

# L'attività recente dei Campi Flegrei

Marcello Martini

*Dal 2000 l'Osservatorio Vesuviano controlla in modo continuo la deformazione del suolo dell'area flegrea. Il livello di allerta per i Campi Flegrei dal livello "base" è passato a quello di "attenzione" con una maggiore frequenza nelle comunicazioni trasmesse al Dipartimento della Protezione Civile. Ma i fenomeni sono di un'entità nettamente inferiore a quanto rilevato nel corso delle precedenti crisi bradisismiche. E non si hanno elementi per poter prevedere una evoluzione a breve termine.*

Secondo la scala di quattro livelli definita dal "Piano di Emergenza dell'Area Flegrea" del 2001, il livello di allerta per i Campi Flegrei dal livello di "base" è passato da alcuni mesi a quello di "attenzione". Tale livello è stato adottato dal Dipartimento della Protezione Civile dopo aver consultato la Commissione Grandi Rischi, a seguito dei parametri rilevati nell'area flegrea dal Centro di Competenza dell'INGV per tale distretto vulcanico, ovvero l'Osservatorio Vesuviano. L'Osservatorio Vesuviano segnala alla Protezione Civile in modo sistematico le informazioni ricavate dalle attività di monitoraggio del Vesuvio, dei Campi Flegrei ed Ischia, con bollettini periodici e, in caso di fenomeni particolari, anche con comunicati immediati.

Cos'è cambiato ai Campi Flegrei? Di seguito viene riportata una sintesi di quanto rilevato dall'Osservatorio Vesuviano, e vengono confrontati i dati attuali con le osservazioni relative all'attività dell'area negli ultimi anni, per i quali disponiamo di dati confrontabili. È noto che l'ultima attività dei Campi Flegrei che ha destato un livello "più che di attenzione" risale alla crisi bradisismica del 1982-1985 (Figura 1).

Evidenziato già nel gennaio 1982 a seguito di una campagna di livellazione di precisione del suolo, il fenomeno di sollevamento del suolo proseguì nel corso dei due anni successivi e terminò nel gennaio 1985, con un innalzamento

totale di 1,79 m del caposaldo dove la variazione misurata era stata maggiore. Durante il processo la velocità massima di sollevamento, rilevata nell'ottobre del 1983, fu di circa 14,5 cm/mese. Il sollevamento fu accompagnato da intensi sciami sismici, con due eventi di Magnitudo di poco superiore a 4,0. Quello avvenuto il 4 ottobre 1983 fu oggetto anche di un rilievo macrosismico, con una stima dell'intensità massima, pari al VII grado della scala MKS, rilevata a Pozzuoli (Marturano et al., 1988). Includendo anche la precedente crisi bradisismica, avvenuta tra il 1968 ed il 1972, all'inizio del 1985 il suolo si era innalzato complessivamente di circa 3,34 m.

Terminata la crisi bradisismica degli anni Ottanta, l'attività successiva fece registrare una generale ripresa della subsidenza dell'area, con un abbassamento complessivo rilevato nel novembre 2004 di circa 94 cm. La misura è riferita al punto di sollevamento massimo misurato nel 1985, sempre ricontrollato con successive campagne di livellazione. La velocità media di subsidenza, pari a circa -4,7 cm/anno, fu più elevata nella fase iniziale dell'abbassamento, con un valore di circa -19 cm/anno. È da notare che questi valori di subsidenza sono più elevati sia rispetto a quanto rilevato strumentalmente nei decenni precedenti, sia rispetto ai valori medi riferiti ai secoli passati, valutati con metodi indiretti. La lenta subsidenza, con una velocità oscillante dell'ordine di

qualche centimetro l'anno, è stata una caratteristica persistente dell'area, e per questo è da considerarsi come uno degli indici dello stato di allerta di "base" dei Campi Flegrei.

