmosfera terrestre, collidono con i nuclei di cui essa è composta. In queste collisioni viene prodotto un gran numero di particelle che a loro volta interagiscono o decadono creandone delle altre. Il risultato è quello che viene chiamato "shower", ossia una specie di doccia di particelle. Molte di esse, soprattutto elettroni, muoni, fotoni e neutrini, arrivano fino alla superficie terrestre e vengono chiamate Raggi Cosmici secondari per distinguerli da quelli primari che hanno colpito l'atmosfera.

## PROPRIETA' E COMPORTAMENTO DEI MUONI

- I. **Decadimento:** Il muone è una particella instabile che, nel corso del suo breve tempo di vita, si trasforma in un elettrone (o positrone nel caso dell'antimuone) e in due neutrini attraverso il processo di decadimento debole.
- II. **Interazione con la materia:** I muoni sono particelle penetranti, il che significa che riescono a attraversare grandi quantità di materia rispetto ad altre particelle subatomiche. Questa caratteristica li rende utili in vari campi, come la radiografia muonica per studiare strutture interne di oggetti massicci (ad esempio le piramidi o i vulcani).
- III. **Dilatazione temporale:** Come menzionato in precedenza, i muoni sperimentano una dilatazione del tempo quando viaggiano a velocità relativistiche. Questo

effetto, previsto dalla teoria della relatività ristretta, consente loro di essere rilevati sulla superficie terrestre, nonostante la loro breve vita media.

## **IMPORTANZA SPERIMENTALE E TECNOLOGICA**

I muoni non sono solo una curiosità teorica; hanno un impatto reale sulla scienza e sulla tecnologia:

**-Conferma della relatività:** Gli esperimenti sui muoni in movimento hanno fornito prove dirette della dilatazione temporale e della contrazione delle lunghezze, due principi fondamentali della relatività ristretta.

Pur essendo instabili e dotati di una breve vita media di appena 2,2 microsecondi, i muoni hanno permesso di testare in maniera pratica alcune delle teorie più fondamentali della fisica, in particolare quelle legate alla relatività ristretta di Einstein. Una delle manifestazioni più straordinarie della relatività del tempo si osserva proprio nei muoni. Dopo la loro generazione, i muoni viaggiano verso la superficie terrestre a velocità straordinarie, vicine a quella della luce.

Data la loro breve vita media, ci si aspetterebbe che molti dei muoni decadano prima di raggiungere il suolo terrestre. Tuttavia, grazie alla relatività del tempo, si osserva qualcosa di straordinario: dal punto di vista dei muoni in movimento, il tempo scorre più lentamente rispetto a quello di un osservatore terrestre. Questo fenomeno, noto come dilatazione temporale, permette ai muoni di "vivere più a lungo" nel loro sistema di riferimento e di percorrere la distanza fino alla superficie terrestre.

In laboratorio, esperimenti sui muoni hanno confermato in modo diretto la dilatazione temporale, dimostrando che le leggi della fisica, come quelle descritte dalla teoria della relatività, non sono semplici astrazioni ma regole fondamentali che governano l'universo. Questi studi hanno anche contribuito alla comprensione di fenomeni cosmici e sono stati essenziali per lo sviluppo di tecnologie avanzate, come quelle utilizzate nell'accelerazione delle particelle.

**-Radiografia muonica:** I muoni vengono utilizzati per esplorare strutture interne di grandi dimensioni. Ad esempio, nel 2017 sono stati utilizzati per scoprire una cavità sconosciuta nella Grande Piramide di Giza.

**-Acceleratori di particelle:** Nei grandi acceleratori, i muoni sono studiati per comprendere meglio le interazioni fondamentali della materia e le forze che governano l'universo

## RIVELAZIONE DEI MUONI

- ❖ **Rivelatori a scintillazione:** Quando un muone attraversa un materiale scintillatore, genera un lampo di luce. Questo segnale luminoso viene poi raccolto e amplificato da fotomoltiplicatori, permettendo di identificare il passaggio del muone.
- ❖ **Rivelatori proporzionali a gas:** Questo metodo sfrutta camere piene di gas, in cui un muone ionizza gli atomi del gas lungo il suo percorso. Gli elettroni prodotti vengono raccolti e analizzati per ricostruire la traiettoria del muone.
- ❖ **Camere a nebbia o bolle:** In questi rivelatori, i muoni lasciano una traccia visibile mentre attraversano un fluido sovrassaturato o una camera sensibile. Questi metodi storici sono stati fondamentali per le prime scoperte dei raggi cosmici.
- ❖ **Tecnologie a silicio:** Usate in esperimenti moderni, queste utilizzano sensori semiconduttori che registrano la presenza di particelle come i muoni con precisione estrema.
- ❖ **Tecniche di muografia:** Questa applicazione si basa sul rilevamento dei muoni per creare immagini di strutture interne di oggetti grandi e densi, come vulcani, piramidi o edifici, sfruttando il fatto che i muoni possono penetrare materiali molto densi.

