



# Bollettino di Sorveglianza Vulcani Campani

## Febbraio 2015

### 1 – VESUVIO

Al Vesuvio permane una lieve sismicità di fondo ed un'assenza di deformazioni significative. I dati delle telecamere termiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul versante del cratere.

#### 1.1 - Sismicità

Nel corso del mese di febbraio al Vesuvio sono stati registrati 124 terremoti (Fig. 1.1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 23 eventi. La magnitudo massima registrata è stata pari a 2.1 (evento del 24/02 alle 02:49). 22 eventi sono stati registrati all'interno di uno sciame iniziato alle 16:16 del 20/02 e durato circa 18 minuti ( $M_{max}=1.3$  evento del 20/02 alle 16:23). Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5).

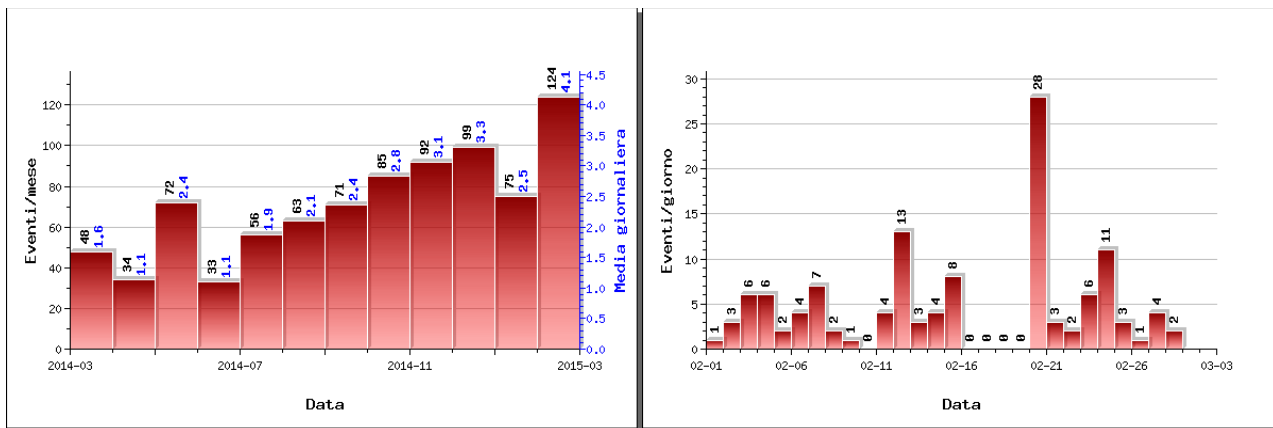


Figura 1.1.1 – A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 852), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 124).

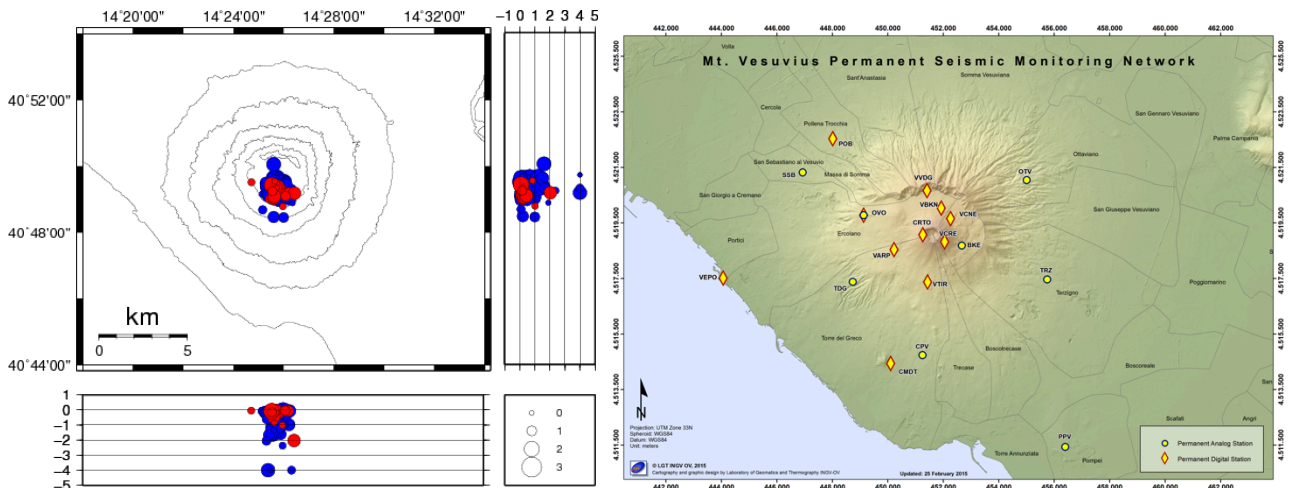


Figura 1.1.2 – Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica del Vesuvio.

