

Attraverso la roccia

La tecnologia della radiografia muonica

di Luca Lista



Una delle domande tipiche che si sente rivolgere chi fa ricerca di base è: “Sì, ma a che cosa serve tutto ciò?”. Non sempre è facile rispondere, perché le applicazioni pratiche possono arrivare anche molti anni dopo una scoperta scientifica, ma il caso del muone è particolare.

Avendo proprietà identiche a quelle dei più noti elettroni, a eccezione della massa che è circa 200 volte più grande, quando attraversano la materia i muoni perdono una piccola quantità di energia (per unità di spessore di materia attraversata) e quindi riescono ad attraversare grandi spessori, prima di fermarsi una volta esaurita tutta la loro energia. Tutti noi siamo, pertanto, attraversati costantemente da una pioggia di muoni originati dagli urti di particelle di provenienza cosmica con l'atmosfera. Tra tutte le particelle prodotte in queste interazioni, ci raggiungono solo le particelle più penetranti, tra cui i neutrini e i muoni, che possono avere energie anche superiori a quelle prodotte al Lhc di Ginevra. Mentre i raggi X non riescono ad attraversare più di pochi metri di roccia, i muoni cosmici ne possono attraversare anche alcuni chilometri.

La capacità di attraversare grandi spessori di materia permette dunque di utilizzare i muoni, proprio come i raggi X, per fare vere e proprie radiografie di strutture di grandi dimensioni. Una lastra di una normale radiografia viene impressionata (quindi scurita) maggiormente, quanto più riceve radiazione X. Un colore nero sulla lastra corrisponde alle zone in cui non c'è nulla lungo il percorso del raggio, a parte l'aria. Le zone che corrispondono alle ossa appaiono invece in bianco e ai tessuti molli corrispondono sfumature di grigio. Con lo stesso principio, un rivelatore di muoni può essere posto “dietro” una struttura da radiografare rispetto ai muoni cosmici di cui il rivelatore misura con precisione la direzione da cui provengono. Il numero di muoni che arriva ogni secondo da ciascuna direzione al livello del mare è stato misurato con grande precisione, ed è in accordo con i modelli che descrivono l'interazione della radiazione cosmica con l'atmosfera. Un “deficit” di muoni in corrispondenza di una certa direzione indica che una parte dei muoni si è fermata nell'attraversare la materia. Contando quanti muoni provengono da ciascuna direzione e confrontando questi conteggi con quanto

a.

La prima applicazione della muografia fu realizzata verso la fine degli anni '60 nella piramide di Chephren, nella piana di Giza (nei pressi del Cairo), per capire se al suo interno esistessero altre camere ancora da scoprire.

