

## Sommario tesi di laurea

Autore: *Marica Baldoncini*

Titolo della tesi: *Validation of a Monte Carlo method for the calibration of an airborne gamma-ray detector*

Relatore: *Fabio Mantovani*

Questa tesi si colloca nell'ambito di un progetto di ricerca il cui obiettivo è quello di sviluppare metodologie e strumentazioni finalizzate al monitoraggio della radioattività ambientale attraverso misure airborne di spettroscopia gamma.

Con il diffondersi delle tecnologie nucleari applicate all'energia, alla salute ed alla produzione industriale, il tema del monitoraggio della radioattività ambientale sta diventando sempre più centrale nelle politiche di salvaguardia della salute pubblica sia a livello nazionale che internazionale. Nell'ambiente che ci circonda sono presenti varie sorgenti di radioattività che possono avere origine naturale o artificiale. Per radioattività naturale si intende quella radioattività prodotta dai radionuclidi primordiali (prevalentemente  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ ), originatisi con la formazione della Terra ed aventi vita media sufficientemente lunga da essere presenti ancora oggi, e da radionuclidi cosmogenici, prodotti in continuazione in atmosfera dai raggi cosmici. Gli isotopi radioattivi di origine antropogenica (prevalentemente  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{60}\text{Co}$ ) sono stati immessi nell'ambiente principalmente in seguito ad esperimenti di armamenti nucleari, a fall out successivo ad incidenti nucleari, a fughe di materiale radioattivo ed all'abbandono di scorie nucleari.

La spettroscopia gamma è una metodologia estremamente efficace per il monitoraggio ambientale. Il suo largo impiego è motivato da due importanti vantaggi: da un lato il fatto che i raggi gamma costituiscono una radiazione penetrante rende possibile la loro rilevazione a bordo di velivoli, dall'altro l'energia caratteristica dei fotoni permette una chiara identificazione dell'isotopo decaduto. Come testimoniato da centinaia di pubblicazioni scientifiche, l'Airborne Gamma-Ray Spectroscopy (AGRS) è una tecnica di acquisizione particolarmente adatta a survey geologici ed ambientali grazie ai quali è possibile realizzare mappe della distribuzione dei radioelementi naturali presenti nel territorio. Questi studi sono un benchmark per monitorare la radioattività naturale del terreno e aree potenzialmente contaminate, e sono stati impiegati in molte nazioni a partire dai primi anni '40. Inoltre, nell'ambito delle ricerche di base, la distribuzione dei principali isotopi radioattivi presenti nella crosta terrestre permette di ottenere informazioni sul contributo radiogenico al calore terrestre e di perfezionare i modelli che stimano il flusso di geo-neutrini misurati in alcuni dei più importanti esperimenti di fisica fondamentale del mondo (KamLAND e Borexino). Non va infine dimenticato i contributi che queste acquisizioni possono dare allo sviluppo di ricerche scientifiche in ambito geodinamico, idrotermale e tettonico strutturale.

L'approccio convenzionale per lo studio dell'attività specifica dei tre principali isotopi naturali consiste nel riconoscere una serie di fotopicchi dovuti all'emissione gamma e nell'analisi del conteggio del numero di eventi in corrispondenza delle finestre energetiche dei suddetti fotopicchi. Grazie al recente progresso della potenza di calcolo dei computer, nell'ambito della mia tesi triennale ho potuto raggiungere un notevole miglioramento nell'analisi spettrale mediante l'implementazione della Full Spectrum Analysis (FSA) nella variante Non Negative Least Squares (NNLS). Questa tecnica di analisi spettrale permette di ricostruire lo spettro gamma acquisito come combinazione lineare degli spettri fondamentali ricavati per ogni radionuclide e per il background.

Il lavoro di tesi magistrale relativo alla modellazione spettrale mediante algoritmi Monte Carlo per la calibrazione di uno spettrometro gamma usato in survey airborne è stato motivato e stimolato dai risultati ottenuti dall'applicazione dell'analisi NNLS alla calibrazione in efficienza di un detector denominato AGRS\_16L, costituito da 4 rivelatori a ioduro di sodio. I prodotti finali della procedura di calibrazione di tale strumento sono gli spettri fondamentali a terra, i quali corrispondono alla risposta data dal rivelatore (a livello del terreno) in presenza di una unità di

concentrazione di ogni specifico radionuclide. Dal momento che tale spettrometro viene montato su velivoli per la realizzazione di survey airborne, la ricostruzione di uno spettro gamma misurato in volo dall'AGRS\_16L richiederebbe l'utilizzo di spettri fondamentali ricavati a diverse altezze rispetto al suolo.