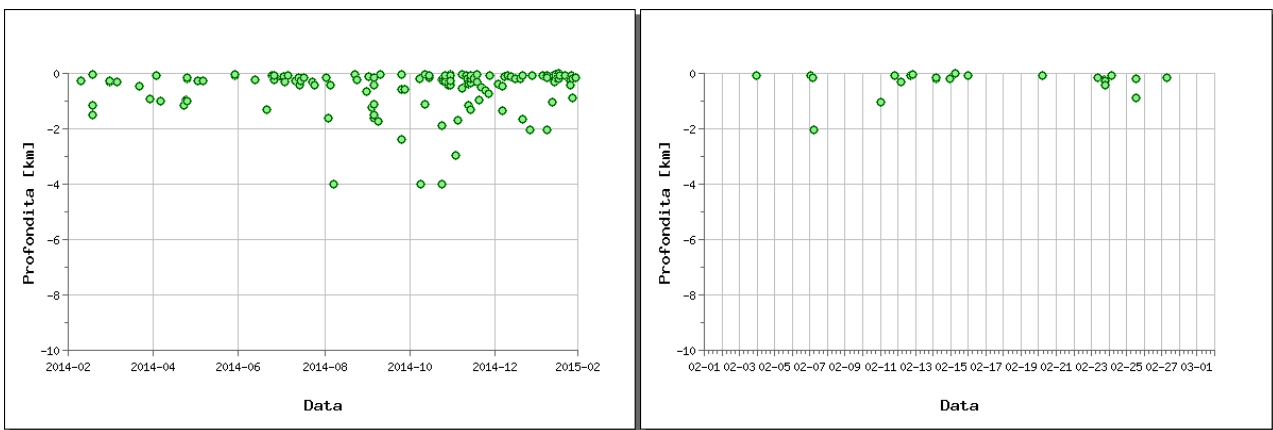


Figura 1.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

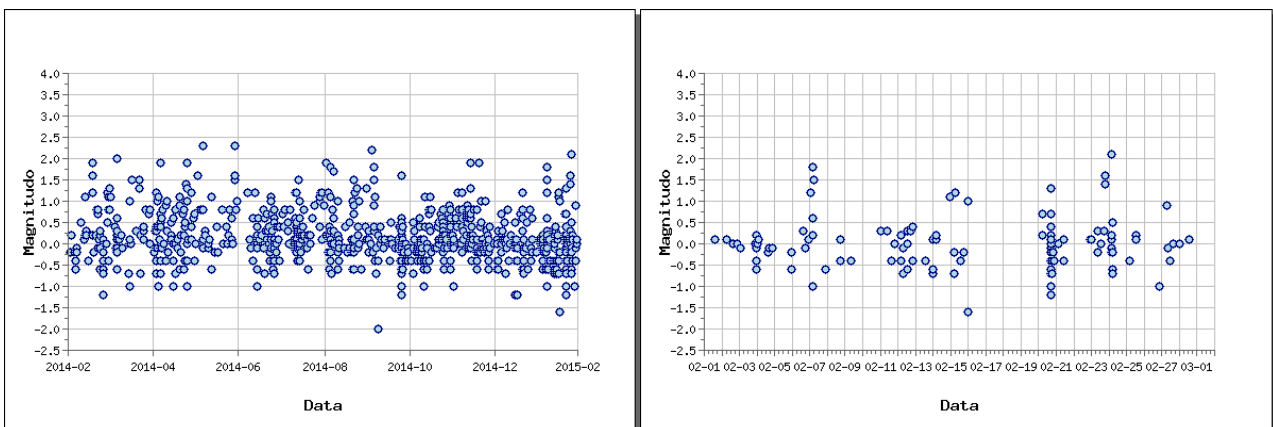


Figura 1.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

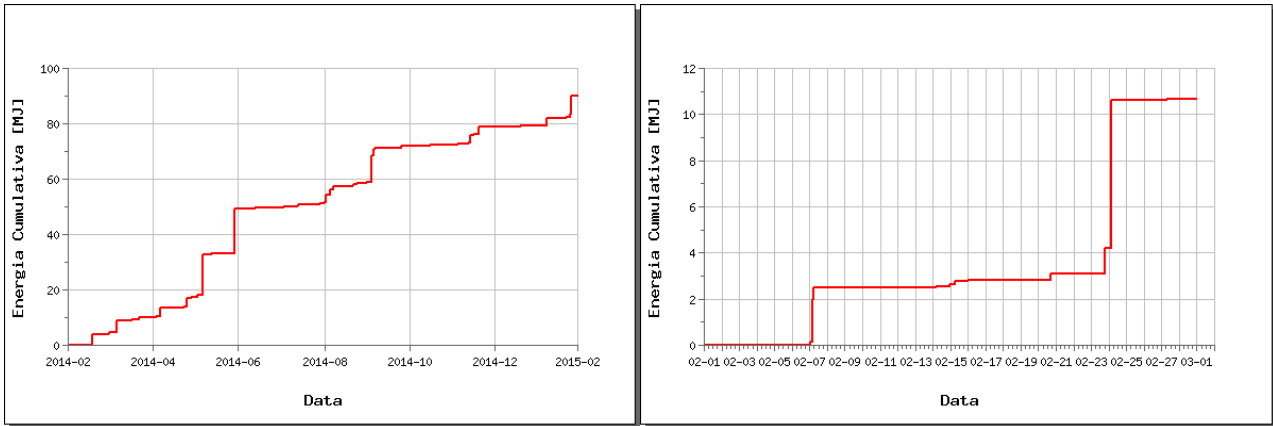


Figura 1.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

## 1.2 - Deformazioni del Suolo

Non si evidenziano deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici.

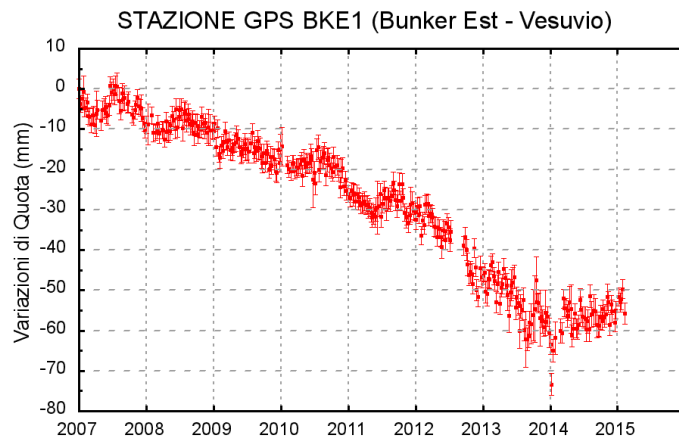


Fig. 1.2.1: Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) dal 2007 a febbraio 2015

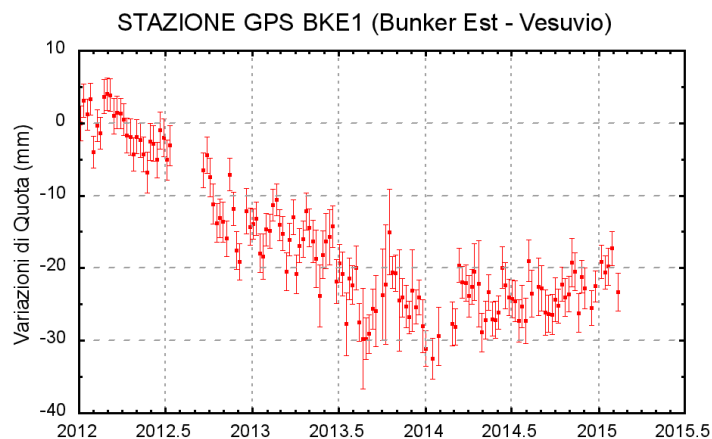


Fig. 1.2.2: Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) da gennaio 2012 a febbraio 2015

### 1.3 – Monitoraggio termico e geochimico

La stazione della rete permanente di monitoraggio termico acquisisce immagini all'infrarosso del versante interno nord orientale del cratere del Vesuvio (Sansivero et al., 2013).

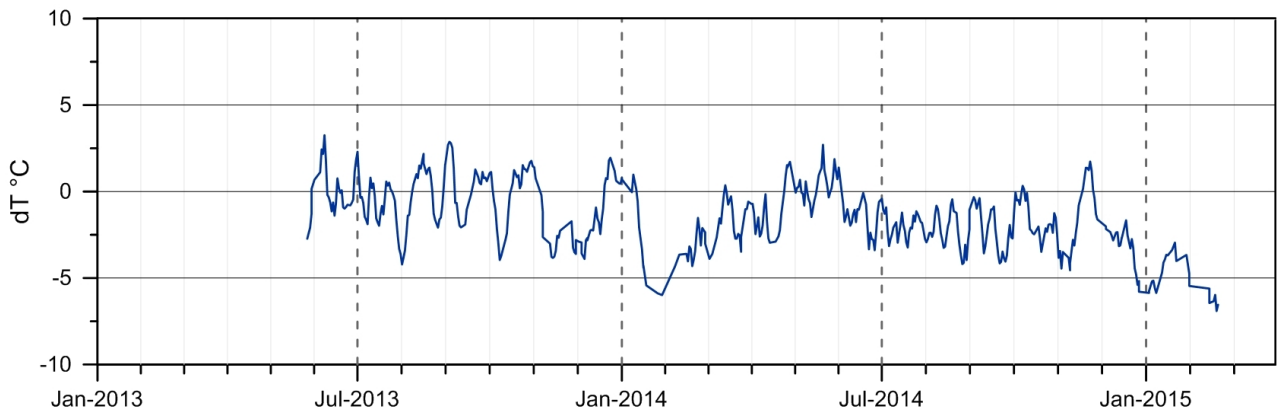


Figura 1.3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui ( $dT^{\circ}$ ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

L'elaborazione della serie temporale in Figura 1.3.1 evidenzia l'assenza di trend significativi ed una sostanziale stabilità nei valori del campo di temperatura superficiale nell'area d'analisi, con andamento caratterizzato da minimi stagionali nei mesi invernali.

