

BRICKS | TEMA

La radiografia muonica: un webinar per avvicinare i giovani alla ricerca in Fisica

a cura di:
Mariaelena D'Errico

radiografia, raggiosmici, vulcani

Introduzione

La *radiografia muonica* è una tecnica relativamente recente applicata allo studio della struttura interna di oggetti di grandi dimensioni. Questa metodologia è un'applicazione figlia della geofisica e della fisica delle particelle. Il suo funzionamento è concettualmente molto simile a quello della comune radiografia a raggi X, cioè "guardare" all'interno di un oggetto sfruttando il diverso grado di assorbimento di particelle (fotoni nel caso della radiografia X) da parte delle diverse sostanze presenti nell'oggetto investigato. Ad esempio, nella radiografia a raggi X in ambito medico, i tessuti molli, a minore densità, possono essere distinti dalle ossa, che hanno più elevata densità, dalla frazione di raggi X che ne emerge; infatti minore la densità della sostanza maggiore la probabilità che la luce ne emerga, impressionando maggiormente la lastra fotografica. Nel caso della radiografia muonica, o *muografia*, il ruolo dei fotoni è svolto da muoni cosmici, ossia particelle elementari molto simili agli elettroni ma di massa 200 volte maggiore, che si trovano naturalmente nella nostra atmosfera in quelli che vengono chiamati *raggi cosmici*.

I raggi cosmici

I vari processi cosmologici dentro e fuori la nostra galassia producono particelle subatomiche capaci di viaggiare nello spazio e raggiungere l'atmosfera terrestre. La maggior parte delle particelle che entrano nella nostra atmosfera sono protoni, particelle di carica positiva presenti nel nucleo dell'atomo. Attraversando l'atmosfera, questi incontrano gli atomi che la compongono, generando delle interazioni che inducono la formazione di nuove particelle, che a loro volta interagiscono e decadono producendo altre particelle. Le particelle così prodotte costituiscono nel loro insieme uno *sciame di particelle* (Fig. 1).

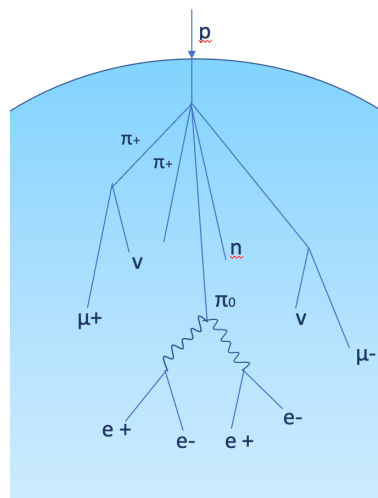


Figura 1 - Rappresentazione dei raggi cosmici

Il flusso di queste particelle è stato ed è ancora oggetto di studio; la dinamica delle interazioni e quindi l'abbondanza di particelle che giunge sulla terra sono al giorno d'oggi ben comprese. Le particelle che riescono a raggiungere il suolo sono in grande maggioranza muoni, che hanno una bassa probabilità di interazione e quindi riescono a sopravvivere ai 15 km di atmosfera che sovrastano la terra.

Il flusso di muoni è grossomodo costante nel tempo, salvo alcune modulazioni dovuti ad effetti geomagnetici e ai cicli solari.

La radiografia muonica

I muoni che giungono continuamente sulla terra, in particolare quelli che vi arrivano con maggiore energia, possono essere sfruttati per investigare la struttura interna di oggetti di grandi dimensioni o per investigare il sottosuolo, in diversi e variegati settori di applicazione come ad esempio vulcanologia, archeologia, ingegneria e comparto industriale.

