

## STRUTTURA DEI CAMPI FLEGREI

**M. Calò, A. Tramelli**

*Istituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de Mexico, UNAM, Mexico*

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli, Osservatorio Vesuviano, Italy*

I Campi Flegrei sono un campo vulcanico e costituiscono uno dei pochi supervulcani noti al mondo. Le maggiori eruzioni hanno creato quello che oggi conosciamo come il golfo di Pozzuoli la cui porzione emersa è caratterizzata da diverse strutture crateriche (Rosi e Sbrana, 1987). I Campi flegrei sono stati caratterizzati sin dall'epoca romana da una continua deformazione verticale del suolo, il bradisismo. Le ultime crisi bradisismiche sono state registrate nel 1969-72 e nel 1982-84 (Del Gaudio *et al.*, 2010); in particolare durante quest'ultima il suolo si è sollevato di 1.8 m e questo movimento è stato accompagnato da più di 16000 terremoti. Successivamente al 1984 il terreno è sceso di circa un metro fino al 2006 quando il trend si è nuovamente invertito. Da allora la stazione GPS localizzata vicino al porto di Pozzuoli, Rione Terra, ha registrato un lento sollevamento che ad oggi è arrivato a 48 cm. Il sollevamento del suolo, insieme alla variazione della composizione dei gas fumarolici, hanno indotto nel 2012 il Dipartimento di Protezione Civile a passare dallo stato verde a quello di allerta gialla.

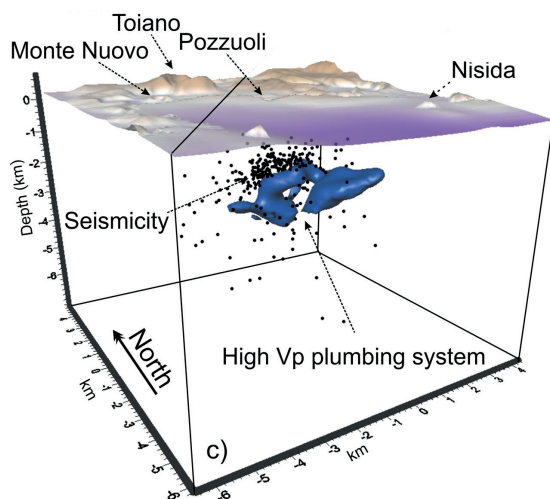


Fig. 1 - Prospettiva tridimensionale dei Campi Flegrei con indicata la isosuperficie dei corpi con  $V_p > 4.4$  km/s. Nell'immagine sono anche indicati gli ipocentri dei terremoti usati nelle analisi tomografiche e registrati nel 1982.

comprendere le dinamiche di questo vulcano una cui eventuale eruzione potrebbe coinvolgere le circa 500000 persone che vivono all'interno della caldera flegrea.

In questo lavoro sono state utilizzate le tracce dei terremoti locali registrati durante il bradisismo del 1982-84 per definire le immagini tomografiche in velocità, attenuazione e scattering. È stato utilizzato il metodo della Tomografia Sismica Migliorata (Enhanced Seismic Tomography - EST) sviluppato da Calò (2009) e applicato ai vari modelli tomografici. Questo metodo permette di migliorare la risoluzione dell'immagine tomografica attraverso un processo di variazione delle griglie di inversione. Con questo metodo si è riusciti ad ottenere immagini di strutture geologiche che si estendono al di sotto dei Campi Flegrei e che hanno dimensioni lineari di 0.5-1.0 km.

I risultati ottenuti evidenziano che la sismicità risulta concentrata in uno strato sottile di poco più di 500 m di spessore che divide il mezzo in due strutture principali (fig. 1).

La tomografia di  $V_p/V_s$  mostra la presenza di strutture con un alto valore ( $>1.85$ ) che si estendono al di sotto di alcune delle principali strutture vulcaniche (Pozzuoli-Solfatara, Astroni, Mt. Nuovo). In particolare una di queste strutture si sviluppa al di sotto della città di Pozzuoli, estendendosi verso la zona della Solfatara fino ad una profondità di circa 2 km. Questa struttura è caratterizzata inoltre da alta attenuazione delle onde P ed S ( $Q_p < 42$ ;  $Q_s < 54$ ) e da basso scattering.

Sempre al di sotto della Solfatara si evidenziano anche due sistemi di faglie superficiali in direzione NNE-SSW e ENE-WSW.