Sansivero F., Scarpato G. and G. Vilardo (2013). The automated infrared thermal imaging system for the continuous long-term monitoring of the surface temperature of the Vesuvius crater. *Annals of Geophysics*, 56, 4, S0454; doi:10.4401/ag-6460.

Vilardo G., Sansivero F. and G. Chiodini (2015). Long-term TIR imagery processing for spatiotemporal monitoring of surface thermal features in volcanic environment: a case study in the Campi Flegrei (Southern Italy). *J. Geophys. Res. - Solid Earth*, doi: 10.1002/2014JB011497.

## 2 - CAMPI FLEGREI

Nel corso del mese di febbraio, ai Campi Flegrei sono stati registrati 7 terremoti di piccola magnitudo ( $M_{max}=0.9$ ). Nel mese di febbraio non si registrano deformazioni significative del suolo. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 65 mm a partire da gennaio 2014, di cui circa 55 mm da luglio 2014. I parametri geochimici rientrano nei trend già identificati in precedenza.

### 2.1 - Sismicità

Ai Campi Flegrei, nel corso dell'ultimo mese, sono stati registrati 7 terremoti (Fig. 2.1.1). La magnitudo massima registrata è stata pari a 0.9 (evento del 02/02 alle 22:01). 5 eventi sono stati registrati all'interno di un piccolo sciame sismico iniziato alle 21:08 del 25/02 e durato circa 2 minuti con  $M_{max}=-0.1$ . E' stato possibile localizzare 2 terremoti. I loro epicentri ricadono nell'area a nord di Pozzuoli a profondità di circa 1 km. Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5).

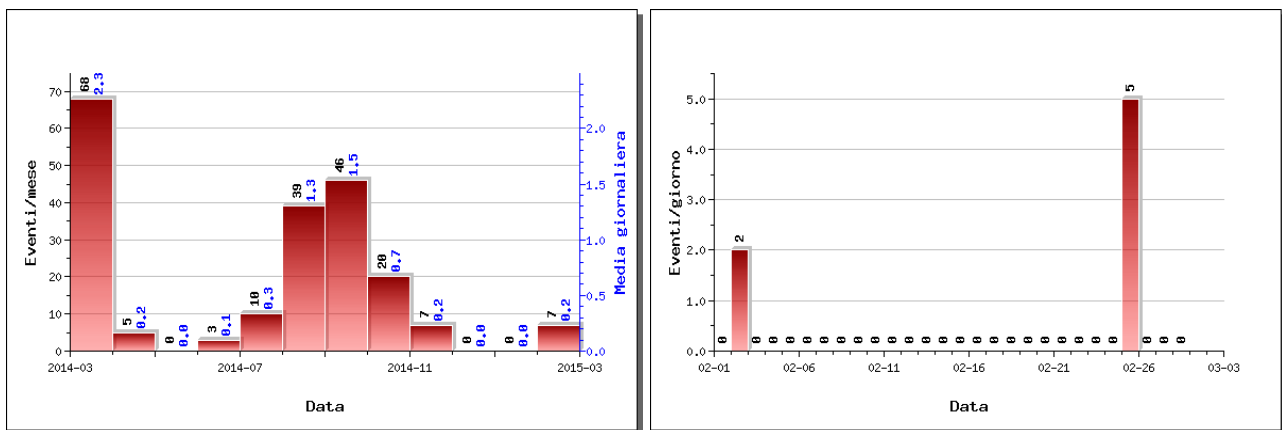


Figura 2.1.1 – A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 205), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 7).

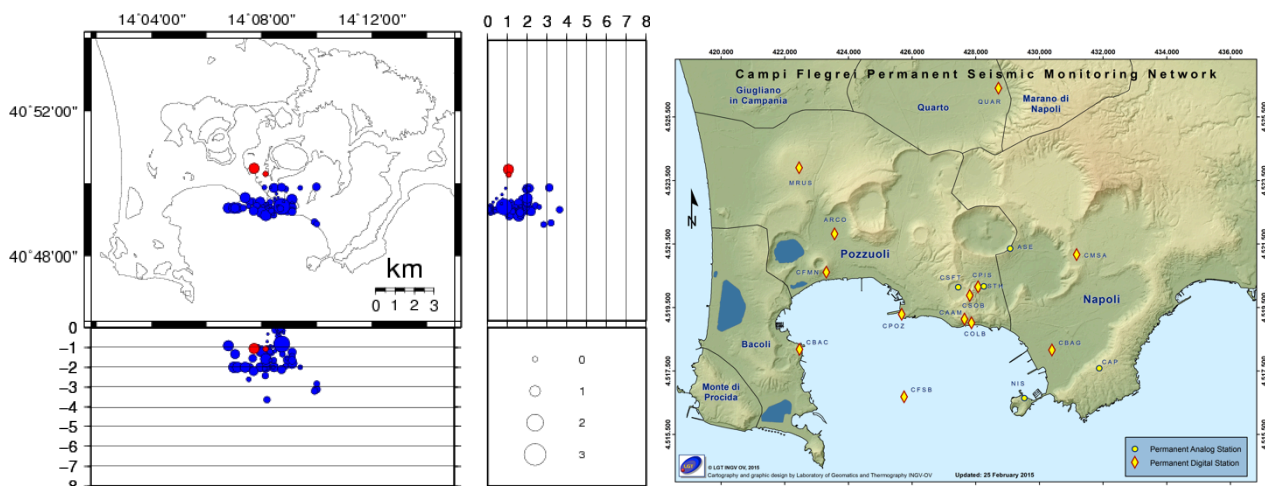


Figura 2.1.2 – Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica dei Campi Flegrei.

