



# Bollettino di Sorveglianza Vulcani Campani

## Luglio 2015

### 1 - VESUVIO

Al Vesuvio permane una lieve sismicità di fondo ed un'assenza di deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche. I dati delle telecamere termiche e le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul versante del cratere.

#### 1.1 - Sismicità

Nel corso del mese di luglio al Vesuvio sono stati registrati 114 terremoti (Fig. 1.1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 81 eventi. La magnitudo massima registrata è stata pari a 1.9 (eventi del 07/07 alle 00:44 e del 12/07 alle 05:47). 48 eventi sono stati registrati all'interno di due sciami sismici: il primo (24 terremoti con  $M_{max}=1.9$ ) iniziato alle 00:41 del 07/07 e durato circa 1 ora, il secondo (24 terremoti con  $M_{max}=1.1$ ) iniziato alle 00:37 del 14/07 e durato circa 2 ore. Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5).

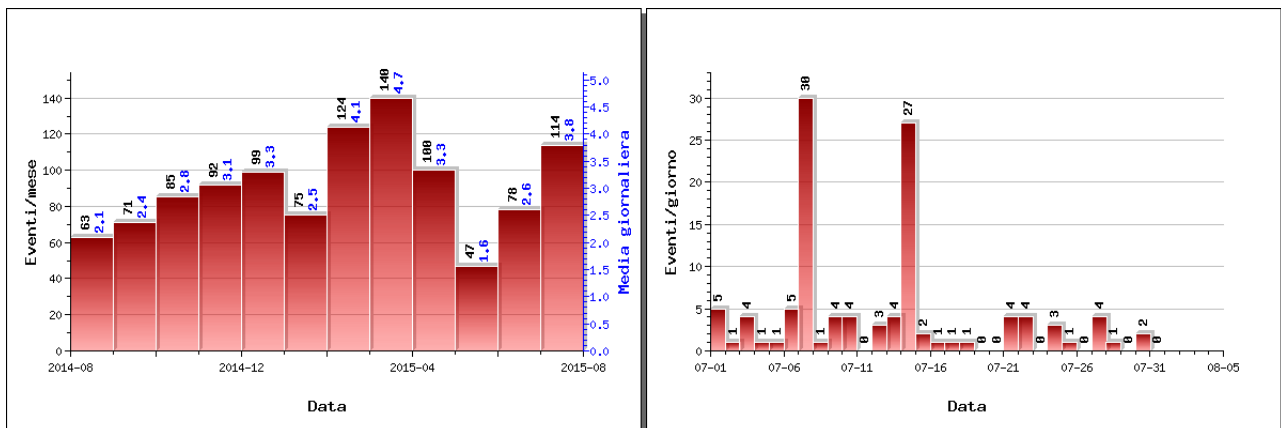


Figura 1.1.1 – A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1088), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 114).

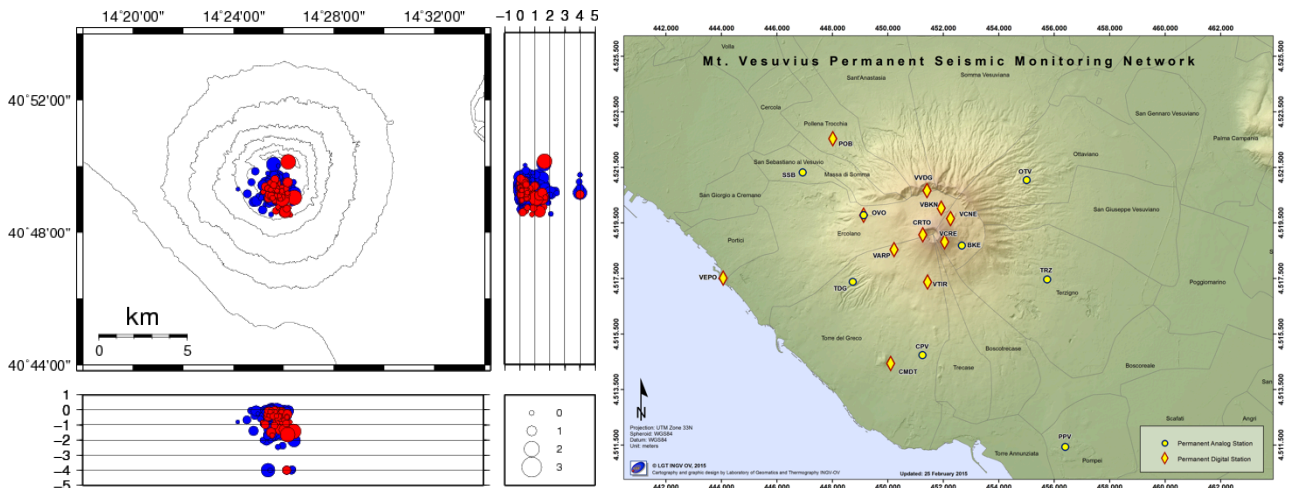


Figura 1.1.2 – Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica del Vesuvio.

