

# Focus Newsletter

## MIMA-SITES: MUONI COSMICI PER L'ARCHEOLOGIA MINERARIA



Sfruttare i muoni per svelare aspetti ancora sconosciuti dei siti minerari e contribuire alla loro tutela: i risultati del progetto MIMA-SITES, coordinato dall'INFN e cofinanziato dalla Regione Toscana con il FSE 2014-2020 e dalla Parchi Val di Cornia SpA, hanno mostrato che grazie alla radiografia muonica è possibile ricavare informazioni importanti per la valorizzazione di miniere di valore storico-culturale e turistico, per

effettuare valutazioni utili alla loro messa in sicurezza e all'identificazione di nuove zone potenzialmente d'interesse. Il progetto è stato condotto nella miniera del Temperino a Campiglia Marittima (Livorno), all'interno del Parco Archeominerario di San Silvestro: ha coinvolto un gruppo di fisici e geologi, ricercatori e ricercatrici della Sezione di Firenze dell'INFN, dei Dipartimenti di Fisica e Astronomia e di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, dell'Istituto di geoscienze e georisorse del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa (CNR-IGG), assieme a Parchi Val di Cornia Spa. I risultati sono stati pubblicati su [Scientific Reports di Nature](#) e su [Natural Resources Research](#).

La radiografia muonica, anche detta muografia, è una tecnica non invasiva analoga alla più conosciuta radiografia a raggi X, che utilizza una radiazione naturale presente nell'atmosfera terrestre, quella dei muoni, per l'imaging di strutture materiali medio-grandi, con dimensioni che possono andare dal metro fino ad alcune centinaia di metri. Il progetto MIMA-SITES si inserisce nel contesto di attività condotte a partire dal 2017 nel Parco Archeominerario di San Silvestro con l'obiettivo di validare la metodologia della radiografia muonica in ambito minerario, a cura di Sezione INFN di Firenze e Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Firenze. Le attività si basano sull'impiego di un dispositivo, MIMA (Muon Imaging for Mining and Archaeology), che è sostanzialmente un telescopio per muoni, ossia uno strumento orientabile nello spazio e in grado di intercettare il passaggio di muoni atmosferici e ricostruirne le traiettorie di moto. MIMA è un apparato compatto, robusto, leggero e a basso consumo: possiede quindi tutte le caratteristiche che lo rendono idoneo all'utilizzo in ambienti complessi e inospitali come le gallerie minerarie.

Grazie alle misure muografiche realizzate nell'ambito del progetto MIMA-SITES, è stato possibile scoprire cavità e corpi ad alta densità in una parte del tunnel turistico, all'interno della quale è stata osservata una concentrazione anomala di gas radon naturale, la cui presenza potrebbe essere legata alla vicinanza di particolari materiali rocciosi al di sopra del tunnel, e alla presenza di gallerie che ne faciliterebbero la mobilità. È stato inoltre possibile realizzare uno studio che integra le informazioni già disponibili con quelle ricavate dalle radiografie muoniche all'interno di software che servono a effettuare valutazioni degli aspetti di sicurezza, per mezzo di simulazioni degli stress dei materiali intorno alla galleria turistica. In particolare, è stata realizzata la misura della distribuzione della densità media del terreno, sono state identificate e ricostruite in 2D zone a bassa o alta densità corrispondenti a cavità e volumi di roccia mineralizzata, ed è stato applicato un metodo

brevettato per la ricostruzione in 3D del volume di cavità, alcune delle quali non documentate, e di un volume di alta densità utilizzando una sola misura muografica, senza cioè necessità di triangolazione.

Il Parco archeominerario di San Silvestro comprende il territorio del distretto minerario del Campigliese, che è stato interessato da attività di ricerca ed estrazione di minerali metalliferi fin da epoca antica. La galleria della miniera del Temperino, oggetto del progetto MIMA SITES, è stata scavata nel 1800 e proseguita nel 1900 in un'area caratterizzata dalla presenza di molti lavori minerari etruschi, medievali, cinquecenteschi e ottocenteschi, in parte tagliati dalla galleria stessa, in parte presenti al di sopra di essa. I lavori minerari noti sono stati utilizzati per testare la validità di applicazione del metodo, che si è dimostrato efficace per individuare la presenza di pozzi antichi non più accessibili dalla superficie e di zone ad alta densità caratterizzate quindi dalla presenza dei minerali metalliferi. Questi dati sono di grande interesse sia per garantire la sicurezza della galleria visitabile, sia per proseguire le ricerche in ambito geologico e minerario.

Durante lo sviluppo della metodologia muografica da parte del gruppo MIMA, sono stati condotti lavori di tesi di dottorato, magistrali e triennali, e sono state effettuate numerose misure anche in altri ambiti di studio: due misure a Firenze e Pistoia per lo studio del danneggiamento di argini fluviali, tre misure di prova nel tunnel sotterraneo d'ispezione della diga di Bilancino a Firenze, una misura presso la necropoli etrusca del Palazzone a Perugia, una misura di test al Duomo di Firenze. Inoltre, è stato avviato un progetto europeo, BLEMAB, per l'utilizzo della muografia in ambito siderurgico.