Dal 1985 al 2004, durante la subsidenza, si verificarono anche tre brevi episodi di sollevamento, nel 1989, nel 1994 e nel 2000, tutti inferiori ai 10 cm. Analogamente a quanto avvenuto nel 1982, dopo una fase iniziale a questi sollevamenti seguirono sempre sciami sismici, anche se di bassa Magnitudo (Figura 3).

L'istituzione della rete di livellazione di precisione, realizzata inizialmente dall'IGM nel 1905 collegando Napoli con Pozzuoli, e successivamente ampliata dall'Osservatorio Vesuviano, ha reso le variazioni altimetriche il primo tra i parametri utili al monitoraggio vulcanico e ha permesso che esse venissero rilevate strumentalmente e ripetutamente. È stato così possibile ricostruire le variazioni di quota del suolo, con un dettaglio crescente nel tempo, anche prima del 1968 (Figura 1). Si è evidenziato che tra il 1905 ed il 1945 l'area è stata caratterizzata da un continuo abbassamento, con una velocità media di circa -2,5 mm/anno. La subsidenza accumulata in tale

periodo è stata di circa un metro, misurata al caposaldo di massima deformazione, prossimo al Serapeo, area in cui sono state riscontrate le variazioni maggiori anche nelle epoche successive. Mediante questi rilievi realizzati con una certa periodicità, tra il 1945 ed il 1953 è stata evidenziata anche una prima inversione della subsidenza, con un sollevamento relativo superiore a 0,5 m (Del Gaudio et al., 2010).

Dal 2000, grazie alla realizzazione di una rete fissa di stazioni GPS e alla centralizzazione automatica dei suoi dati, pur proseguendo anche nelle campagne periodiche di livellazione, l'Osservatorio Vesuviano ha controllato in modo continuo la deformazione del suolo dell'area. I dati della rete GPS mostrano che a partire dalla seconda metà del 2005, dopo un breve periodo di assenza di movimenti compreso tra il 2004 ed il 2005, è iniziata ed è tutt'ora in corso una nuova fase di lento sollevamento del suolo. Ad oggi il sollevamento, procedendo con una velocità variabile, è complessivamente di circa 20 cm (Figura 2). I valori maggiori di velocità, pari a circa 1,5 cm/mese e 2-3 cm/mese, sono stati registrati rispettivamente nel periodo di

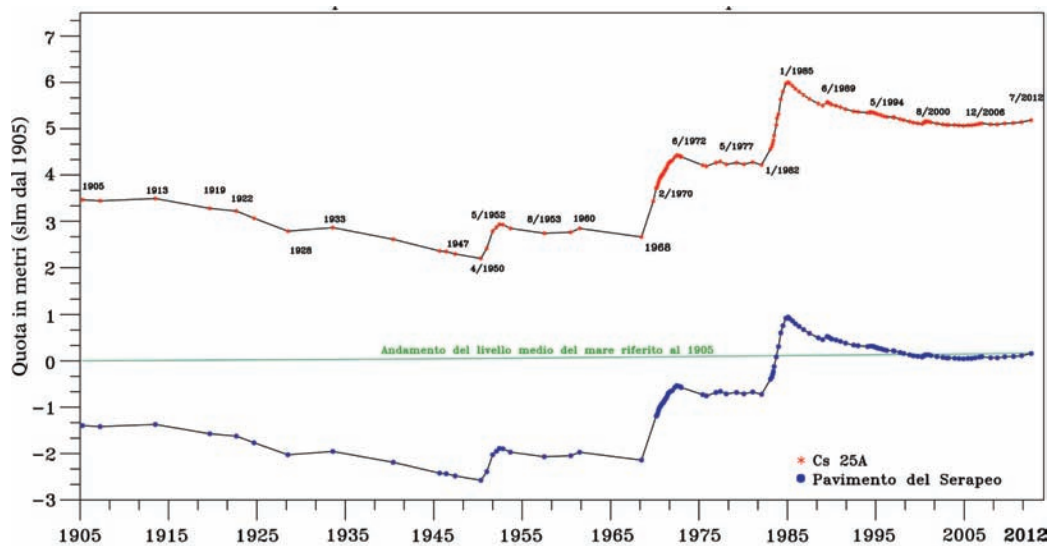


Figura 1. Variazione di quota del caposaldo 25A della rete di livellazione dell'Osservatorio Vesuviano e del pavimento del Serapeo (da Del Gaudio et al., 2010; aggiornato al 2012).