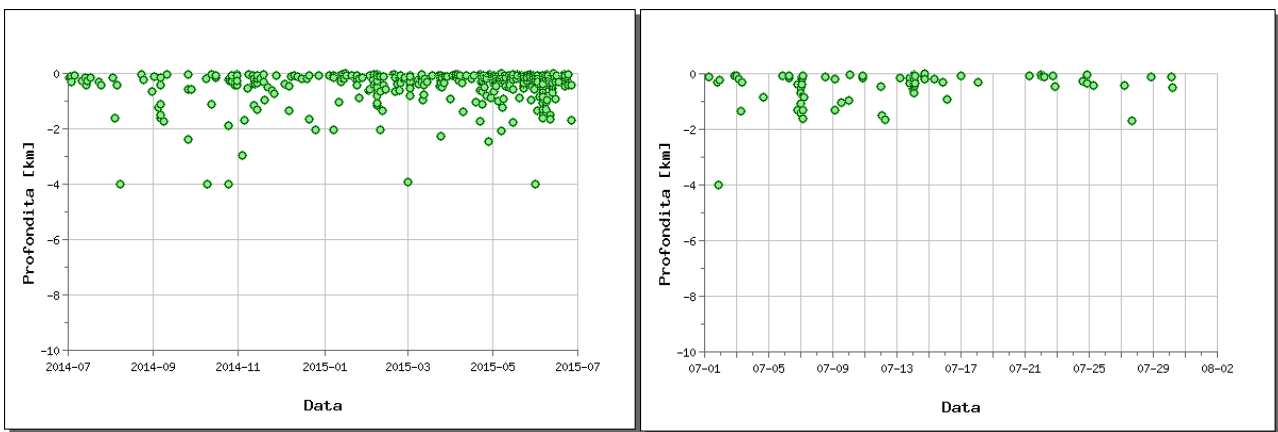


Figura 1.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

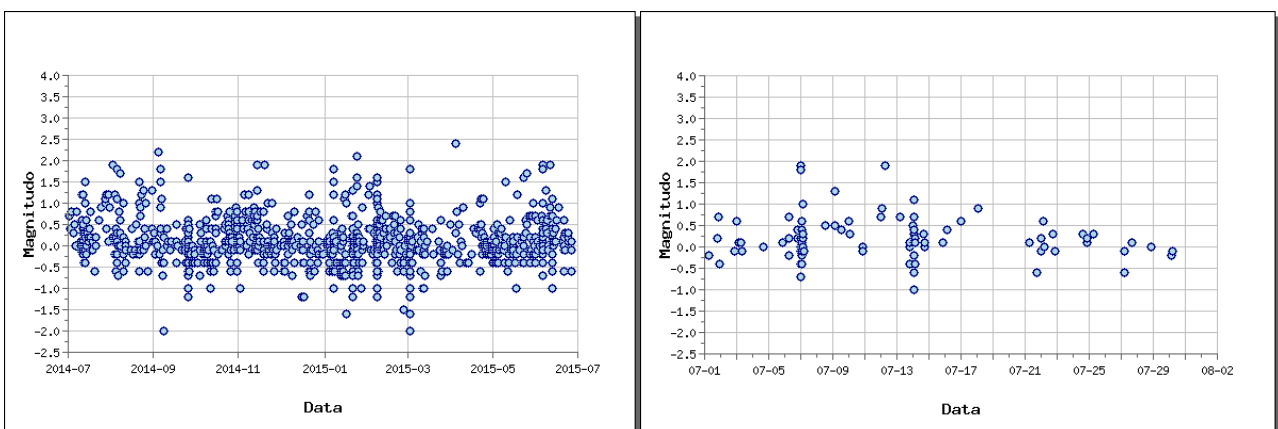


Figura 1.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

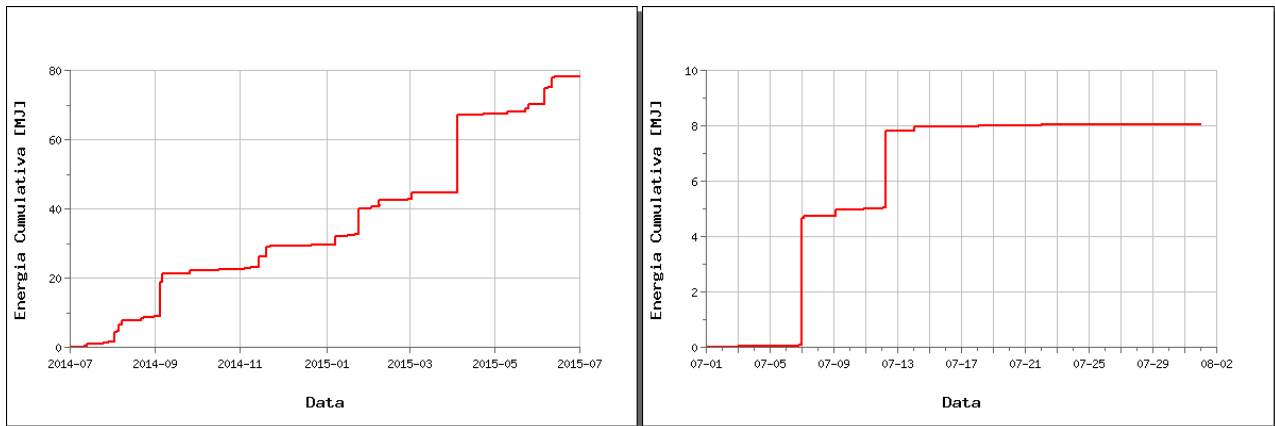


Figura 1.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

## 1.2 - Deformazioni del Suolo

Non si evidenziano deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici (Fig. 1.2.1 e Fig. 1.2.2).