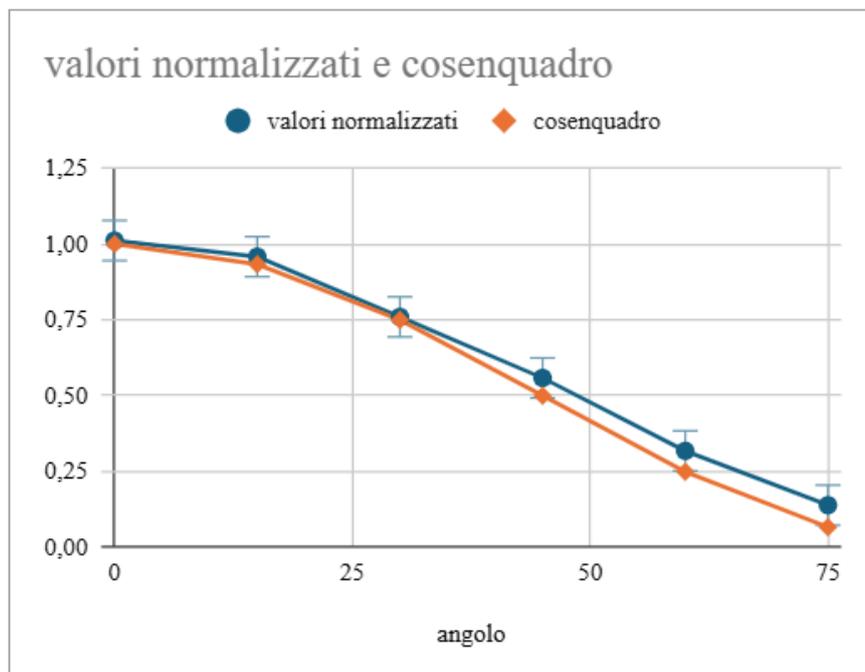
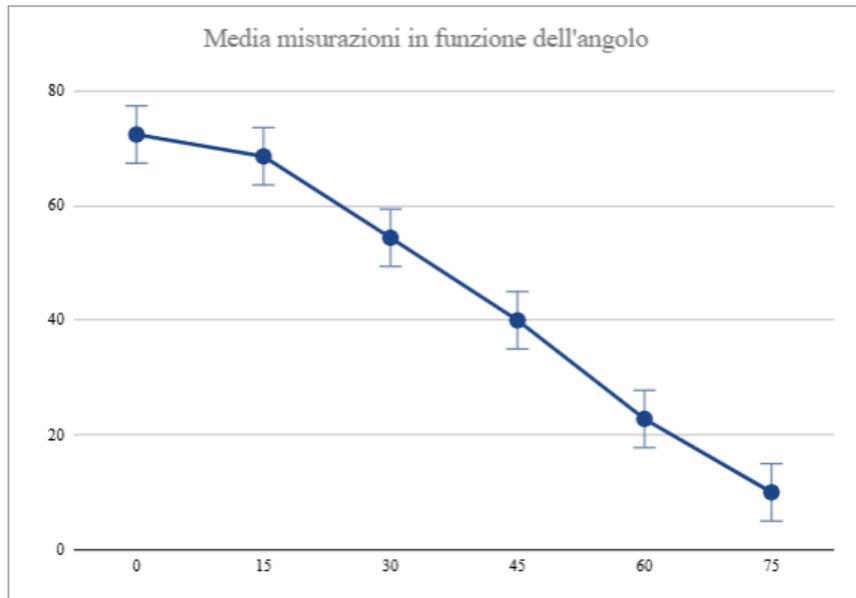
### Misurazioni e confronto con l'andamento teorico del $\cos^2(x)$

Nel grafico seguente sono riportate le misurazioni raccolte tramite l'applicazione "Cosmicrayslive", la quale ci ha permesso il collegamento con il rivelatore a scintillazione dell'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* con sede, tra le altre, a Napoli. Il suddetto rivelatore è stato ruotato quotidianamente di  $15^\circ$  fino ad arrivare, l'ultimo giorno, ad un'inclinazione di  $75^\circ$ .

Abbiamo potuto osservare che il numero di muoni rilevati dal telescopio diminuiva al crescere dell'angolo di angolazione.

La traiettoria più breve possibile dall'atmosfera alla Terra è in linea retta, motivo per cui abbiamo registrato il maggior numero di muoni quando l'inclinazione era pari a 0°. D'altra parte, con il crescere dell'angolo, il numero di muoni in grado di arrivare sulla Terra prima di decadere, vista la svantaggiosa traiettoria che sono costretti a percorrere, diminuisce significativamente.

Infine abbiamo normalizzato i dati raccolti e li abbiamo paragonati alla funzione matematica del  $\cos^2(x)$ .



## **BIBLIOGRAFIA**

[https://www.lngs.infn.it/it/raggi-](https://www.lngs.infn.it/it/raggi-cosmici#:~:text=Quando%20i%20Raggi%20Cosmici%20entrano,o%20decadono%20creandone%20delle%20altre.)

[cosmici#:~:text=Quando%20i%20Raggi%20Cosmici%20entrano,o%20decadono%20creandone%20delle%20altre.](https://www.lngs.infn.it/it/raggi-cosmici#:~:text=Quando%20i%20Raggi%20Cosmici%20entrano,o%20decadono%20creandone%20delle%20altre.)