

Confronto ed utilizzo di metodi innovativi di Tomografia sismica Traveltime e in Attenuazione in aree sismotettoniche complesse

Titolare dell'assegno: Talone Donato **Responsabile scientifico:** Prof. de Nardis Rita

Attività di ricerca – il progetto in breve

L'assegno per la collaborazione all'attività di ricerca, iniziato in data 01/04/2024 e rinnovato in data 01/04/2025, ha riguardato il tema "Confronto ed utilizzo di metodi innovativi di Tomografia sismica Traveltime e in Attenuazione in aree sismotettoniche complesse". L'obiettivo principale dell'attività di ricerca è stato l'utilizzo, il miglioramento e l'ottimizzazione dei codici di calcolo per la tomografia sismica 4D. In particolare, l'attività si è concentrata su due aspetti principali:

- 1- Utilizzo delle tecniche di tomografia sismica in aree sismotettonicamente complesse per valutarne affidabilità e risoluzione, insieme alla sensibilità a parametri fisici e meccanici;
- 2- Implementazione dei codici di calcolo per un più efficiente utilizzo.

I risultati attesi al momento del bando dell'assegno erano l'individuazione di casi studio che evidenziassero le potenzialità e limiti delle tomografie sismiche sia traveltime che in attenuazione, e la successiva applicazione delle tecniche descritte.

Attività di ricerca – resoconto dettagliato

Nel corso dell'annualità 2025-2026, il tema del progetto di ricerca è stato ulteriormente sviluppato concentrandosi sull'applicazione delle due tipologie di tomografia sismica: traveltime, ovvero la ricostruzione di modelli di velocità delle onde sismiche a partire dal loro arrivo ai ricevitori (LET, Local Earthquake Tomography), e in attenuazione, dipendente dall'intera forma d'onda che si attenua durante la sua propagazione fino alle stazioni sismiche (AT, Attenuation Tomography).

I modelli di velocità già prodotti con la LET in Italia Centro-Meridionale sono stati perfezionati attraverso una fase di calibrazione dei parametri di inversione. Particolare attenzione è stata dedicata allo studio dell'affidabilità e della risoluzione delle anomalie di velocità individuate nel modello tomografico. Attraverso l'utilizzo di test sintetici, è stato definito un volume di attendibilità vincolato dall'effettivo campionamento dello stesso da parte dei raggi sismici. Inoltre, le anomalie individuate e interpretate, sono state confrontate con la minima dimensione risolvibile ad ogni profondità. Quest'ultima, è stata valutata sulla ricostruzione di modelli sintetici geometricamente regolari. I risultati ottenuti, interpretati in chiave sismotettonica, sono presentati nell'articolo "First Tomographic Imaging of Mid-Crustal Doubling at the Abruzzi Outer Thrust Front, Central-Southern Italy" sottomesso alla rivista "Solid Earth".

Un'analisi simile, finalizzata alla valutazione dell'efficienza di modelli di AT in contesti reali, è stata effettuata nell'area del Montello (Treviso, Veneto). Qui, piuttosto che creare modelli sintetici, è stata sfruttata la buona conoscenza e caratterizzazione del serbatoio di gas metano stoccato nell'anticlinale del Montello. I modelli di attenuazione sismica mostrano un'eccellente ricostruzione degli effetti attenuativi legati alla presenza del reservoir, finora osservati solo in ambienti vulcanici dove le conoscenze a priori dei volumi di roccia permeati da fluidi sono limitate. I modelli di AT sono stati in passato testati in ambiente controllato su campioni di roccia sottoposti a deformazione e successiva rottura. Tuttavia, la sensibilità del metodo alla componente fluida, non ha mai avuto verifiche sperimentali. Di conseguenza, questo lavoro porta un notevole contributo alla verifica di efficienza delle tecniche di tomografia sismica in attenuazione se utilizzate per individuazione e mappatura di fluidi nel sottosuolo. I modelli ottenuti sono stati interpretati anche in chiave sismotettonica, con particolare focus sul ruolo dei fluidi nel rilascio di sismicità e la conseguente ripartizione dello stress tettonico. Ulteriori dettagli sono disponibili nell'articolo "Underground Gas Storage as Benchmark for Seismic Attenuation Tomography in a Tectonically Complex Region (North-Eastern Italy)" pubblicato sulla rivista "Geophysical Research Letters".