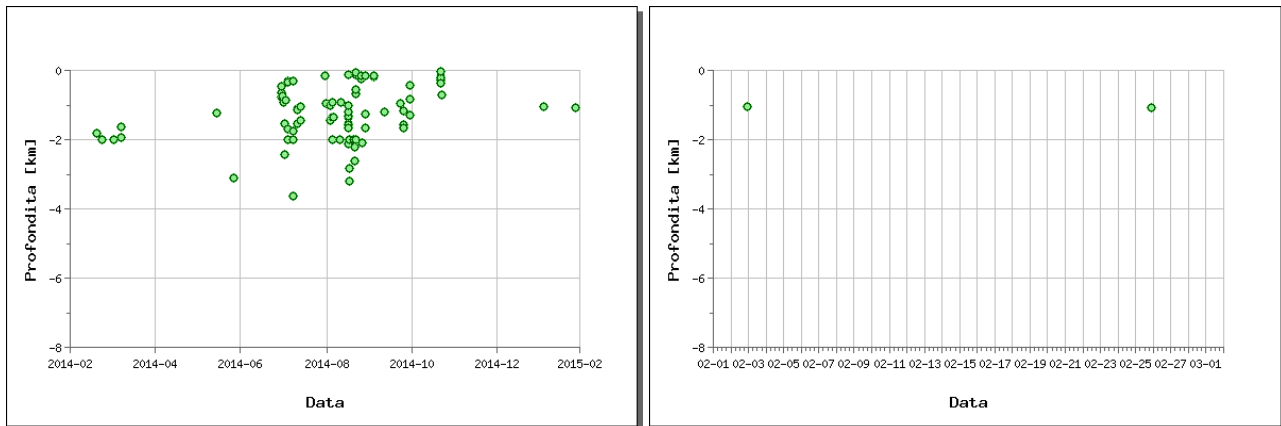


Figura 2.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

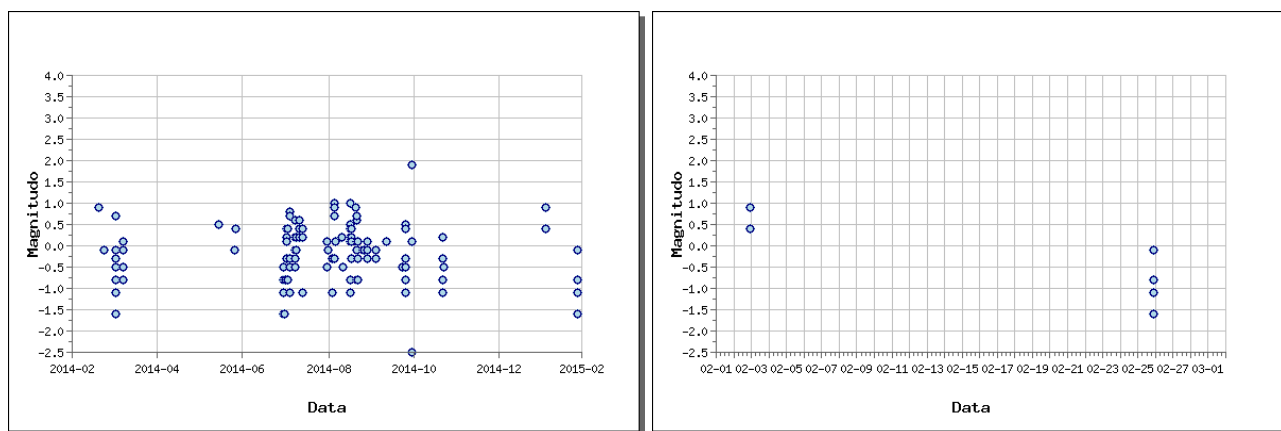


Figura 2.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

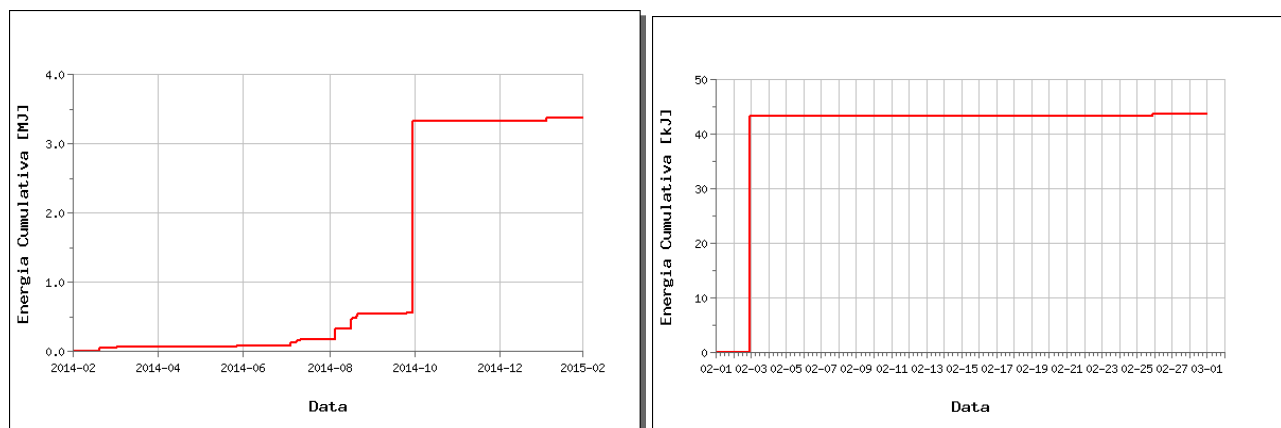


Figura 2.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

## 2.2 - Deformazioni del Suolo

Nel mese di febbraio non si registrano deformazioni significative del suolo. Il lieve trend di sollevamento (circa 0.5 cm/mese) registrato nello scorso periodo dicembre 2014 – gennaio 2015 sembra essere cessato. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 65 mm a partire da gennaio 2014, di cui circa 55 mm da luglio 2014 (Fig. 2.2.1 e Fig. 2.2.2).



Fig. 2.2.1: Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 2000 a febbraio 2015

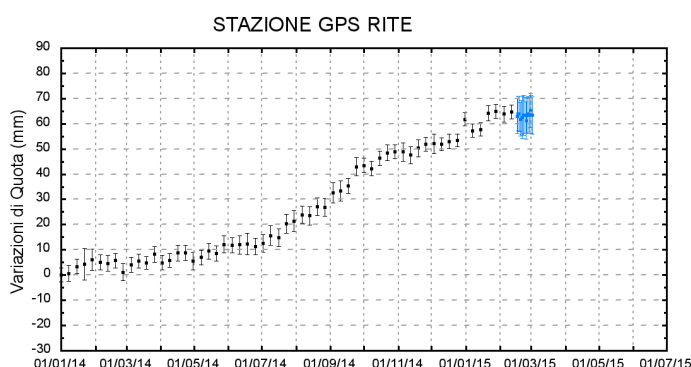


Fig. 2.2.2: Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 01 gennaio 2014 al 02 marzo 2015 (vedi bollettino settimanale)

### 2.3 –Geochimica dei fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di Febbraio ha riguardato: l'acquisizione in continuo di dati di flusso di  $\text{CO}_2$  dal suolo e della temperatura della fumarola principale a Pisciarelli; l'acquisizione in continuo di dati di flusso di  $\text{CO}_2$  dal suolo nel cratere della Solfatara; misure di flusso di  $\text{CO}_2$  dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nelle are della Solfatara e di Pisciarelli; il campionamento delle principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli. Di seguito vengono riportate le osservazioni più rilevanti sui nuovi dati acquisiti.

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo del sistema idrotermale della Solfatara, delle variazioni composizionali registrate e delle possibili interpretazioni sono riportate nei seguenti lavori scientifici: Caliro et al., (2007; 2014); Chiodini (2009); Chiodini et al., (2010; 2011; 2012; 2015), ai quali si rimanda per approfondimento.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati non mostrano variazioni significative della composizione dei fluidi fumarolici rispetto al periodo precedente, rientrando nei trends già identificati in precedenza (vedi rapporti di sorveglianza precedenti; Figg. 2.3.1-4).

Il rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  delle fumarole, in aumento a partire dal 2000 (Fig. 2.3.1), si è mantenuto su valori elevati che, in generale, testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici (Caliro et al., 2007; Chiodini et al., 2010). Recenti studi mettono in evidenza come possibili processi di condensazione del vapore nel sistema idrotermale, in risposta ad un aumento del flusso dei fluidi magmatici (e della pressione), possano contribuire all'aumento del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  (Chiodini et al., 2015).

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indicano la progressiva pressurizzazione delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare la  $p_{\text{CO}_2}$  d'equilibrio stimata all'interno del sistema gassoso  $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2-\text{CO}_2-\text{CO}$  (Chiodini et al., 2011) sta aumentando dal 2007 (Fig. 2.3.2). L'aumento della stima della  $p_{\text{CO}_2}$ , e della temperatura, in gran parte riflette l'aumento nelle concentrazioni di monossido di carbonio (CO) dei fluidi fumarolici. Dati di CO sono disponibili alla Solfatara di Pozzuoli fin dalla crisi del 1983-84. Dopo un primo periodo di oscillazioni delle concentrazioni, si è assistito a partire dal 2000 ad un ben definito trend di crescita delle concentrazioni, trend che è ancora in corso (fumarola BG, Fig. 2.3.3).