Figura 2. Deformazioni del suolo rilevate a partire dal 2000 tramite la rete GPS (componente verticale della stazione RITE Rione Terra).



luglio-agosto 2012 e nella prima metà del dicembre 2012. Con il sollevamento è ricomparsa la sismicità locale, sempre di bassa energia ( $M < 2,0$ ) e superficiale ( $h < 4,0$  km). Solo due eventi sismici di Magnitudo prossima a 2 e facenti parte di uno sciame di oltre 200 eventi, sono stati ben avvertiti dalla popolazione il 7 settembre 2012. Contrariamente all'esperienza passata, anche nel perio-

do compreso tra il 2000 ed il 2005, ossia quando non era ancora iniziata l'attuale fase di sollevamento (Figure 2 e 3), è stata rilevata un'attività sismica, anche se molto ridotta sia come numero di eventi che livello di Magnitudo. In generale l'attuale processo di sollevamento si distingue rispetto a quanto rilevato strumentalmente nel secolo scorso per il suo lungo perdurare, pro-

Figura 3. Sismicità a partire dal 1980. (A) Istogramma con la frequenza di accadimento (numero di eventi ogni 6 mesi, in scala logaritmica) e curva che indica il rilascio di energia deformativa associata ai terremoti (strain release). (B) Distribuzione delle Magnitudo degli eventi sismici nel corso degli anni.

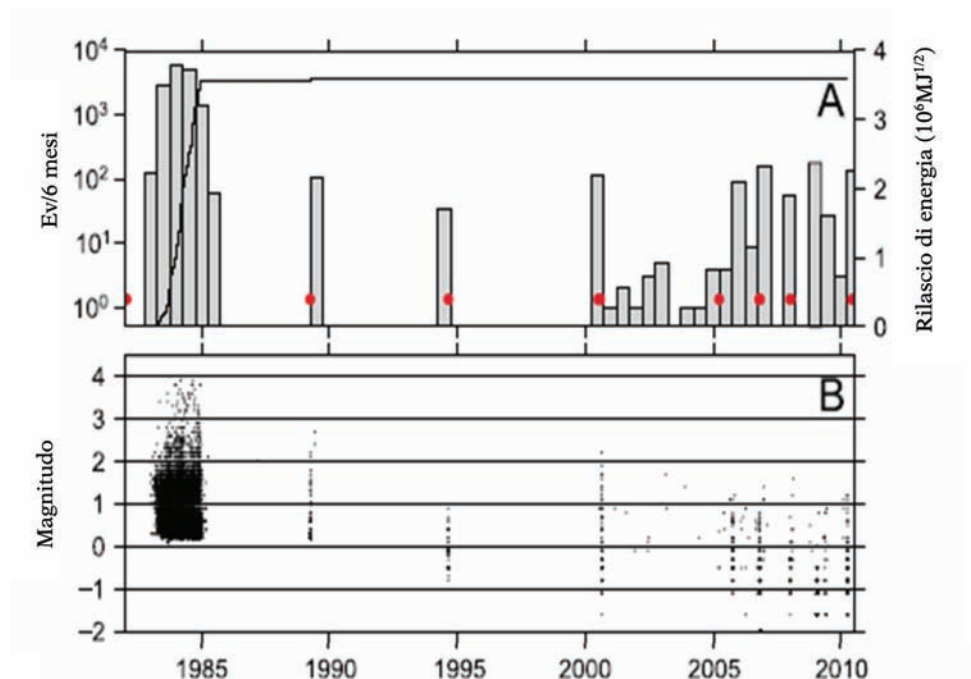
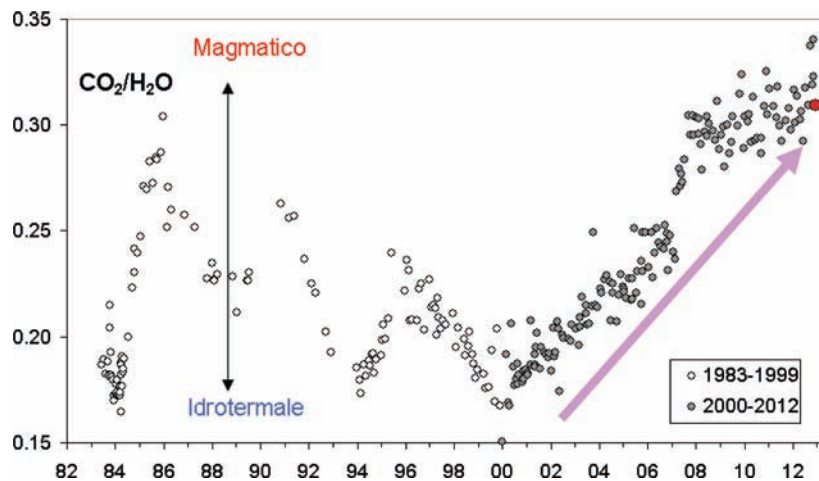