Il principio della muografia è quello di misurare il flusso di muoni che attraversano l'oggetto di indagine senza essere assorbiti, attraverso rivelatori di particelle, solitamente realizzati ad hoc, in grado di rilevare il passaggio di un muone e ricostruirne la direzione di provenienza. I muoni, quando attraversano un materiale più o meno denso, interagiscono con gli atomi che lo compongono, perdendo in ogni interazione parte della propria energia. La probabilità che un muone raggiunga il rivelatore dopo aver attraversato l'oggetto di indagine è quindi dipendente sia dalle dimensioni dell'oggetto stesso e quindi da quanta "strada" la particella deve percorrere nella materia, ma anche dalla sua densità, poiché più è denso l'oggetto più atomi verranno incontrati dalla particella e dunque maggiore sarà il numero di interazioni subite. Infine dal confronto tra flussi misurati e flussi attesi, ottenuti attraverso campagne di simulazione, nota la geometria del corpo in esame, permette di evidenziarne la struttura interna, comprese eventuali criticità o zone vuote, e di misurarne la distribuzione di densità.

Di seguito alcune delle principali applicazioni verranno brevemente descritte.

Applicazioni in vulcanologia

La radiografia muonica in vulcanologia si propone come metodo alternativo di misura della densità all'interno di vulcani da affiancare ai metodi classici della geofisica, come ad esempio le misure gravimetriche. L'informazione sulla struttura interna di un vulcano permette agli esperti di avere maggiore possibilità di interpretare e comprendere la dinamica delle passate eruzioni, ma anche di elaborare modelli più dettagliati della futura attività. Gli spessori di roccia incontrati dai muoni nell'attraversare un vulcano sono generalmente compresi tra poche centinaia di metri e diversi chilometri; tali ordini di grandezza aumentano il tempo di esposizione necessario ad accumulare una statistica sufficiente a fornire una misura di densità affetta da un'incertezza accettabile. Tale tempo può essere ridotto aumentando la superficie sensibile del rivelatore di muoni utilizzato.

Per realizzare la radiografia muonica su un vulcano è necessario che il telescopio per muoni sia installato su un fianco del vulcano e vengono sfruttate le particelle che hanno una direzione quasi orizzontale (vedi Fig. 2).

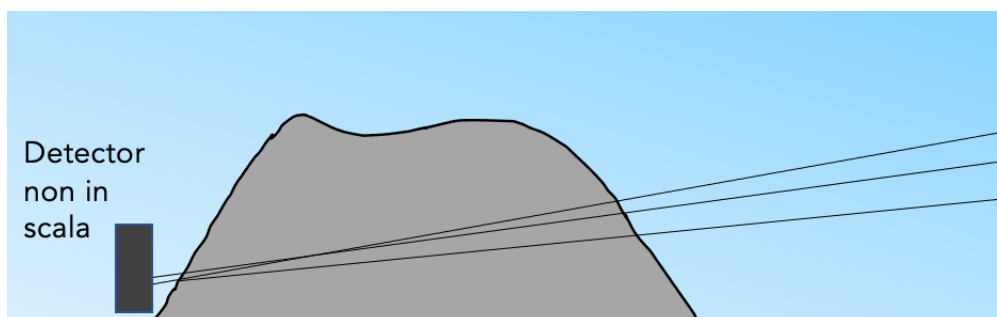


Figura 2 - Rappresentazione schematica di un esperimento di radiografia muonica di un vulcano. E' necessario sfruttare le particelle che giungono al rivelatore da direzioni quasi-orizzontali

Ad oggi, importanti risultati sono stati ottenuti dall'applicazione della muografia allo studio di diversi vulcani del mondo, come in Giappone, Francia e Italia.

Applicazioni in archeologia

La radiografia muonica si inserisce anche nel campo dell'archeologia, dove ha ottenuto diversi successi, fin dalle sue primissime applicazioni. Lo scopo principale dell'utilizzo della muografia in quest'ambito è quello di cercare cavità nascoste in oggetti di interesse culturale come piramidi o regioni del sottosuolo ricche di testimonianze del passato. Esempi notevoli di tali applicazioni coinvolgono le piramidi o il sottosuolo del Mt. Echia a Napoli.