Il cronogramma del rapporto  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  (Fig. 2.3.4) mostra picchi positivi, interpretabili come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in  $\text{CH}_4$ , nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010; 2011; 2012). I vari picchi corrisponderebbero quindi ad eventi di degassamento magmatico e conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda ad uno specifico lavoro scientifico (Chiodini et al., 2012). Inoltre, in Figura 2.3.4, è possibile riconoscere un trend d'aumento del rapporto a partire dal 2000. Sia l'aumento della temperatura di equilibrio della parte più profonda del sistema idrotermale che variazioni delle sue condizioni redox (verso condizioni più ossidanti, magmatiche) possono essere la causa dell'aumento del rapporto  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  (i.e. diminuzione relativa delle concentrazioni di  $\text{CH}_4$ ) (Chiodini et al., 2015).

Il processo di pressurizzazione della parte più superficiale del sistema idrotermale, iniziato a partire dal 2007 (Chiodini et al., 2011) e tuttora in corso, causa a nostro avviso la variazione macroscopica dell'area di emissione che da qualche anno interessa l'area di Pisciarelli (Fig. 2.3.5) e che ha riguardato: l'apertura di vent fumarolici e di polle bollenti, l'emissione di fango, attività sismica localizzata, l'aumento della temperatura delle fumarole (Figg. 2.3.6, 2.3.7), l'aumento dei flussi misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig. 2.3.8).

In particolare va evidenziato il continuo incremento della temperatura della fumarola di Pisciarelli, che nel mese di Febbraio ha mostrato un repentino aumento di circa  $3\text{ }^\circ\text{C}$  tra due misure successive (2 ore) raggiungendo il valore di  $\sim 117\text{ }^\circ\text{C}$ , valore più alto mai registrato (Fig. 2.3.7), segno di un possibile evento di pressurizzazione locale. Una fenomenologia simile è già stata osservata nel mese di Luglio 2014. Le oscillazioni della temperatura misurate, sono imputabili a variazioni macroscopiche del sito di emissione (emissioni di fango, frane e modifiche del vent principale).

I flussi di  $\text{CO}_2$  dal suolo, misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig. 2.3.8), nel mese di Febbraio mostrano valori medi di  $\sim 38\text{ kg m}^{-2}\text{d}^{-1}$ .

Segnaliamo che, in misure di degassamento diffuso effettuate nella zona Solfatara-Pisciarelli da un gruppo di geochimici dell'Università di Perugia negli ultimi giorni di Gennaio 2015 nell'ambito del Progetto INGV-DPC V2, è stato registrato un picco di degassamento che gli stessi sostengono essere il più alto da quando effettuano, periodicamente, tali misure (1998).

Giovanni Chiodini, in una nota al Direttore di Sezione ed al Direttore di Struttura Vulcani, mette in relazione tale picco con un aumento del rumore sismico registrato a partire dal 2014 alla stazione di Pisciarelli. La coincidenza della campagna di misure con un periodo (ed un'intera stagione) estremamente piovoso e climaticamente anomalo, l'assenza di considerazioni sui possibili errori di misura sistematici e casuali, nonché l'assenza di un evidente aumento di rumore sismico nelle stazioni dell'area Solfatara-Pisciarelli, eccetto la stazione di Pisciarelli localizzata in prossimità della fumarola, non consentono al momento una valutazione quantitativa dei risultati della campagna. Il gruppo di Perugia, ammettendo tali attuali problemi interpretativi nella sua relazione, si propone di ripetere tali misure in modo da verificarne l'oggettiva robustezza.

#### Bibliografia:

- Caliro S., Chiodini G., Moretti R., Avino R., Granieri D., Russo M., and Fiebig J. (2007) The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, 3040-3055. doi:10.1016/j.gca.2007.04.007.
- Caliro S., Chiodini G., and Paonita A. (2014) Geochemical evidences of magma dynamics at Campi Flegrei (Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta* **132**, 1-15. doi:10.1016/j.gca.2014.01.021.
- Chiodini, G. (2009), CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> ratio in fumaroles a powerful tool to detect magma degassing episodes at quiescent volcanoes., *Geophys. Res. Lett.*, doi: [10.1029/2008GL036347](https://doi.org/10.1029/2008GL036347)
- Chiodini, G., S. Caliro, C. Cardellini, D. Granieri, R. Avino, A. Baldini, M. Donnini, and 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, doi:10.1029/2008JB006258.
- Chiodini, G., R. Avino, S. Caliro, C. Minopoli (2011) Temperature and pressure gas geoindicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei). *Annals Geophysics*, **54**, 2. doi: 10.4401/ag-5002
- Chiodini G., Caliro S., De Martino P., Avino R. and Gherardi F. (2012). Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Gelogy*, doi:10.1130/G33251.1
- Chiodini G., Vandemeulebrouck J., Caliro S, D'Auria L., De Martino P, Mangiacapra A., Petrillo Z. (2015) Evidence of thermal driven processes triggering the 2005-2014 unrest at Campi Flegrei caldera. *Earth Planet. Sci. Lett.* **414**, 58-67. doi:10.1016/j.epsl.2015.01.012

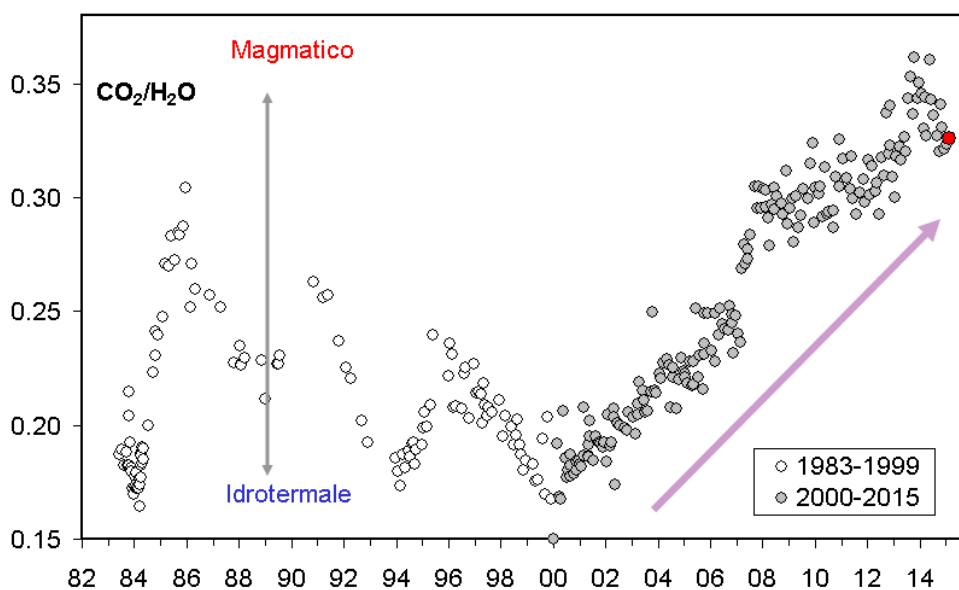


Fig 2.3.1 Cronogramma del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. In rosso è evidenziato il campione di Febbraio 2015.