Figura 4.  
Cronogramma del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  per la fumarola BG (Bocca Grande, Solfatara). In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. In rosso sono evidenziati i valori relativi al periodo di interesse (Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi INGV-Osservatorio Vesuviano).



seguito da oltre sette anni. Unitamente alla bassa velocità di sollevamento, nettamente inferiore ai livelli della crisi bradisismica degli anni Ottanta, anche l'attività sismica si manifesta con una frequenza di accadimento bassa e distribuita nel tempo, generalmente in sequenze di piccoli sciami.

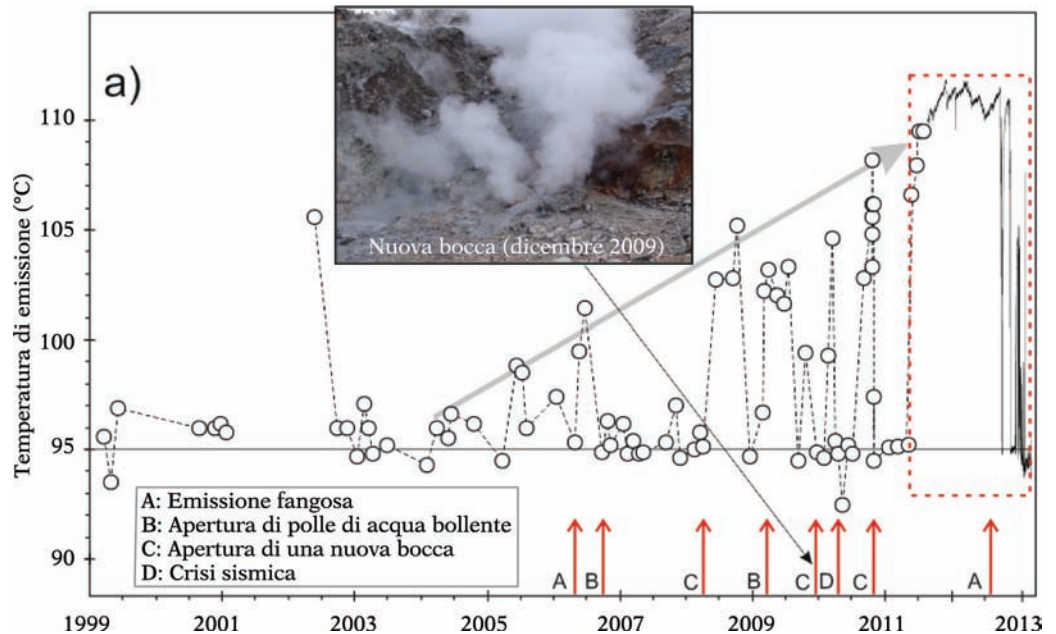
Evidenziata dalle attività di monitoraggio geochimico dell'Osservatorio Vesuviano, dal 2000 è stata rilevata un'altra importante variazione che riguarda le caratteristiche dei fluidi emessi sia dalle fumarole che dal suolo, e che interessa l'area sia interna che esterna alla Solfatara di Pozzuoli (Chiodini et al., 2010). Il monitoraggio geochimico è iniziato nel 1982-1985 con lo studio sistematico delle fumarole della Solfatara che, secondo le interpretazioni più recenti (Caliro et al., 2007), sono alimentate da una miscela di fluidi idrotermali e magmatici, questi ultimi con un alto contenuto in  $\text{CO}_2$  (65-70% in peso). La componente magmatica delle emissioni gassose, evidenziata dal rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , ha mostrato dei picchi che hanno sistematicamente seguito gli eventi bradisismici e che sono stati interpretati, simulandoli anche numericamente, come la manifestazione superficiale di immissioni di gas magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole.