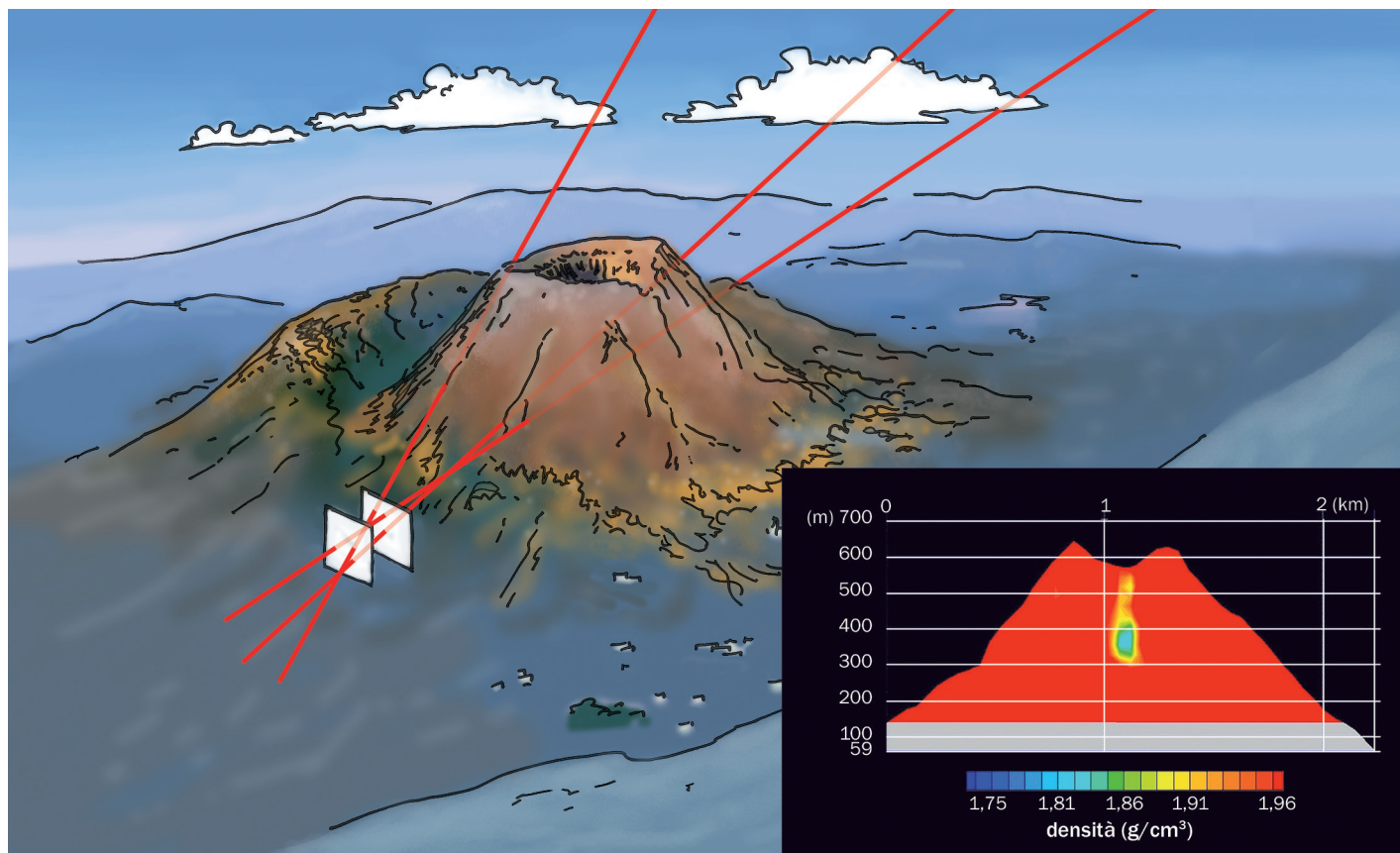
ci si aspetta nel caso ci fosse solo l'aria tra il rivelatore e l'alta atmosfera, si può avere una misura precisa della quantità di materia attraversata lungo la traiettoria dei muoni. Tutto questo permette di produrre una "muografia", del tutto simile a una radiografia. La muografia fu applicata per la prima volta alla fine degli anni '60 per risolvere un importante enigma archeologico. A differenza della piramide di Cheope, nella quale erano state scoperte tre camere disposte ad altezza diversa, e con alcuni passaggi, la piramide di Chephren (situata assieme a quella di Cheope nella piana di Giza, nei pressi de Il Cairo, vd. fig. a) sembrava più semplice, con una camera sepolcrale al centro del basamento della piramide e una sotterranea, senza passaggi secondari. Gli archeologi però si chiedevano se in realtà esistessero altre camere ancora da scoprire. Il premio Nobel Luis Alvarez propose allora di installare rivelatori di muoni nella camera centrale per effettuare una muografia della piramide. La misura fu fatta, sotto la sorveglianza degli archeologi, nonostante un'interruzione dovuta alla guerra arabo-israeliana e i limiti tecnologici di allora. Dopo alcuni mesi di presa dati, necessari a registrare un numero sufficiente di muoni,

l'esperimento dimostrò che non vi era alcuna cavità, evitando un'indagine tradizionale con interventi invasivi e irreversibili.

Le applicazioni più recenti della radiografia muonica interessano in particolar modo i vulcani. Installando un rivelatore alla base, è possibile contare i muoni che attraversano l'intero cono vulcanico per avere informazioni sulla struttura interna, in particolare sul condotto vulcanico, che ha una densità diversa rispetto alla roccia che lo circonda e che può risultare quindi visibile nella muografia. Recenti misure sono state fatte in particolare sul vulcano Asama prima e dopo l'eruzione del 2009, mostrando significative differenze. Alcune stazioni permettono di effettuare continuamente muografie, misurando variazioni in tempo reale o quasi, allo scopo, insieme a metodi più tradizionali, di identificare eventuali segnali precursori di eruzioni.

Con questo metodo si può esplorare solo la parte esterna del cono. I raggi cosmici, infatti, provengono dall'atmosfera e sono più abbondanti nella direzione verticale. Studiare strutture sotterranee è possibile quando un rivelatore può essere collocato ancora più in profondità rispetto alle strutture da

b.
Principio di funzionamento della radiografia muonica di un vulcano. Nel grafico in basso a destra: una muografia del vulcano Satsuma-Iwojima, in Giappone.



studiare, come è stato fatto da gruppi dell'Infn nelle aree archeologiche di Aquileia e di Fiumicino. Una situazione ideale è quella presente nel sottosuolo napoletano, dove numerose cavità sono state scavate nella roccia tufacea sin dall'antichità. Nel centro storico di Napoli sono state recentemente studiate le cavità circostanti il tunnel borbonico, nel quale un gruppo dell'Ingv (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e dell'Infn, che lavora al progetto premiale Muraves, ha installato rivelatori simili a quelli utilizzati per fare misure sullo Stromboli e sul Vesuvio.

