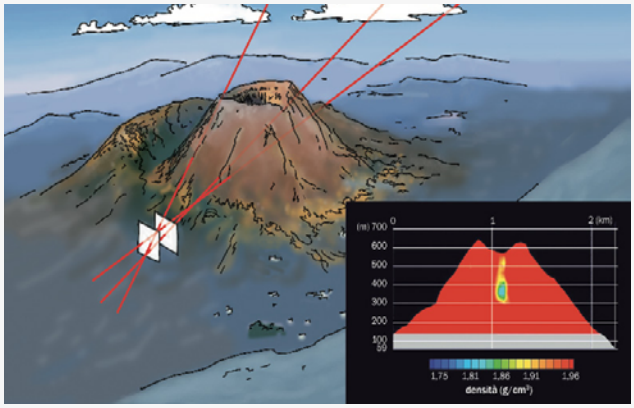
» FOCUS



PARTICELLE COSMICHE PER STUDIARE I VULCANI

La superficie terrestre è costantemente raggiunta da muoni prodotti dall'interazione dei raggi cosmici provenienti dallo spazio con gli atomi dell'atmosfera terrestre. Sono particelle molto energetiche identiche agli elettroni, ma di massa 200 volte superiore, e proprio questa loro caratteristica li rende così penetranti, capaci cioè di attraversare la materia perdendo pochissima della loro energia. Dopo i neutrini sono le particelle più penetranti e, tuttavia, contrariamente ai neutrini, non sono fonte di informazione astronomica in quanto prodotti solo a livello dell'atmosfera terrestre. Costituiscono però un potentissimo strumento di indagine di strutture e oggetti sulla Terra. La capacità di attraversare grandi spessori di materia, anche diversi chilometri di roccia, permette infatti di utilizzare i muoni per realizzare "muografie" di strutture di grandi dimensioni, del tutto simili a radiografie, con il vantaggio, rispetto ai raggi X, di realizzare indagini in profondità.

La tecnica chiamata muografia fu utilizzata per la prima volta dal premio Nobel per la fisica Luis Alvarez, alla fine degli anni Sessanta, per la ricerca di ipotetiche camere segrete all'interno della piramide di Chefren. Più recentemente, nel 2017, l'applicazione di questa tecnica allo studio delle piramidi ha portato alla scoperta di una camera segreta all'interno della grande piramide di Cheope, da parte di un team di ricercatori del progetto internazionale *ScanPyramids*.

Visto l'alto potenziale di indagine e monitoraggio di grandi strutture, a partire dagli anni '90, la muografia è stata applicata allo studio dei vulcani, dapprima in Giappone e successivamente anche in Italia, due paesi caratterizzati da fenomeni geologici simili, da un'alta frequenza di terremoti ed eruzioni vulcaniche, e all'avanguardia negli studi teorici e sperimentali in queste discipline. In particolare, l'uso dei muoni consente di visualizzare condotti magmatici o altre strutture interne nella parte emergente di vulcani. Visualizzazioni di questo tipo sono rilevanti come strumento di tipo diagnostico per la comprensione

» FOCUS

delle dinamiche magmatiche. Un'applicazione della tecnica è stata messa in atto a partire dal 2015 dal gruppo di ricerca del progetto MIUR MURAVES (*MUon RAdiography of VESuvius*), una collaborazione tra INFN, INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e le Università di Napoli e Firenze, che ha permesso l'installazione di rivelatori per misure sullo Stromboli e sul Vesuvio. MURAVES è l'evoluzione del prototipo Mu-Ray sviluppato dall'INFN, e con il quale nell'aprile 2013 è stata condotta la prima presa dati dimostrativa sul Vesuvio.

Collocando il rivelatore ancora più in profondità, la tecnica consente inoltre di studiare strutture sotterranee. Una situazione ideale è quella presente nel sottosuolo napoletano, dove numerose cavità sono state scavate nella roccia tufacea sin dall'antichità. In questo contesto, la stessa tecnica utilizzata sul Vesuvio è stata applicata dai ricercatori del progetto MURAVES ad ambienti sotterranei nel centro storico di Napoli, per l'esplorazione delle cavità circostanti il tunnel borbonico.

Con i muoni cosmici è anche possibile analizzare strutture di dimensioni più piccole, permettendo l'identificazione di oggetti molto densi, come, ad esempio, materiali radioattivi illegalmente trasportati in un container. Attraversando la materia, infatti, oltre a perdere energia, i muoni sono 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 utilizzando due rivelatori posti uno sopra e uno sotto l'oggetto da studiare, e misurando la direzione del muone prima e dopo l'attraversamento. Dalle misure registrate grazie a un numero considerevole di muoni, è possibile realizzare una tomografia tridimensionale per evidenziare gli oggetti più densi all'interno del container. Un prototipo di questa strumentazione è stato realizzato ai Laboratori di Legnaro dell' INFN con prestazioni molto promettenti.

Il progetto MURAVES, già in presa dati, sarà a pieno regime nella primavera 2020 con il completamento dei rivelatori previsti, installati sul Vesuvio. ■