Dopo l'ultimo episodio di temporanea inversione del bradisismo del 2000, all'epoca ancora in una fase complessivamente discendente, la frazione di fluidi magmatici delle fumarole della Solfatara è progressivamente aumentata (Figura 4), anticipando l'altrettanto lento processo di sollevamento già descritto.

Sempre dal 2000, l'andamento del degassamento diffuso della  $\text{CO}_2$  dal suolo, altro parametro rilevato con campagne di misura periodiche su un'area estesa che comprende la Solfatara, ha mostrato una progressiva estensione spaziale dell'emissione, che ha interessato maggiormente alcuni settori esterni alla Solfatara, tra cui l'area di Pisciarelli, localizzata sul bordo esterno del cratere della Solfatara. In particolare in questa zona, a partire dal 2006, sono evidenti anche nuovi fenomeni macroscopici, tra cui un notevole incremento dell'attività fumarolica, con un aumento dei flussi, accompagnato da un incremento delle temperature dei fluidi emessi (Figura 5).

La fenomenologia in corso è stata recentemente interpretata come dovuta, almeno in parte, a ripetuti episodi di iniezione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale, con un aumento della frequenza di iniezione nel tempo (Chiodini

Figura 5. Cronogramma delle temperature della fumarola di Pisciarelli, e degli eventi più significativi verificatisi in relazione all'aumento dell'attività idrotermale. La temperatura di 95° C rappresenta la temperatura di ebollizione per i fluidi fumarolici di Pisciarelli. Nella foto è riportata la nuova vigorosa fumarola sorta il 20 dicembre 2009 (dal Boll. Sorveglianza OV-INGV 2013).



et al., 2012). Questo processo produrrebbe anche un significativo aumento della pressione delle parti più superficiali del sistema, con i conseguenti fenomeni sismici e deformativi osservati. Anche se riferiti al solo periodo 2000-2007, recenti ricerche basate sull'inversione dei dati deformativi, ottenuti integrando sia misure a terra che dati derivati da interferometria satellitare InSAR, hanno identificato, a una profondità di alcuni km, una sorgente volumetrica complessa estesa spazialmente e variabile nel tempo (D'Auria et al., 2011; D'Auria et al., 2012). In particolare, è stato evidenziato che la sorgente è costituita da due parti localizzate a diversa profondità: una più superficiale, che risulta attivata con ritardo rispetto all'inizio degli episodi di sollevamento, ed una più profonda, associabile alla parte inferiore del sistema geotermico. Quest'ultima si espande nella fase iniziale del sollevamento, verosimilmente in risposta ad un input di massa e/o calore dalla sorgente magmatica sottostante, come ipotizzato anche dalle interpretazioni dei dati del monitoraggio geochimico.