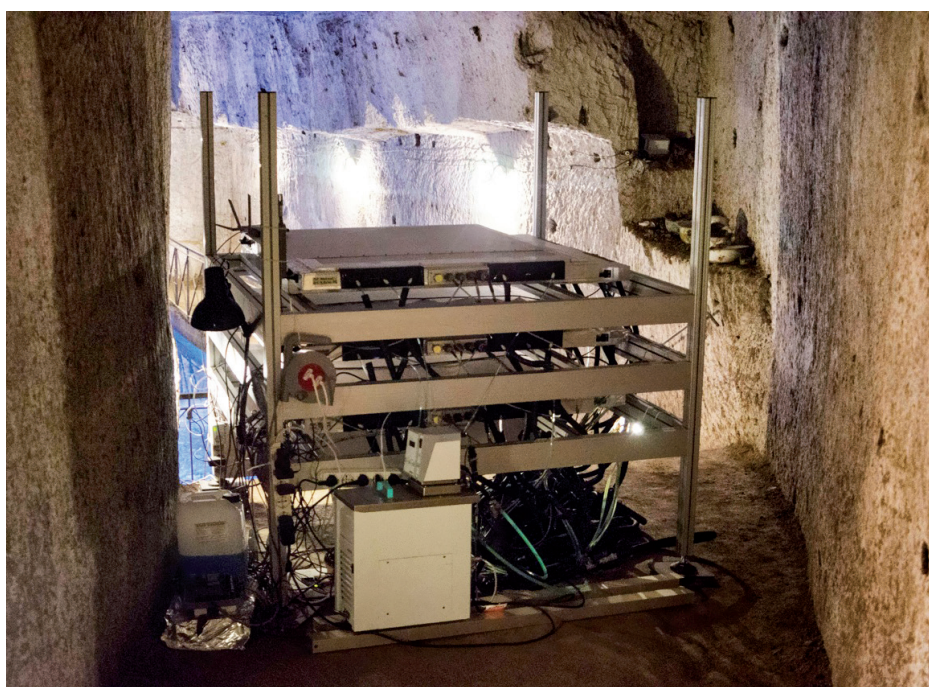
Con i muoni cosmici è anche possibile analizzare strutture di dimensioni più piccole, permettendo l'identificazione di oggetti molto densi, come potrebbero essere materiali radioattivi illegalmente trasportati in un container. Un'altra proprietà dell'interazione dei muoni con la materia ci può aiutare per questo: attraversando la materia, infatti, i muoni, oltre a perdere energia, sono anche deflessi di un angolo che tende a essere più grande, quanto maggiore è la densità della materia attraversata. È possibile, quindi, misurare la deflessione del muone misurandone la direzione prima e dopo che abbia attraversato l'oggetto, utilizzando due rivelatori messi uno sopra e uno sotto.

Dalle misure fatte con molti muoni, si realizza una tomografia tridimensionale che può evidenziare gli oggetti più densi all'interno del container. Un prototipo di un apparecchio del genere è stato

realizzato presso i laboratori Infn di Legnaro e ha ottenuto promettenti risultati.

Per miliardi di anni i muoni sono arrivati sulla Terra senza che l'umanità se ne accorgesse o ne fosse a conoscenza. Scoperti per caso un'ottantina di anni fa, sono diventati presto uno strumento di indagine utile e inatteso, dimostrando ancora una volta che il mero desiderio di conoscenza - la ricerca di base - può stimolare il progresso tecnologico per tutta l'umanità.

c.
Il muografo posizionato all'interno del tunnel borbonico a 35 metri di profondità all'interno del monte Echia, nel centro storico di Napoli.



Biografia

Luca Lista è ricercatore presso la sezione Infn di Napoli e partecipa all'esperimento Cms al Cern. Si occupa principalmente di analisi dei dati e di sviluppo di metodi statistici per la fisica delle particelle elementari. Negli ultimi anni è stato referente per la sezione di Napoli per le attività di divulgazione scientifica.

Link sul web

<http://www.scienceinschool.org/it/2013/issue27/muons> <http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2010/51/News%20Articles/1312698>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2017.23.5