L'adozione di un approccio basato su simulazioni Monte Carlo è sicuramente un'ottima strategia per trattare la calibrazione dell'AGRS\_16L a diverse quote, sperimentalmente irrealizzabile. L'applicazione di simulazioni Monte Carlo permette di affrontare da un punto di vista teorico lo studio di una misura di spettroscopia gamma prendendo in considerazione molte condizioni al contorno che influenzano la misura stessa. Misurare la radioattività naturale a bordo di velivoli in movimento è una sfida decisamente impegnativa, dal momento che molti fattori non solo di carattere ambientale, ma anche di carattere strumentale, devono essere tenuti in conto nell'analisi dei dati radiometrici. La forma e l'intensità di uno spettro gamma misurato sono funzioni complesse di molte variabili, come la geometria della sorgente diffusa, la risposta del detector, il continuo cambiamento della distanza che intercorre tra il primo strato di suolo e il detector, la presenza di materiali assorbitori passivi, la distribuzione non uniforme dei radionuclidi nel terreno, la presenza di radon atmosferico, la densità e la composizione del suolo. In questo scenario così ampio e complesso, la simulazione Monte Carlo è un valido strumento per investigare la fisica che governa la spettroscopia gamma airborne e per comprendere più a fondo i parametri di calibrazione del detector.

Una simulazione diretta della geometria reale che descrive la configurazione sorgente-detector non è realizzabile su tempi scala ragionevoli: nel mio lavoro di tesi magistrale ho pertanto sviluppato e validato in ambiente GEANT4 un algoritmo di simulazione basato su due step indipendenti che permette non solo di abbattere i tempi di simulazione, ma anche di poter investigare separatamente la fisica legata al meccanismo di generazione e trasporto della radiazione gamma dalla fisica legata al processo di rivelazione vero e proprio. L'affidabilità dell'algoritmo Monte Carlo è stata validata sulla base sia di predizioni teoriche che di confronto con misure sperimentali.

Lo scopo scientifico del lavoro è stato quello di investigare la fattibilità di ricostruzione di spettri gamma airborne utilizzando nell'analisi NNLS spettri fondamentali sintetici ottenuti da simulazione Monte Carlo per diverse quote rispetto al terreno. Nel condurre questa analisi sono stati presi in esame spettri airborne acquisiti durante un volo su un'area test ben caratterizzata grazie a misure realizzate in situ e in laboratorio su campioni di suolo. Da questo studio ho ottenuto dei risultati molto incoraggianti: l'analisi NNLS condotta con gli spettri fondamentali Monte Carlo ha prodotto un ottimo accordo nelle forme spettrali tra spettri misurati e ricostruiti, e le concentrazioni stimate per il potassio e per il torio sono in accordo con i valori misurati a terra entro  $1\sigma$ .

In conclusione, questo studio ha dimostrato le potenzialità del metodo Monte Carlo nella simulazione di una varietà di condizioni di misura e di caratteristiche ambientali, così come nella produzione di spettri fondamentali da adottare per l'analisi di misure airborne, permettendo di ricavare le abbondanze di radionuclidi naturali senza l'applicazione di un fattore di correzione empirico per le diverse quote di volo. Questo studio ha portato alla produzione di spettri fondamentali sintetici per l'analisi NNLS di misure airborne che, al contrario degli spettri ottenuti sperimentalmente, non mostrano interferenze residue nelle forme spettrali dei diversi isotopi dovute ai processi di minimizzazione. Ciò è conseguenza del fatto che l'approccio Monte Carlo permette di determinare gli spettri fondamentali di ogni elemento uno indipendentemente dall'altro, i quali risultano essere determinati univocamente dai processi fisici che governano la formazione dello spettro stesso. Le implicazioni di queste modellazioni nell'ambito della ricerca applicata possono riguardare l'ottimizzazione della pianificazione di survey airborne nonché la progettazione ed il design di nuovi spettrometri gamma dedicati all'Homeland Security.

## *Elenco delle pubblicazioni*

2013

B. Ricci, F. Mantovani, **M. Baldoncini**, J. Esposito, L. Ludhova, S. Zavatarelli. Reactor antineutrinos signal all over the world. XV International Workshop on “Neutrino Telescopes”, Venice. (Submitted)

Guastaldi E, **Baldoncini M**, Bezzon G, Broggin C, Buso G, Caciolli A, Carmignani L, Callegari I, Colonna T, Dule K, Fiorentini G, Kaçeli Xhixha M, Mantovani F, Massa G, Menegazzo R, Mou L, Rossi Alvarez C, Strati V, Xhixha G, Zanon A (2013) A multivariate spatial interpolation of airborne  $\gamma$ -ray data using the geological constraints. Remote Sensing of Environment 137:1-11.

2012

Caciolli A, **Baldoncini M**, Bezzon GP, Broggin C, Buso GP, Callegari I, Colonna T, Fiorentini G, Guastaldi E, Mantovani F, Massa G, Menegazzo R, Mou L, Alvarez CR, Shyti M, Zanon A, Xhixha G (2012) A new FSA approach for in situ  $\gamma$  ray spectroscopy. Science of The Total Environment 414:639-645.