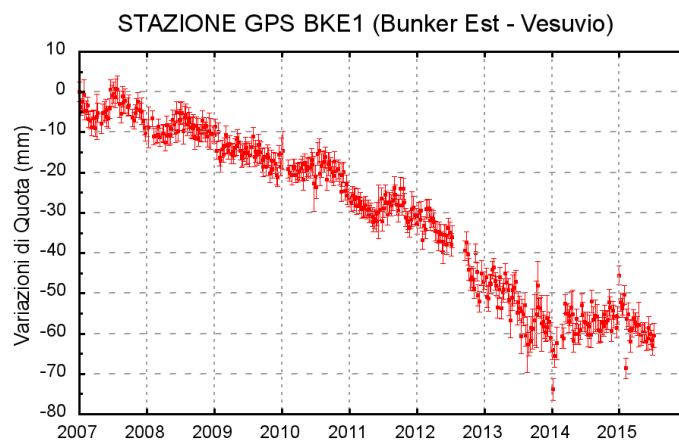


Figura 1.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) dal 2007 a luglio 2015.

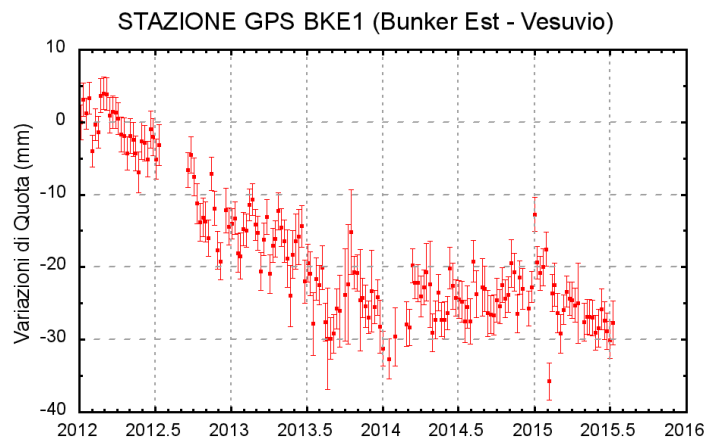


Figura 1.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di BKE1 (Vesuvio) da gennaio 2012 a luglio 2015.

### 1.3 – Monitoraggio termico

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).