La struttura sismogenetica che si estende nella zona centrale della caldera a circa 2 km di profondità e separa la struttura superficiale da una struttura più profonda è evidente sia nella tomografia in velocità che in quella in attenuazione e scattering. È caratterizzata da basso  $V_p/V_s$  ( $\sim 1.5$ ) e bassa attenuazione delle onde P ed S ( $Q_p$  and  $Q_s > 70$ ), ad eccezione della parte centrale dove l'attenuazione P ed S aumenta evidenziando un'eterogeneità che si estende verso il basso.

Al di sotto di questa struttura sismogenetica si estende un corpo caratterizzato da alta  $V_p$  ( $>15\%$ , vedi Fig. 1), alto  $V_p/V_s$  ( $>1.85$ ) e bassi valori di  $Q_p$  e  $Q_s$  con un diametro di circa 1 km. Questo corpo anomalo si estende verticalmente dal basso fino a circa 2.3 km dove comincia a piegarsi verso sud assumendo una forma piatta con spessore di circa 0.5 km.

Le teorie proposte per giustificare il sollevamento dovuto al bradisismo sono molteplici ma tutte si fondano su tre meccanismi principali: la presenza di una camera magmatica superficiale che, variando di volume, spinge la crosta superficiale (D'Auria *et al.*, 2012); l'espansione termica di acquiferi superficiali indotta dall'aumento del flusso di calore da un sistema profondo (Chiodini *et al.*, 2003); reazioni di decarbonizzazione in presenza di fluidi supercritici che inducono la sismicità e il sollevamento del suolo (Vanorio e Kanitpanyacharoen, 2015). Alcuni autori invocano, inoltre, la combinazione di più fenomeni contemporaneamente (Lima *et al.*, 2009). Una teoria che faccia convergere la maggior parte dei ricercatori manca ancora, ma nuove indagini vengono continuamente proposte al fine di

In Fig. 2 è descritta l'interpretazione data dall'analisi congiunta delle immagini tomografiche in velocità, attenuazione e scattering effettuate col modello EST.

Valori alti di  $V_p$  sono spesso osservati al di sotto di aree vulcaniche (e.g. Patnè *et al.*, 2015; Papadimitriou *et al.*, 2015) e sono di solito interpretati come strutture magmatiche solidificatesi o dicchi. L'interpretazione congiunta del modello  $V_p$ ,  $V_p/V_s$  e delle anomalie in attenuazione permette una migliore interpretazione. Infatti, alta  $V_p$ , alto  $V_p/V_s$  e bassi valori di  $Q$  sono di solito ascrivibili a strutture ricche di fluidi o di roccia parzialmente fusa. Associando questa informazione all'osservazione geochimica che nei Campi Flegrei avviene una contaminazione tra magma e fluidi idrotermali a non più di 2 km di

profondità (Cardellini *et al.*, 2017), il corpo che si estende dal profondo (>4 km) fino a circa 2.3 km può essere interpretato come un condotto di materiale parzialmente fuso. Questo condotto si estende fino a raggiungere la struttura sismogenetica che si trova a circa 2 km che lo costringe a ripiegarsi e ad estendersi orizzontalmente verso sud. Questa struttura che separa la parte profonda da quella superficiale e che è caratterizzata da basso  $V_p/V_s$  e bassa attenuazione è interpretata come una zona più rigida, forse a causa dell'aumento di rigidità dovuto alla variazione delle proprietà elastiche del mezzo indotto da reazioni di decarbonizzazione e rilevato da Vanorio e Kanitpanyacharoen (2015) in rocce prelevate da pozzi localizzati sui bordi della caldera. Questa struttura costituisce un caprock rigido che si deforma e si frattura all'aumentare della pressione sottostante e costituisce quindi una struttura fondamentale nella dinamica della caldera. Bisogna ricordare che i dati analizzati sono relativi alla crisi bradisismica del 1982-84. Diversi autori hanno ipotizzato l'esistenza di una struttura che ha intrappolato i fluidi provenienti dal profondo durante la crisi dell'82-84 (e.g. De Siena *et al.*, 2017; D'Auria *et al.*, 2015; Di Vito *et al.*, 2016). Grazie a questa tomografia congiunta è possibile identificare la posizione e l'estensione di queste strutture che sussistono tutt'oggi anche se probabilmente hanno subito delle modifiche nelle loro proprietà reologiche ed elastiche (e.g. permeabilità, fratturazione...) in conseguenza della dinamica della caldera legata alla crisi bradisismica stessa.

