

## **A1 Titolo dell'attività di ricerca**

**Localizzazione, Tomografia Sismica, Modellazione fisica delle rocce**

## **A2 Responsabile**

Responsabile Aldo Zollo

## **A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)**

Prof. Ordinari: Aldo Zollo

Prof. Associati:

Ricercatori universitari: Guido Russo

## **A4 Collaborazioni con altri enti**

1. Università Joseph Fourier Grenoble, Università Chambéry (Francia)
2. DISTAR (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'ambiente e delle risorse), Università degli studi di Napoli, Federico II, Napoli
3. Università degli studi di Bari "Aldo Moro".

## **A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati**

## **A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)**

Assegnisti: Ortensia Amoroso

## **A7 Dottorandi di Ricerca**

Grazia de Landro, Sergio Gammaldi

## **B1 Breve descrizione della linea di ricerca**

*(max 1000 caratteri)*

Tale linea di ricerca si propone, attraverso l'analisi dei segnali sismici, di ricostruire immagini tridimensionali delle proprietà elastiche (velocità delle onde sismiche P ed S) ed anelastiche (fattore di qualità delle onde P ed S) del mezzo di propagazione. A tale scopo vengono adottate tecniche di inversione linearizzate o non-lineari basate sulla risoluzione di un problema di ottimizzazione di una funzione costo dipendente dai dati osservati e calcolati mediante modelling teorico. La tomografia sismica ripetuta nel tempo è un mezzo per identificare variazioni spazio-temporali nelle caratteristiche meccaniche del mezzo, possibili fenomeni precursori di aumento dell'attività sismica e vulcanica (tomografia 4D). Le immagini tomografiche, interpretate attraverso modelling fisico delle proprietà delle rocce, consentono di risalire alla stima di micro-parametri della roccia: porosità, percentuale e tipologia dei fluidi percolanti e grado di saturazione.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016**

*(max 2000 caratteri)*

Sono stati sviluppati modelli tomografici in aree diverse per dimensioni (da 100 km<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup>) e contesto geodinamico: Irpinia (ambiente tettonico), Campi Flegrei (vulcanico) e the Geysers, California (geotermico). Sono state ottenute le immagini delle proprietà elastiche ( $V_P$  e  $V_S$ ) e anelastiche ( $Q_P$  e  $Q_S$ ) del volume di Terra che racchiude il sistema di faglie responsabile del terremoto dell'Irpinia del 1980, Ms 6.9. Il dataset utilizzato consta di circa 1300 eventi con  $M_l < 3.2$ , registrati dalla rete sismica ISNet. Di tali eventi sono stati utilizzati i tempi di primo arrivo P ed S come dati per la tomografia in velocità e i t-star (i.e.,  $t^*$ , ossia il tempo di primo arrivo fratto il fattore di qualità) per quella in attenuazione. L'interpretazione congiunta delle immagini tomografiche e dei risultati del modelling fisico delle rocce ha consentito di caratterizzare meglio la presenza e la migrazione di fluidi nell'area e la loro influenza nella produzione della sismicità.

Lo studio delle proprietà anelastiche delle onde P ( $Q_P$ ) all'interno dei Campi Flegrei è stato effettuato analizzando dati di sismica attiva registrati nel Golfo di Pozzuoli. La tomografia, applicata ad un dataset composto da misure differenziali di  $t^*$ , ha fornito un'immagine dei primi 1.5 km di sottosuolo nei quali dominano un corpo a basso  $Q_P$  con anomalie positive di  $Q_P$ . I bassi valori di  $Q_P$  sono legati a sedimenti saturi in acqua. Le anomalie positive di  $Q_P$  sono state interpretate come effetto di intrusioni magmatiche o di sacche di gas.

Altra regione di indagine è il sistema geotermico The Geysers, situato a 120 km di San Francisco. Per tale area è stato ottenuto un modello di velocità ( $V_P$  e  $V_S$ ) mediante tomografia sismica, il quale delinea le caratteristiche principali di tale area. Scopo di questa applicazione è stato trovare una correlazione tra l'iniezione di fluidi ad alta pressione e la produzione di sismicità nell'area.