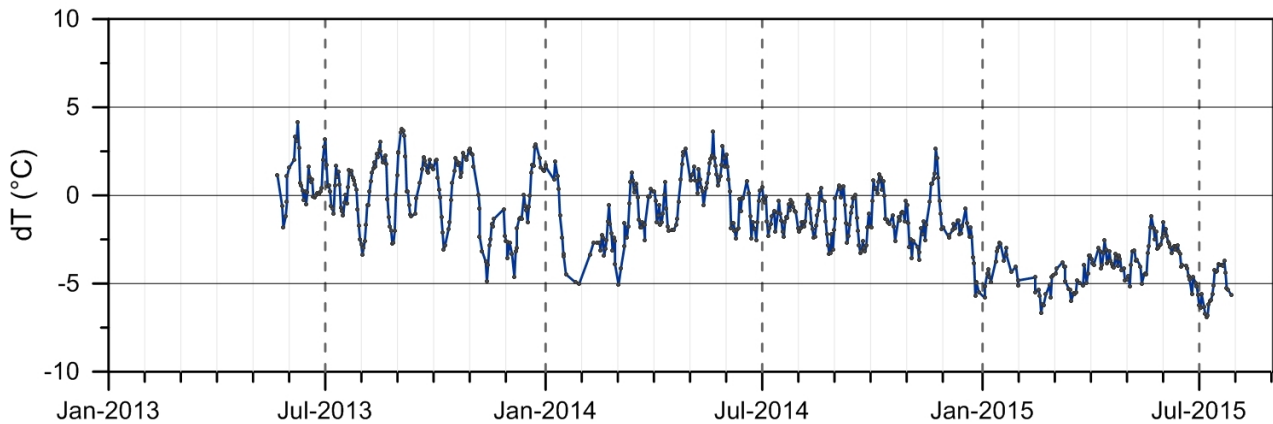


Figura 1.3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui ( $dT^\circ$ ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

L'elaborazione della serie temporale in Figura 1.3.1 evidenzia l'assenza di trend significativi ed una sostanziale stabilità del campo di temperatura superficiale nell'area d'analisi.

#### Riferimenti

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*, 120 (2), 812-826, doi:10.1002/2014JB011497.

### 1.4 – Monitoraggio geochemico

Nel mese di luglio 2015 sono stati effettuati due campionamenti della fumarola FC2 sita sul fondo del cratere del Vesuvio. Di seguito vengono riportate le osservazioni più rilevanti sui dati acquisiti.

Una dettagliata descrizione del modello geochemico interpretativo del sistema idrotermale del Vesuvio è riportata nel lavoro scientifico Chiodini et al., (2001) e nei precedenti rapporti di sorveglianza in cui sono state segnalate variazioni della composizione delle fumarole interne al cratere. In particolare a partire dal terremoto del 9 ottobre 1999 ( $M_d=3.6$ ) sono stati misurati per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto  $He/CO_2$  che della  $pCO_2$  stimata sulla base di geindicatori gassosi. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione del rapporto  $H_2/CO_2$  e l'incremento del rapporto  $CO_2/CH_4$  (Fig. 1.3.1, vedi rapporto finale 2001 e 2002). Tali variazioni sono state interpretate come un incremento dell'input di fluidi magmatici più ossidanti, poveri in  $CH_4$  e ricchi in He nel sistema idrotermale. A partire dall'autunno 2002, le composizioni chimiche delle fumarole hanno mostrato un graduale ritorno dei valori verso le condizioni pre-1999. Una dettagliata descrizione delle variazioni e delle possibili interpretazioni sono riportate nel lavoro scientifico Caliro et al. (2011).

Va comunque segnalato che nei campioni degli ultimi due anni si registra un lieve aumento del rapporto CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> ed He/CO<sub>2</sub>, rispetto ai valori più bassi raggiunti nel periodo 2009-2010, che potrebbe essere legato ad un aumento nella frazione di fluidi ossidanti (magmatici?).

Tuttavia le analisi relative ai campioni prelevati nel mese di luglio mostrano una diminuzione dei valori di equilibrio di temperatura e pressione parziale di CO<sub>2</sub> (stime basate sul CO) rispetto ai periodi precedenti, rientrando in un trend pluriennale di diminuzione dell'attività idrotermale all'interno del cratere del Vesuvio (Fig. 1.3.2).

La composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno del vapore delle fumarole è stata recentemente oggetto di un approfondito studio per la simulazione contemporanea del processo di mixing tra differenti componenti, effetti dovuti alla condensazione e/o aggiunta di acqua, scambio isotopico dell'ossigeno fra le molecole dell'acqua e della CO<sub>2</sub> (Caliro et al., 2011). Nel quadro interpretativo delineato in questo lavoro i campioni del 2014-2015 mostrano una diminuzione della frazione della componente magmatica (Fig. 1.3.3).

In conclusione le indicazioni fornite dalla geochimica dei fluidi sono di una sostanziale stabilità dei trend precedentemente osservati con variazioni di lieve entità ed ancora non chiaramente interpretabili.