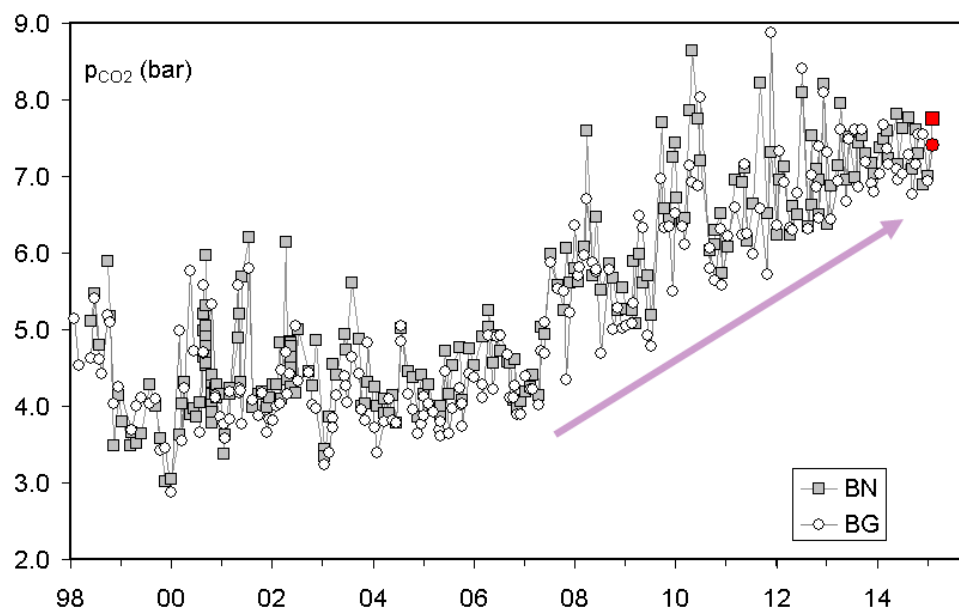


Fig 2.3.2 -Cronogramma della pressione di  $\text{CO}_2$  d'equilibrio stimata nel sistema  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{H}_2-\text{CO}$  per le fumarole BG e BN. In rosso sono evidenziati i dati relativi ai campioni relativi a Febbraio 2015.

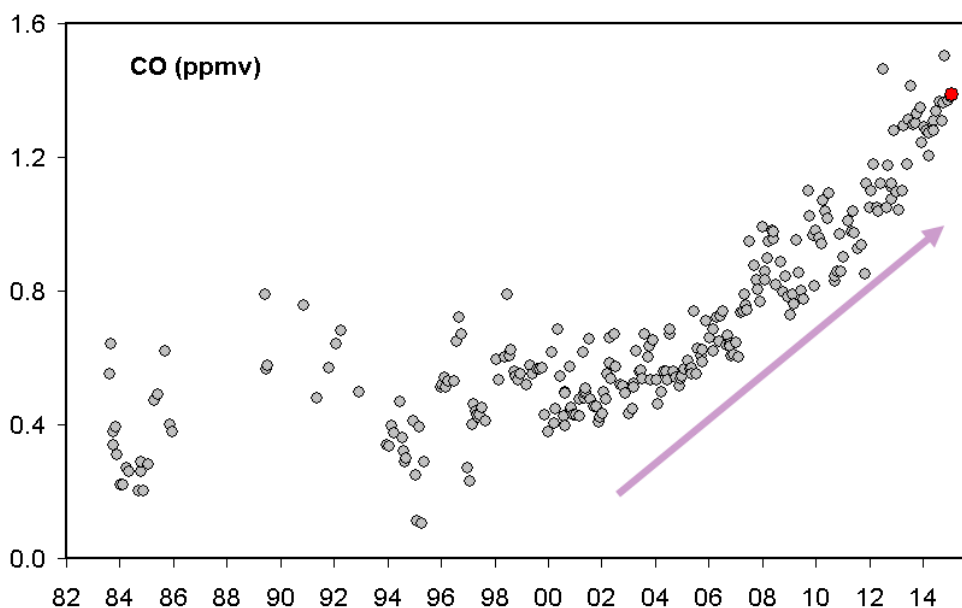


Fig. 2.3.3 – Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. In rosso è evidenziato il campione relativo al mese di Febbraio 2015. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate da sistemi idrotermali mostrano concentrazioni più basse, in tali sistemi un aumento delle concentrazioni di CO può riflettere un incremento delle condizioni di pressione e temperatura.

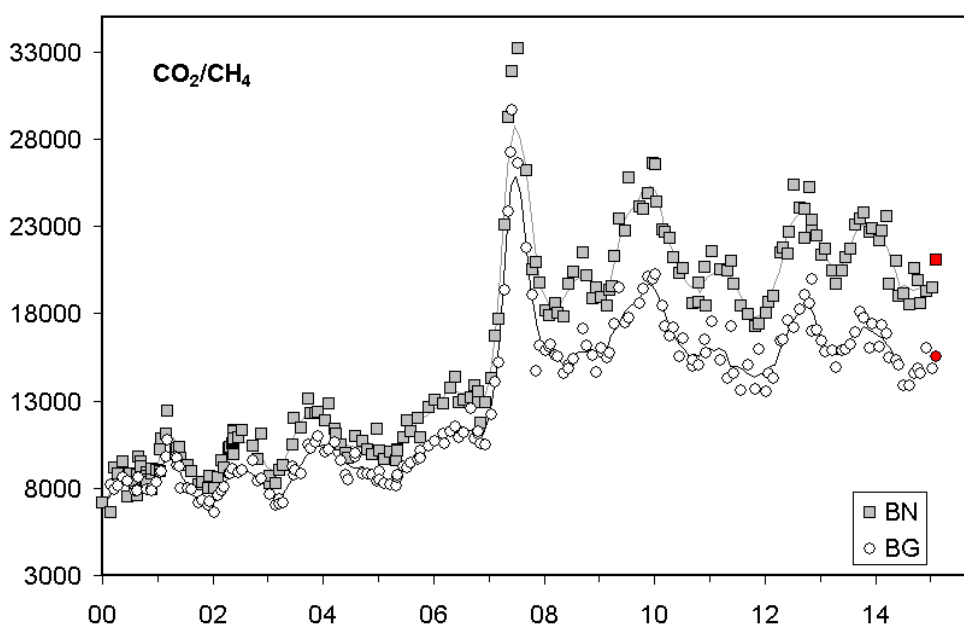


Fig. 2.3.4 – Variazioni del rapporto  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). In rosso sono evidenziati i valori relativi ai campioni di Febbraio 2015.

## PISCIARELLI



Fig. 2.3.5 Variazioni macroscopiche dell'area di emissione di Pisciarelli dal 2005.