La presenza di una cavità nascosta in una zona della regione investigata dalla radiografia muonica si manifesta come un eccesso di muoni registrati rispetto a quelli attesi in ipotesi di assenza di ogni genere di vuoto. La presenza della zona vuota infatti si traduce in una minore quantità di roccia da attraversare, e quindi, per quanto spiegato sopra, meno interazioni e meno energia spesa. Questo aumenta la probabilità di un muone di sopravvivere, e spiega l'eccesso registrato dal rivelatore. Per poter applicare tale metodo di indagine è però perentorio installare il detector al disotto della regione da investigare, poiché i raggi cosmici sono osservabili solo in direzione dall'alto verso il basso (Fig. 3).

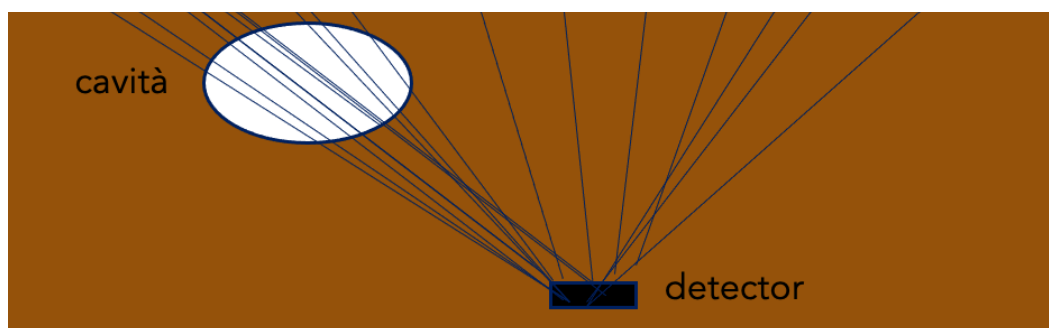


Figura 3 - Schematizzazione dell'evidenza di una cavità con la radiografia muonica. La cavità permette ad un maggior numero di particelle di raggiungere il rivelatore, manifestando la sua presenza come eccesso di muoni provenienti dalle direzioni che la intercettano

Tra i più importanti risultati ottenuti applicando la radiografia muonica in archeologia, si annovera lo studio della piramide di Cheope in Egitto, dal quale è emersa l'evidenza di una camera nascosta fino ad allora sconosciuta. Inoltre, una camera sconosciuta è stata scoperta anche nel sottosuolo del Monte Echia nel cuore della città di Napoli, già ricco di camere e cunicoli dalle radici molto antiche. Tale cavità, una volta osservata, è stata ulteriormente investigata, e ne è stato realizzato un modello muografico tridimensionale, ossia la sua geometria 3D è stata ricostruita sulla base di soli dati di muografia.

Molti altri ancora sono i settori in cui sono state applicate misure di radiografia muonica e molti ancora quelli in corso di indagine, come ad esempio l'ingegneria civile, le industrie siderurgiche, la sicurezza nucleare ad altre ancora.

NOTA: Il seminario "[La radiografia muonica: inseguendo i muoni fra vulcani, piramidi e altri segreti](#)" della Dott.ssa Mariaelena D'Errico è stato proposto alla comunità scolastica il 01 marzo 2021.



Mariaelena D'Errico

mederrico@na.infn.it

Università degli Studi di Napoli Federico II

Dottoranda all'Università degli studi di Napoli Federico II, si occupa di analisi dati in radiografia muonica. Si laurea nel 2017 con il massimo dei voti presentando una tesi svolta all'interno dell'esperimento ATLAS all'acceleratore di particelle del CERN di Ginevra. Nel 2019 vince un premio al Congresso della Società Italiana di Fisica, per aver presentato la migliore comunicazione nella sezione: Fisica applicata, acceleratori e beni culturali. Ha all'attivo diverse pubblicazioni tra cui una review generale sulla Radiografia Muonica.