Infine, sono stati effettuati studi tomografici preliminari di  $V_P$  della Solfatara.

## **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019**

*(max 2000 caratteri)*

Nel corso del triennio 2017-2019 ci si propone di approfondire gli studi effettuati nello scorso triennio nei diversi contesti geodinamici considerati. Sarà analizzata la variazione spazio-temporale delle proprietà elastiche ed anelastiche dell'Appennino Campano-Lucano applicando le tecniche tomografiche su data-set raccolti in diversi intervalli temporali (tomografia 4D).

Lo studio delle proprietà elastiche dell'area The Geysers, California (precedentemente effettuato) sarà integrato e affiancato da immagini tridimensionali delle proprietà anelastiche del medesimo volume di Terra, per le quali si renderà necessaria una preliminare fase di raccolta dei dati ( $t^*$ ). Parallelamente alle analisi tomografiche si procederà a studi di modellazione fisica delle rocce. Tramite essi, infatti, è possibile interpretare le immagini elastiche ed anelastiche ottenute in termini di proprietà quali la porosità, la saturazione in fluidi, la permeabilità delle rocce ed altri micro-parametri.

## **C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2016/7**

*(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))*

N. complessivo: 7

Pubblicazioni più significative:

De Landro, G., V. Serlenga, G. Russo, O. Amoroso, G. Festa, P. P. Bruno, M. Gresse, J. Vandemeulebrouck and A. Zollo (2017), 3D ultra-high resolution seismic imaging of shallow Solfatara crater in Campi Flegrei (Italy): New insights on deep hydrothermal fluid circulation processes, under review su Scientific Reports.

Amoroso, O., G. Russo, G. De Landro, A. Zollo, S. Garambois, S. Mazzoli, M. Parente, and J. Virieux (2017), From velocity and attenuation tomographies to rock physical modeling: Inferences on fluid-driven earthquake processes at the Irpinia fault system in southern Italy, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:[10.1002/2016GL072346](https://doi.org/10.1002/2016GL072346).

Serlenga, V., S. de Lorenzo, G. Russo, O. Amoroso, S. Garambois, J. Virieux and A. Zollo (2016), A three-dimensional  $QP$  imaging of the shallowest subsurface of Campi Flegrei offshore caldera, southern Italy, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 11,209-11,218, doi:[10/1002:2016GL071140](https://doi.org/10/1002:2016GL071140).

De Landro, G., Amoroso, O., Stabile, T.A., Matrullo, E., Lomax, A., Zollo, A. (2015). High precision Differential Earthquake Location in 3D models: Evidence for a rheological barrier controlling the micro-seismicity at the Irpinia fault zone in southern Apennines, *Geophys. J. Int.*, 203, 1021-1831, doi:[10.1093/gji/ggv397](https://doi.org/10.1093/gji/ggv397).

Zollo, A., Orefice, A., Convertito, V., (2014) Source parameter scaling and radiation efficiency of microearthquakes along the Irpinia fault zone in southern Apennines, *Italy J. Geophys. Res.* 119, 4, Pages: 3256-3275

Amoroso, O., Ascione, A., Mazzoli, S., Virieux, J. and Zollo, A., (2014) Seismic imaging of a fluid storage in the actively extending Apennine mountain belt, southern Italy. *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:[10.1002/2014GL060070](https://doi.org/10.1002/2014GL060070)

Grigoli F., S. Cesca, O. Amoroso, A. Emolo, A. Zollo, T. Dahm (2014). Automated seismic event location by waveform coherence analysis, *Geophysical Journal international*, doi: [10.1093/gji/ggt477](https://doi.org/10.1093/gji/ggt477).