## **Riferimenti**

*Chiodini G., Marini L., and Russo M. (2001) Geochemical evidence for the existence of high-temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano, Italy. Geochim. Cosmochim. Acta 65, 2129-2147.*

*Caliro S., Chiodini G., Avino R., Minopoli C., and Bocchino B. (2011) Long time-series of chemical and isotopic compositions of Vesuvius fumaroles: evidence for deep and shallow processes. Annals Geophysics 54, 137-149. doi: 10.4401/ag-5034.*

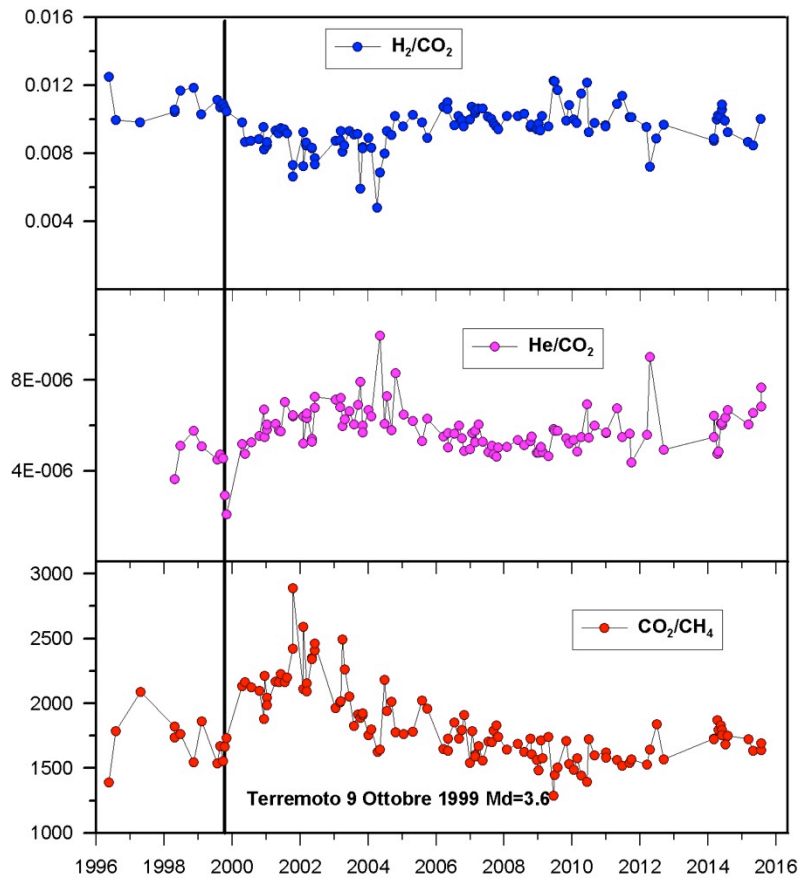


Figura 1.4.1 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2015.

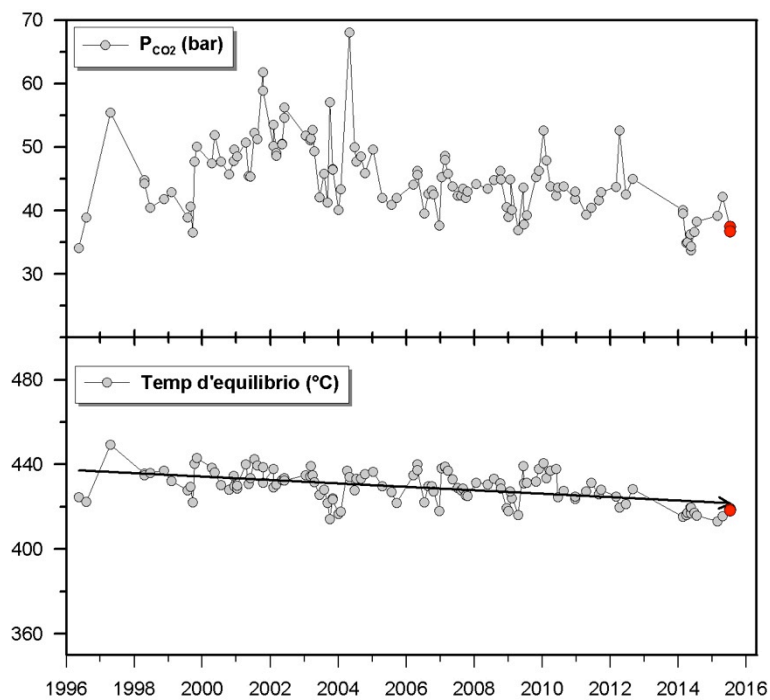


Figura 1.4.2 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di  $CO_2$  stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. I campioni di luglio 2015 sono riportati con il simbolo rosso.