Parte dell'attività di ricerca è stata finalizzata all'implementazione e ottimizzazione dei codici di calcolo per la tomografia sismica. In particolare, per la LET, è stata sviluppata un'interfaccia grafica (GUI) in linguaggio Python per la preparazione dei file di input e il successivo calcolo tomografico. La scelta del linguaggio di programmazione Python garantisce una facile lettura ed interpretazione del codice, oltre che una maggiore semplicità di utilizzo e velocità di elaborazione. Inoltre, la presenza di tool dedicati all'elaborazione e alla rappresentazione di dati sismologici (quali Obspy o PyGMT) garantisce uniformità nella formattazione dei dati per una più facile condivisione degli stessi. Durante lo sviluppo della GUI, sono stati creati degli applicativi per la valutazione della copertura di rete e della bontà dei dati, così come toolbox per una migliore caratterizzazione e impostazione dei parametri necessari all'inversione dei dati durante il processo di tomografia. L'interfaccia grafica sarà presentata all'assemblea generale dell'EGU (European Geophysical Union) in programma nel periodo 03-08/05/2025.

Attività di ricerca – obiettivi raggiunti

In riferimento agli obiettivi prefissati dal progetto dell'assegno di ricerca, gli studi descritti costituiscono esempi di applicazione delle tecniche di tomografia sismica in casi reali di estremo interesse sismotettonico. I casi di studio dimostrano come le tecniche tomografiche siano di fondamentale aiuto per l'interpretazione del sottosuolo, data la sensibilità di velocità e attenuazione alle variazioni delle caratteristiche fisiche e meccaniche del mezzo attraversato. L'analisi approfondita della risoluzione e stabilità dei modelli risultanti attraverso l'utilizzo di test sintetici o reali, permette una migliore valutazione dei limiti e delle potenzialità di queste tecniche. Inoltre, l'implementazione dei codici di calcolo e lo sviluppo di interfacce grafiche in linguaggi di programmazione moderni ed efficienti forniscono un notevole supporto al continuo sviluppo e aggiornamento del metodo e ne facilitano l'applicabilità.

I risultati ottenuti sono in linea con quanto preventivato dal progetto dell'assegno ed esplorano i limiti e le incertezze dei metodi. Tuttavia, l'applicazione individuale di diversi tipi di tomografia sismica non consente di esplorare appieno le caratteristiche reologiche del sottosuolo. Pertanto, saranno necessari ulteriori casi di studio per l'applicazione congiunta di tomografia in velocità e in attenuazione, così come per lo sviluppo di tecniche tomografiche 4D.

Attività didattica e seminariale

Per l'anno accademico 2024/25 e per quello 2025/26, al sottoscritto è stato conferito l'incarico di cultore della materia per gli insegnamenti di "Sismotettonica 3D con applicazioni territoriali" (LM-74, Scienze e Tecnologie Geologiche della Terra e dei Pianeti), e di "Fisica Terrestre" (L-34, Scienze Geologiche).

Attività formativa

Nel corso del periodo coperto dall'assegno di ricerca, è stato svolto un corso dal titolo "Workshop sulla costruzione di competenze sismologiche", tenuto da Earthscope Consortium nei giorni 10/06/2025-08/09/2025, e finalizzato al miglioramento delle competenze in ambito sismologico e di Scientific Computing.

Altre attività di ricerca

Oltre agli studi finalizzati al raggiungimento degli obiettivi del progetto dell'assegno, sono state svolte altre attività di supporto e collaborazione per la ricerca. In particolare, il sottoscritto è stato coinvolto nelle attività relative ad un progetto di collaborazione con il Dipartimento di Protezione Civile. Queste hanno incluso consulenze e relazioni tecniche per l'ampliamento della Rete Accelerometrica Nazionale e per l'analisi dello scuotimento in aree sensibili come l'area Flegrea (Campania).

Pubblicazioni

La ricerca svolta nel corso dell'anno trascorso ha portato alla sottomissione e successiva pubblicazione del lavoro:

- Talone, D., Romano, M.A., De Siena, L., Guidarelli, M., Santulin, M., Peruzza, L., Lavecchia, G., De Nardis, R., 2025. Underground Gas Storage as Benchmark for Seismic Attenuation Tomography in a Tectonically Complex Region (North-Eastern Italy). Geophysical Research Letters 52, e2025GL117956. <https://doi.org/10.1029/2025GL117956>

Convegni

Durante il periodo di assegno, i risultati della ricerca sono stati presentati nel convegno internazionale:

- assemblea generale dell'EGU (European Geophysical Union) (26/04/2025-03/05/2025).

Attività divulgativa

L'attività di ricerca è stata affiancata da eventi finalizzati all'orientamento e alla divulgazione scientifica.

Data

16/02/2026

Il titolare dell'assegno



Il responsabile scientifico

