

# MIMA: APPLICAZIONI DELLA RADIOGRAFIA MUONICA

Dottorando: Guglielmo Baccani (guglielmo.baccani@unifi.it)

Tutor: Lorenzo Bonechi

I raggi cosmici sono particelle altamente energetiche provenienti dallo spazio. Entrando nell'atmosfera producono una serie di particelle secondarie che decadono e interagiscono a loro volta con la materia. Le più numerose a livello del suolo sono i muoni, poco interagenti e perciò in grado di attraversare anche centinaia di metri nella roccia. Il metodo della radiografia muonica è simile a quella a raggi X e si basa sul confronto di due misure: una con un oggetto di densità diversa dal mezzo in cui si trova (come una cavità nel terreno) e una misura (o una simulazione) senza tale disomogeneità. Questa differenza di densità produce una variazione del flusso di muoni provenienti dalla direzione in cui si trova l'oggetto (ossia una variazione del numero di tracce provenienti da tale direzione) che permette di ricostruire delle immagini di assorbimento.

I muoni più energetici generati dai raggi cosmici sono utilizzati con successo per effettuare radiografie della struttura interna di grandi oggetti come piramidi e vulcani. Il progetto premiale MURAVES, frutto della collaborazione dell'INGV con l'INFN, ha come obiettivo la realizzazione di un telescopio con un'area di 4 m<sup>2</sup> per studiare le cavità interne della sommità del Vesuvio e lo sviluppo dei relativi strumenti di analisi. Il monitoraggio dell'attività dei vulcani è fondamentale per stabilire quali siano i rischi e i pericoli in cui incorrono le popolazioni e le attività umane. Lo studio dell'architettura dell'interno dell'edificio e della forma e delle dimensioni dei condotti permette di determinare sia i percorsi del materiale magmatico, che influiscono sulla dinamica di un'eruzione, sia le instabilità gravitazionali che sono causa dell'attività tettonica dei vulcani.

Dalla ricerca e dallo sviluppo del progetto MURAVES nasce il tracciante di muoni MIMA. Esso è un rivelatore compatto, relativamente leggero e con un basso consumo di potenza che si adatta perfettamente all'utilizzo nell'ambito archeologico. Non ci sono precedenti nell'impiego di tale tecnica in questo campo e l'obiettivo è la realizzazione di una strumentazione d'indagine non invasiva che si affianchi alle tecniche geofisiche di rivelazione già largamente utilizzate in questo settore. Sono in progetto anche delle misure anche in altri settori come quello dell'ingegneria civile (monitoraggio degli argini) e quello minerario.

Durante il mio lavoro di tesi ho assemblato il rivelatore nella sua versione preliminare: due coppie di piani traccianti ciascuno dei quali misura una coordinata di passaggio della particella. Ogni piano è composto da 21 barre di scintillatore la cui luce, prodotta dal passaggio dei muoni, è rivelata da dei dispositivi SiPM opportunamente caratterizzati. Tali rivelatori sono letti da un'elettronica di front-end che amplifica e discrimina i segnali che sono poi digitalizzati e memorizzati.

Quindi ho caratterizzato e calibrato ogni piano tracciante e ho sviluppato il software di analisi necessario per ricostruire le tracce e ottenere le mappe di assorbimento. Infine ho realizzato una misura di test il cui obiettivo era quello di effettuare una radiografia di alcuni elementi architettonici dell'edificio dell'INFN di Firenze.

Attualmente il rivelatore è formato da sei piani traccianti (tre per ogni vista). Grazie a questo upgrade è possibile escludere le coincidenze casuali dovute al passaggio di due particelle diverse imponendo un controllo sull'allineamento dei punti ricostruiti: questo ci permetterà di considerare anche quegli eventi che, in fase di acquisizione, presentano più di una coordinata di passaggio per piano. In questo modo è possibile determinare in maniera diretta, senza l'utilizzo di un sistema di trigger esterno, l'efficienza di rivelazione di ogni piano che risulta maggiore del 99.8%.

La risoluzione angolare del tracciante è attualmente pari a  $(14.9 \pm 0.7)$  mrad e potrà essere migliorata ottimizzando il software di analisi in modo da tenere di conto delle fluttuazioni statistiche nel rilascio di energia dei muoni nello scintillatore.

Durante il mio progetto di ricerca il tracciatore sarà impiegato in diverse misure che serviranno come test della metodologia in vari ambiti.

Una misura in ambito archeologico è stata effettuata assieme al tracciatore Mu-Ray (prototipo per l'esperimento MURAVES) sotto il Monte Echia nella "Napoli Sotterranea". Mu-Ray durante una misura precedente ha trovato una perfetta corrispondenza tra le mappe di assorbimento e la disposizione delle strutture sotterranee note, individuando anche una zona con un segnale che non trova riscontro con nessuna delle camere ad oggi accessibili. Le ultime misure sono quindi in fase di analisi per confermare la presenza della camera nascosta e triangolarne la posizione.

Per quanto riguarda il settore dell'ingegneria civile stiamo provando ad utilizzare MIMA per il monitoraggio degli argini dei fiumi. La presenza delle tane scavate negli argini dei fiumi è un problema sempre più sentito, in particolare nei territori interessati da alluvioni ed esondazioni dei fiumi. Spesso queste tane (scavate da animali selvatici come nutrie, istrici, volpi e tassi) diventano grotte di notevole dimensione inserite dentro gli argini, esponendoli al rischio di dissesti e crolli con inevitabili pericoli per le aree circostanti e per la sicurezza delle persone. Se si pensa che il costo per il rifacimento di un argine si aggira sui 300 euro al metro è chiaro come sia importante individuare con precisione la zona dell'argine sulla quale è necessario effettuare un intervento di ricostruzione.

È stata effettuata una misura a Mantignano presso il fiume Arno in collaborazione con l'INGV la cui analisi è in corso d'opera. Abbiamo in progetto di effettuare un'altra misura dello stesso tipo presso l'argine del fiume Elsa in provincia di Empoli.

Per queste misure dato che il rivelatore è puntato in una direzione abbastanza vicina all'orizzontale potrà essere utile impiegare le informazioni fornite dal Time Of Flight in modo da rimuovere il fondo dovuto alle particelle che arrivano dalla direzione opposta a quella che stiamo osservando.

Nell'ambito minerario stiamo eseguendo una misura di test alla miniera del Temperino a Campiglia Marittima. Lo scopo della misura è quello di evidenziare la presenza di una camera nota e valutare l'applicabilità della radiografia muonica in questo settore.

In futuro è prevista la realizzazione di un tracciatore con una superficie sensibile maggiore in modo da ridurre i tempi di misura necessari per acquisire una certa statistica.