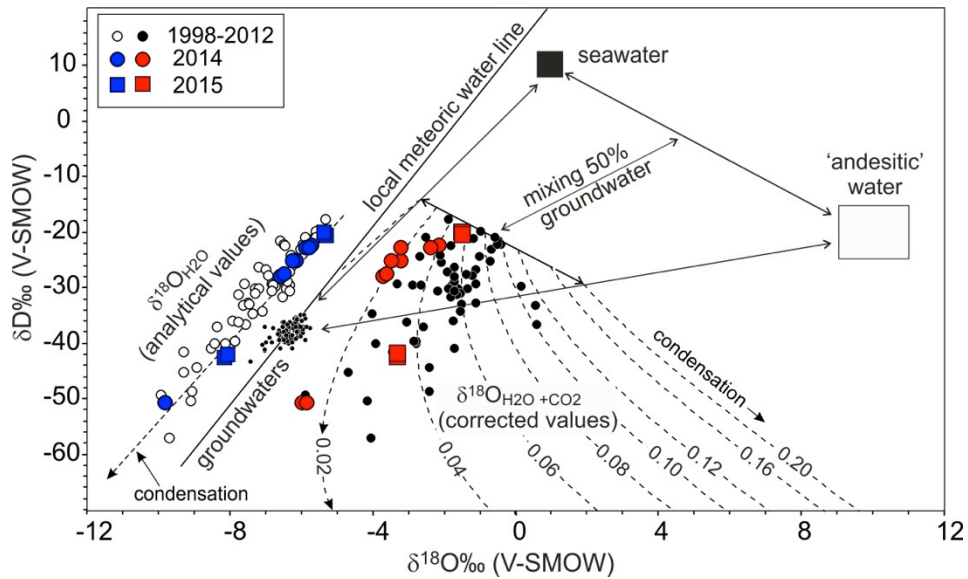


Figura 1.4.3 Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratere del Vesuvio. I dati analitici (simboli blu e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il  $\text{CO}_2$  e il vapore e gli effetti di condensazione in accordo con il modello proposto in Caliro et al. (2011), al quale si rimanda per maggiori dettagli e approfondimenti. Tale modello prevede un'origine del vapore fumarolico dovuta al mixing di tre componenti: acqua magmatica di tipo andesitico, acqua di mare e acque meteoriche locali. Le linee tratteggiate indicano le variazioni composizionali del sistema  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$  legate a processi di condensazione del vapore per un fluido originato da differenti miscele delle tre componenti, la cui frazione molare di  $\text{CO}_2$  è indicata su ogni linea. La composizione dei campioni calcolata per il sistema  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$  (simboli rossi e neri) individua, nel diagramma, la possibile frazione di  $\text{CO}_2$  del fluido originale. Alti valori di questa frazione indicherebbero, quindi, un maggiore contributo di fluidi magmatici nei gas fumarolici.

## 2 - CAMPI FLEGREI

Nel corso del mese di luglio, ai Campi Flegrei sono stati registrati 13 terremoti di piccola magnitudo ( $M_{\max}=0.6$ ). Si evidenzia un lieve trend in sollevamento dell'area, con un valore massimo di circa  $5.0 \pm 1.0$  cm/anno. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 8.5 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 2 cm da marzo 2015. I parametri geochimici rientrano nei trend già identificati in precedenza.

Il monitoraggio dell'area flegrea permane ad un livello di attenzione.

### 2.1 - Sismicità

Ai Campi Flegrei, nel corso dell'ultimo mese, sono stati registrati 13 terremoti di bassa magnitudo ( $M_{\max}=0.6$ ) (Fig. 2.1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 8 terremoti. Gli eventi risultano localizzati nei dintorni della Solfatara a profondità inferiori ai 2 km. Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5).