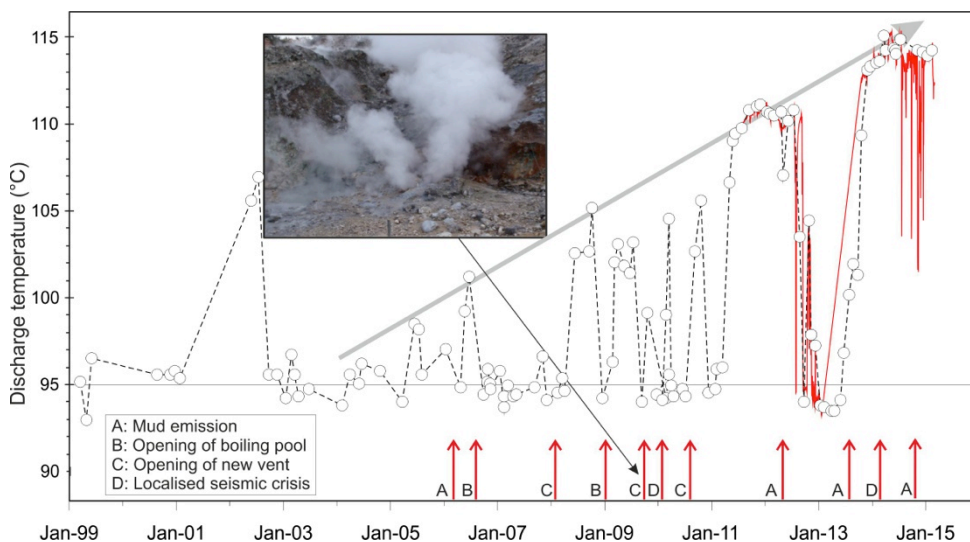


Fig. 2.3.6 Cronogramma delle temperature (°C) della fumarola di Pisciarelli e dei maggiori eventi occorsi legati all'aumento dell'attività idrotermale (i cerchi si riferiscono a misure discrete, la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere delle misure in continuo). La temperatura di 95°C rappresenta la temperatura di ebollizione per i fluidi fumarolici di Pisciarelli. Nella foto è riportata la nuova vigorosa fumarola sorta il 20 dicembre 2009.

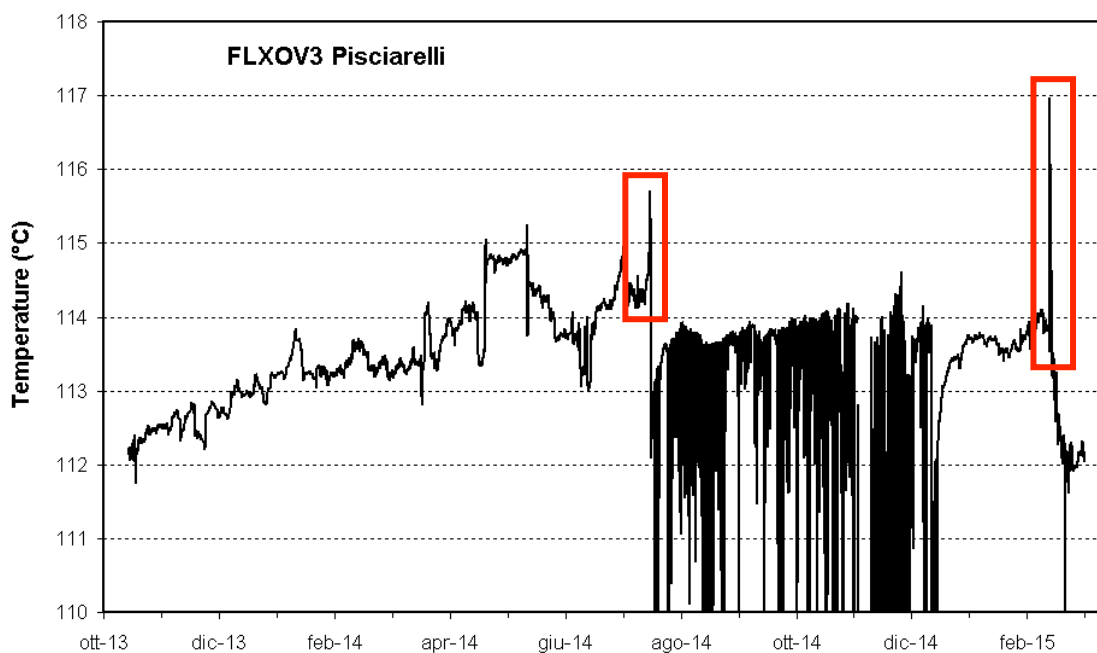


Fig. 2.3.7 Temperature registrate in continuo della fumarola di Pisciarelli. a) È da evidenziare il repentino aumento della temperatura che nel mese di Febbraio ha mostrato un repentino aumento di circa 3 °C tra due misure successive (2 ore) raggiungendo il valore di ~ 117 °C, fenomeno possibilmente legato ad un processo di pressurizzazione locale. Un evento simile, accompagnato dall'emissione di una fase liquida (fango), è stato osservato a Luglio 2014.



Fig. 2.3.8 Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO<sub>2</sub> misurati a Pisciarelli (FLXOV3). La media mensile dei flussi relativa al mese di Febbraio è riportata con il simbolo rosso.



### 3 – ISCHIA

Ad Ischia nel corso del mese di febbraio 2015 non sono stati registrati eventi sismici. Per quanto riguarda le deformazioni del suolo, permane una lieve subsidenza generale, più marcata nella parte meridionale dell'isola.

#### 3.1 - Sismicità

Nel corso dell'ultimo mese, ad Ischia, non sono stati registrati terremoti. L'ultimo evento è avvenuto il 04/07/2014 con magnitudo pari a 1.2.

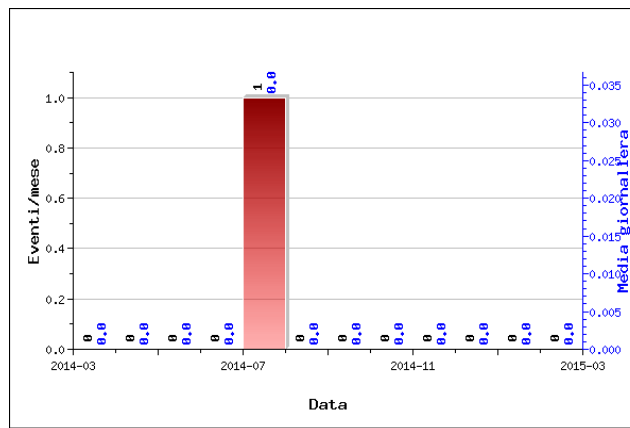


Figura 3.1.1 – Numero di eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1).

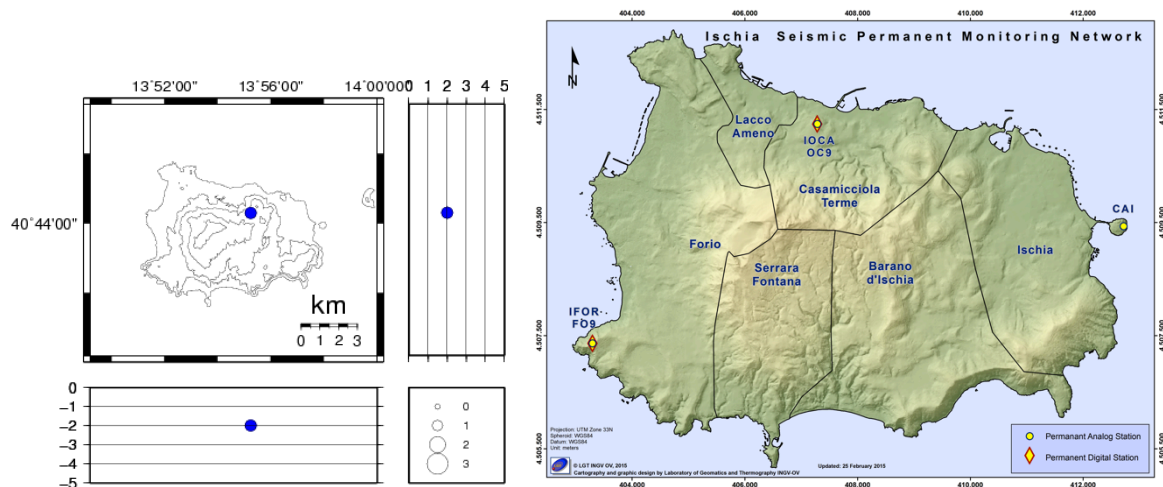


Figura 3.1.2 – Localizzazione ipocentrale degli eventi localizzati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione del simbolo è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica di Ischia.