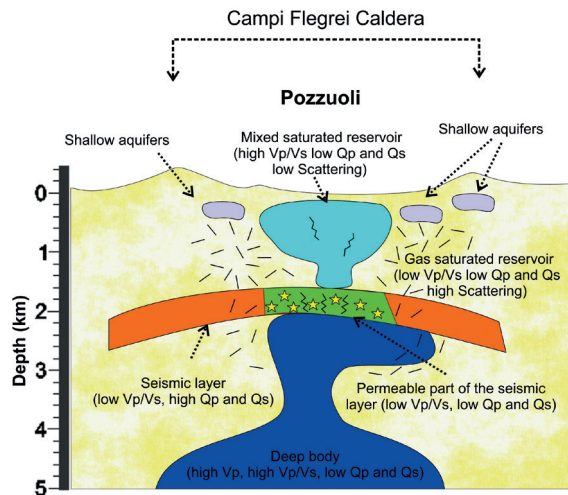


Fig. 2 - Modello di sintesi delle informazioni dedotte dalle tomografie in velocità, attenuazione e scattering eseguite in questo lavoro.

## Bibliografia

- Calò, M. (2009) Tomography of subduction zones using regional earthquakes: methodological developments and application to the Ionian slab, *PhD thesis, EOST, University of Strasbourg*, <http://tel.archivesouvertes.fr/tel-00438598/en/>
- Cardellini, C., Chiodini, G., Frondini, F., Avino, R., Bagnato, E., Caliro, S., ... and Rosiello, A. (2017). Monitoring diffuse volcanic degassing during volcanic unrests: the case of Campi Flegrei (Italy). *Scientific reports*, 7(1), 6757.
- Chiodini, G., Todesco, M., Caliro, S., Del Gaudio, C., Macedonio, G. and M. Russo (2003) Magma degassing as a trigger of bradyseismic events: The case of Phlegrean Fields (Italy), *Geophys. Res. Lett.* 30(8), 1434;10.1029/2002GL016790
- D'Auria, L., Giudicepietro, F., Martini, M. and Lanari, R. (2012) The 4D imaging of the source of ground deformation at Campi Flegrei caldera (southern Italy), *J. Geophys. Res.* 117, B08209; 10.1029/2012JB009181
- D'Auria, L., Pepe, S., Castaldo, R., Giudicepietro, F., Macedonio, G., Ricciolino, P., ... and Martini, M. (2015). Magma injection beneath the urban area of Naples: a new mechanism for the 2012–2013 volcanic unrest at Campi Flegrei caldera. *Scientific reports*, 5, 13100.

- Del Gaudio, C., Aquino, I., Ricciardi, G. P., Ricco, C. and Scandone R. (2010) Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905–2009, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 195(1), 48–56; [10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014) (2010)
- De Siena, L., Chiodini, G., Vilardo, G., Pezzo, E., Castellano, M., Colombelli, S., and Ventura, G. (2017) Source and dynamics of a volcanic caldera unrest: Campi Flegrei, 1983–84. *Scientific reports*, 7(1), 8099
- Di Vito, M. A. et al. Magma transfer at Campi Flegrei caldera (Italy) before the 1538 AD eruption. *Scientific Reports* 6, 32245 (2016)
- Lima, A., De Vivo, B., Spera, F. J., Bodnar, R. J., Milia, A., Nunziata, C., ... & Cannatelli, C. (2009). Thermodynamic model for uplift and deflation episodes (bradyseism) associated with magmatic–hydrothermal activity at the Campi Flegrei (Italy). *Earth-Science Reviews*, 97(1-4), 44-580
- Papadimitriou, P., Kapetanidis, V., Karakonstantis, A., Kaviris, G., Voulgaris, N., & Makropoulos, K. (2015). The Santorini Volcanic Complex: a detailed multi-parameter seismological approach with emphasis on the 2011–2012 unrest period. *Journal of Geodynamics*, 85, 32-57.
- Patanè, D., Barberi, G., Cocina, O., De Gori, P. and Chiarabba, C. (2006) Time-resolved seismic tomography detects magma intrusions at Mount Etna. *Science*, 313(5788), 821–823.
- Rosi, M., and Sbrana, A. (1987) (Eds.). *Phlegrean fields* (Vol. 9). Consiglio nazionale delle ricerche.
- Vanorio, T., Virieux, J., Capuano, P. and Russo, G. (2005) Threedimensional seismic tomography from P wave and S wave microearthquake travel times and rock physics characterization of the Campi Flegrei Caldera, *J. Geophys. Res.*, 110, 1-14.