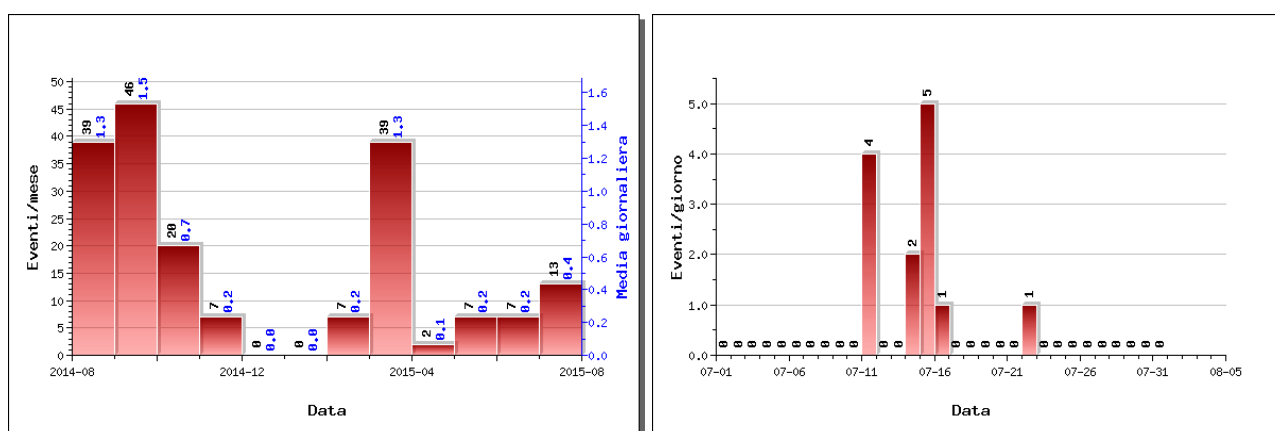


Figura 2.1.1 – A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 187), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 13).

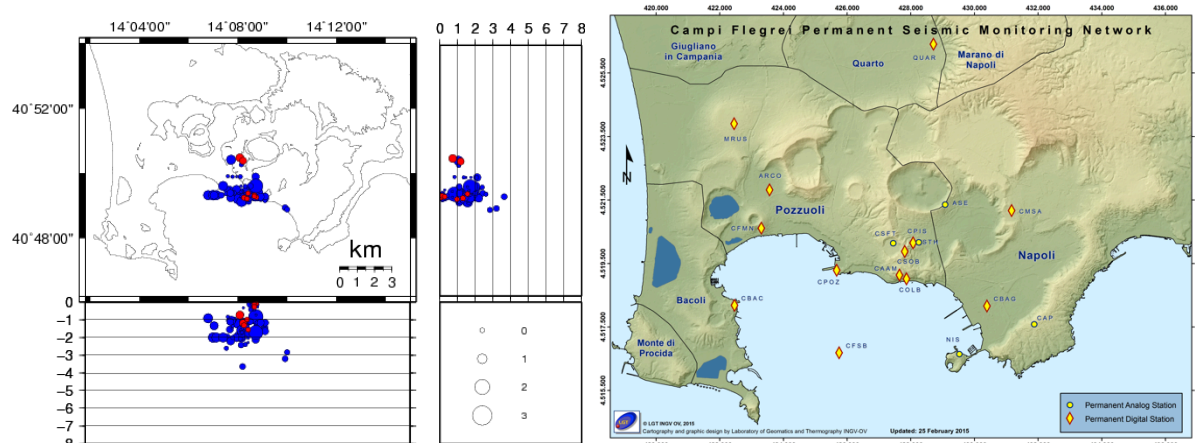


Figura 2.1.2 – Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica dei Campi Flegrei.

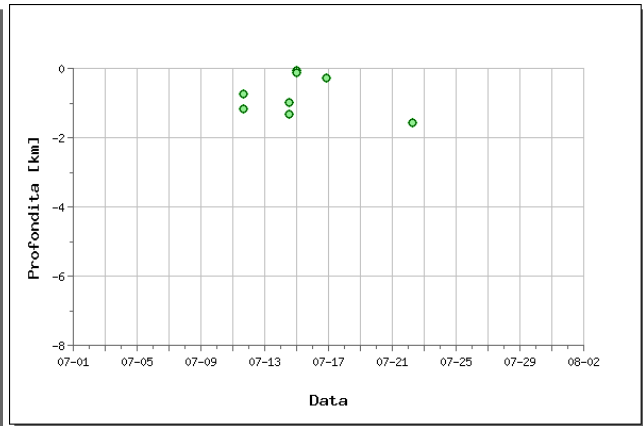
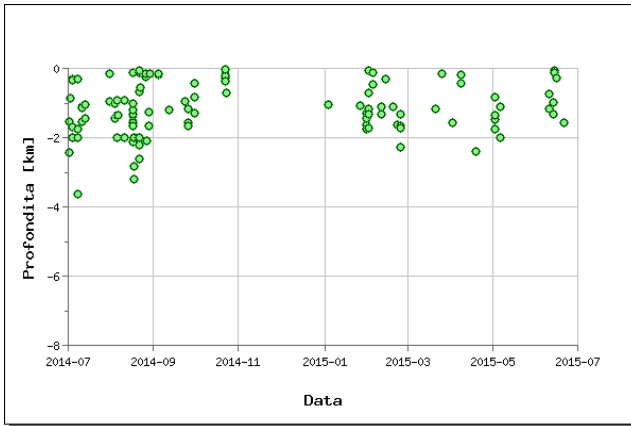