La successiva espansione della sorgente superficiale, evidenziata dal processo di inversione dei dati deformativi, nell'interpretazione del fenomeno è attribuita al superamento di una soglia di pressione dei fluidi residenti nella sorgente profonda. In questa fase di trasferimento si genererebbero anche altri fenomeni, quali alcuni eventi sismici di tipo LP (Long Period), generalmente associati alla presenza o alla migrazione di fluidi in fratture, e una microsismicità molto superficiale, associabile alla graduale diffusione di fluidi nelle rocce circostanti. Tale processo abbasserebbe la resistenza delle rocce interessate da un sistema di fratture pervasivo. I fluidi, raggiungendo la superficie, darebbero origine alle variazioni geochimiche rilevate e ad alcuni fenomeni macroscopici, tra cui il notevole incremento dell'attività fumarolica osservata nell'area di Pisciarelli.

È da evidenziare che attualmente i fenomeni osservati sono di un'entità nettamente inferiore a quanto rilevato nel corso delle precedenti crisi bradisismiche. Allo stato attuale non si hanno

elementi per poter prevedere un'evoluzione a breve termine, non solo verso un'attività più intensa, confrontabile o maggiore rispetto a quanto avvenuto nel corso del bradisismo degli anni Ottanta, ma anche verso una regressione ed una ripresa della subsidenza. L'azione immediatamente richiesta all'Osservatorio Vesuviano dal passaggio al livello di "attenzione" è stata la maggiore frequenza nelle comunicazioni trasmesse al Dipartimento della Protezione Civile, e per questo i bollettini emessi sono passati da mensili a settimanali. Inoltre è richiesta un'azione di potenziamento delle attività di monitoraggio vulcanico dell'area. Per quest'ultima, che necessita anche di investimenti in termini di risorse umane ed attrezzature, è stato predisposto un piano da parte dell'INGV, che sarà sottoposto all'approvazione da parte del MIUR.

## Bibliografia

- Bollettini di Monitoraggio dei Vulcani, Sito web della Sezione INGV "Osservatorio Vesuviano" ([www.ov.ingv.it](http://www.ov.ingv.it)).
- Caliro S., G. Chiodini, R. Moretti, R. Avino, D. Granieri, M. Russo, J. Fiebig (2007). The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71, 3040-3055.
- Chiodini G., S. Caliro, C. Cardellini, D. Granieri, R. Avino, A. Baldini, M. Donnini, C. Minopoli (2010). Long term variations of the Campi Flegrei (Italy) volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity. *J. Geophys. Res.*, 115, B03205.
- Chiodini G., S. Caliro, P. De Martino, R. Avino, F. Gherardi (2012). Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Geology*, doi:10.1130/G33251.1.
- D'Auria L., F. Giudicepietro, I. Aquino, G. Borriello, C. Del Gaudio, D. Lo Bascio, M. Martini, G.P. Ricciardi, P. Ricciolino, C. Ricco (2011). Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (1989-2010). *J. Geophys. Res.*, 116, B04313, doi:10.1029/2010JB007837.
- D'Auria L., F. Giudicepietro, M. Martini, R. Lanari (2012). 4D imaging of the source of ground deformation at Campi Flegrei caldera (Southern Italy). *J. Geophys. Res.*, 117, B08209.
- Del Gaudio C., I. Aquino, G.P. Ricciardi, C. Ricco, R. Scandone, (2010). Unrest episodes at Campi Flegrei: A reconstruction of vertical ground movements during 1905-2009. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2010.05.014.
- Marturano A., E. Esposito, S. Porfido, G. Luongo (1988). Il terremoto del 4 ottobre 1983 (Pozzuoli): attenuazione dell'intensità con la distanza e relazione magnitudo-intensità. Zonazione della città di Napoli. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 941-948.