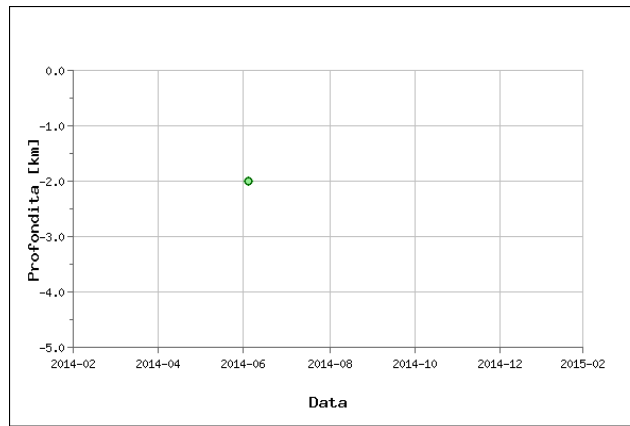


Figura 3.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

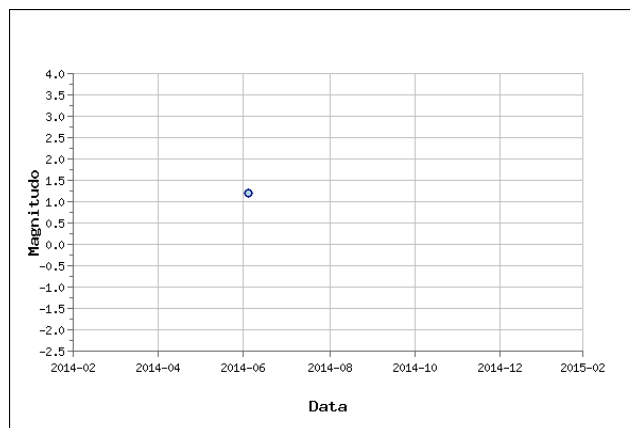


Figura 3.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

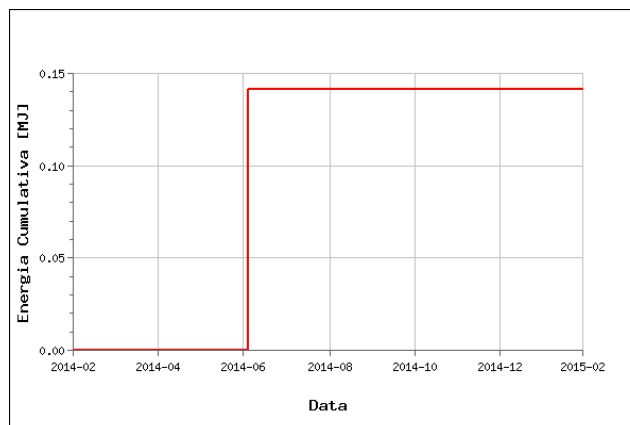


Figura 3.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

### 3.2 - Deformazioni del Suolo

L'analisi delle serie temporali GPS conferma la generale subsidenza dell'isola con valori più elevati nel settore meridionale dell'isola (fig 3.2.1 e 3.2.2).

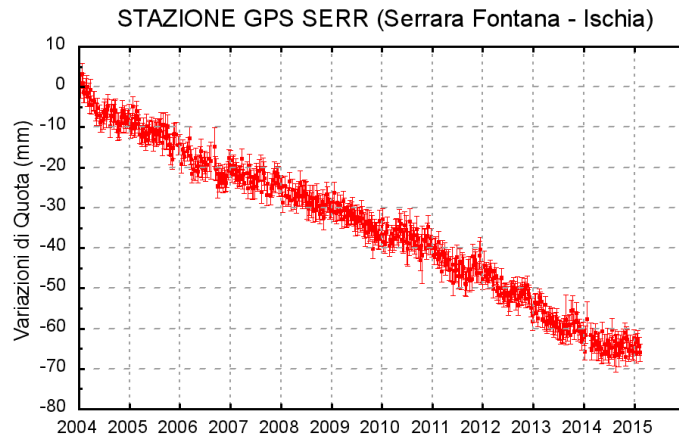


Fig. 3.2.1: Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) dal 2004 a febbraio 2015

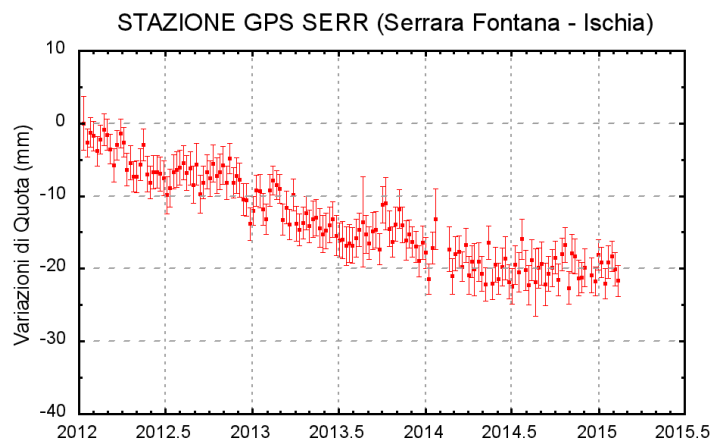


Fig. 3.2.2: Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) da gennaio 2012 a febbraio 2015

## **Responsabilità e proprietà dei dati**

L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L. 381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo alla organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.

L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate dall'Accordo di programma decennale stipulato tra lo stesso INGV e il DPC in data 2 febbraio 2012 (Prot. INGV 2052 del 27/2/2012), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato A del suddetto Accordo Quadro, ha la finalità di informare il Dipartimento della Protezione Civile circa le osservazioni e i dati acquisiti dalle reti di monitoraggio gestite dall'INGV su fenomeni naturali di interesse per lo stesso Dipartimento.

L'INGV fornisce informazioni scientifiche utilizzando le migliori conoscenze scientifiche disponibili; tuttavia, in conseguenza della complessità dei fenomeni naturali in oggetto, nulla può essere imputato all'INGV circa l'eventuale incompletezza ed incertezza dei dati riportati e circa accadimenti futuri che differiscano da eventuali affermazioni a carattere previsionale presenti in questo documento. Tali affermazioni, infatti, sono per loro natura affette da intrinseca incertezza.

L'INGV non è responsabile dell'utilizzo, anche parziale, dei contenuti di questo documento da parte di terzi, e/o delle decisioni assunte dal Dipartimento della Protezione Civile, dagli organi di consulenza dello stesso Dipartimento, da altri Centri di Competenza, dai membri del Sistema Nazionale di Protezione Civile o da altre autorità preposte alla tutela del territorio e della popolazione, sulla base delle informazioni contenute in questo documento. L'INGV non è altresì responsabile di eventuali danni recati a terzi derivanti dalle stesse decisioni.

La proprietà dei dati contenuti in questo documento è dell'INGV. La diffusione anche parziale dei contenuti è consentita solo per fini di protezione civile ed in conformità a quanto specificatamente previsto dall'Accordo Quadro sopra citato tra INGV e Dipartimento della Protezione Civile.