## **C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali** *(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)*

De Landro, G., S. Gammaldi, V. Serlenga, O. Amoroso, G. Russo, G. Festa, L. D'Auria, P. P. Bruno, M. Gresse, J. Vandemeulebrouck and A. Zollo (2017), 2D and 3D high resolution seismic imaging of shallow Solfatara crater in Campi Flegrei (Italy): new insights on deep hydrothermal fluid circulation processes, EGU general assembly, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, EGU2017-17637.

Amoroso, O., G. De Landro, G. Russo, A. Zollo, S. Garambois, S. Mazzoli, M.

Parente and J. Virieux (2017) Three-dimensional attenuation imaging of the Irpinia fault zone (Southern Italy): inferences on the fluid storage and earthquake related processes, EGU general assembly, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, Vol. 19, EGU2017-14936.

O. Amoroso, G. Russo, G. De Landro, A. Zollo, S. Garambois, S. Mazzoli, M. Parente and J. Virieux (2016), High resolution 3D imaging of the Irpinia active fault zone, SGI 88<sup>th</sup> general assembly, Napoli, Italy.

O. Amoroso, G. Russo, G. De Landro, A. Zollo, S. Garambois, S. Mazzoli, M. Parente and J. Virieux (2016), High resolution 3D imaging of the Irpinia active fault zone part 1: attenuation tomography, ESC 35<sup>th</sup> general assembly, Trieste, Italy.

De Landro, G., O. Amoroso, G. Russo, A. Zollo, S. Garambois, S. Mazzoli, M. Parente and J. Virieux (2016), High resolution 3D imaging of the Irpinia active fault zone part 2: modeling of rock physical properties, ESC 35<sup>th</sup> general assembly, Trieste, Italy.

Amoroso, O., De Landro, G., Russo, G., and Zollo, A. (2015). 4D imaging of elastic/anelastic medium properties: application to the Geysers geothermal area, AGIS Schatzalp Workshop on Induced Seismicity, Davos Schatzalp, Switzerland.

Amoroso O., Russo, G., Orefice, A., Virieux, J., Zollo, A., (2015) 3D seismic imaging of the Irpinia fault system (southern Italy) from multi-scale velocity and attenuation tomography, Conference: 2ECEES, At Istanbul, Turkey, 24-29 August 2014, doi: 10.13140/2.1.1529.7922.

G. De Landro, O. Amoroso, T.A. Stabile, E. Matrullo, A. Lomax, A. Zollo (2015). High precision Differential Earthquake Location in 3D models: Evidence for a rheological barrier controlling the micro-seismicity at the Irpinia fault zone in southern Apennines , In EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-11063, 2015.

Mazzoli S., Amoroso, O., Ascione, A., Bigi, S., Ciotoli, G., Parente, M., Ruggiero, L., Tartarello, M. C., Zollo, A. (2015). 'Earthquake reservoirs' and non-volcanic degassing in an actively extending orogen, southern Apennines, Italy In GSA annual meeting, Baltimore Maryland USA (<https://gsa.confex.com/gsa/2015AM/webprogram/Paper263014.html>).

Amoroso, O, Orefice, A., Ascione, A., De Landro, G., Festa, G., Mazzoli, S., Russo, G., Supino, M., Virieux, J., Zollo, A. "Fluid storage and fault mechanics in Southern Apennines from tomographic imaging and seismic sequences" Meeting finale del progetto REAKT - Strategies and tools for Real Time EArthquake RiSk ReducTion, Napoli, 1-3 Dicembre 2014

### **C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali**

## **D1 Progetti di ricerca attivi**

*(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)*

Progetto MEDSUV – MEDiterranean SUPersite Volcanoes

Progetto "EPOS - European Plate Observing System" Progetto Europeo - Programma H2020

Accordo Quadro MISE-DGS-UNMIG - Progetto Nazionale - Ministero dello Sviluppo Economico

SERA - Seismology and Earthquake Engineering Research Alliance - Progetto Europeo - Programma H2020

SHEER - SHale gas Exploitation and Exploitation induced Risks – Programma H2020