Figura 2.1.3 – Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

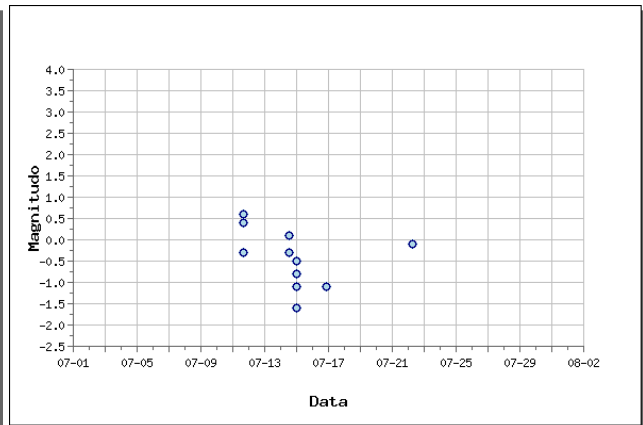
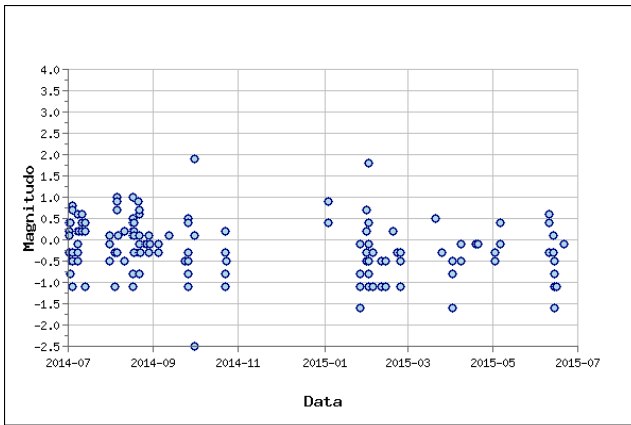


Figura 2.1.4 – Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

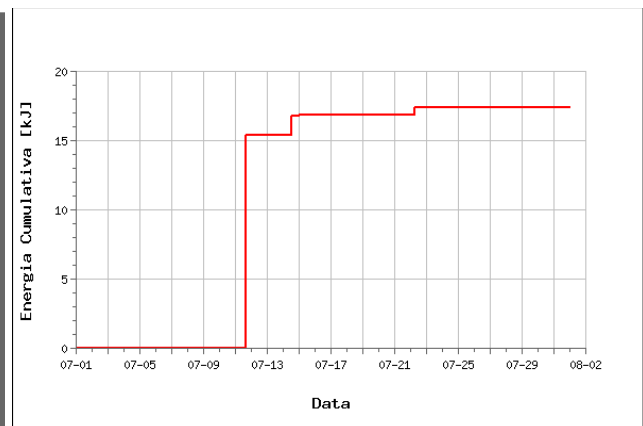
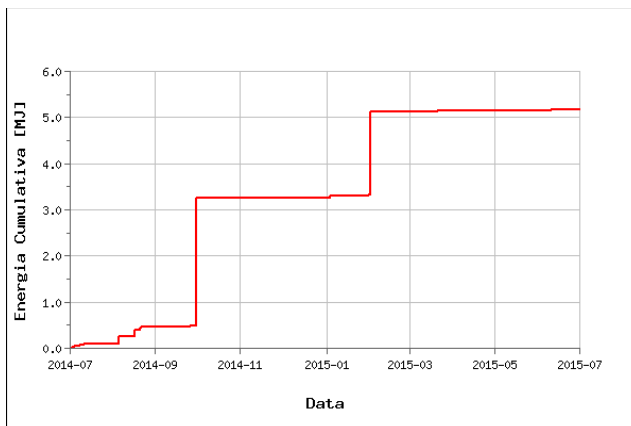


Figura 2.1.5 – Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

## 2.2 - Deformazioni del Suolo

Si evidenzia un lieve trend in sollevamento dell'area, con un valore massimo di circa  $5.0 \pm 1.0$  cm/anno. Il sollevamento massimo registrato alla stazione GPS di Rione Terra è di circa 8.5 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 2 cm da marzo 2015 (Fig. 2.2.1, Fig. 2.2.2 e Fig. 2.2.3).



Figura 2.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 2000 a luglio 2015.

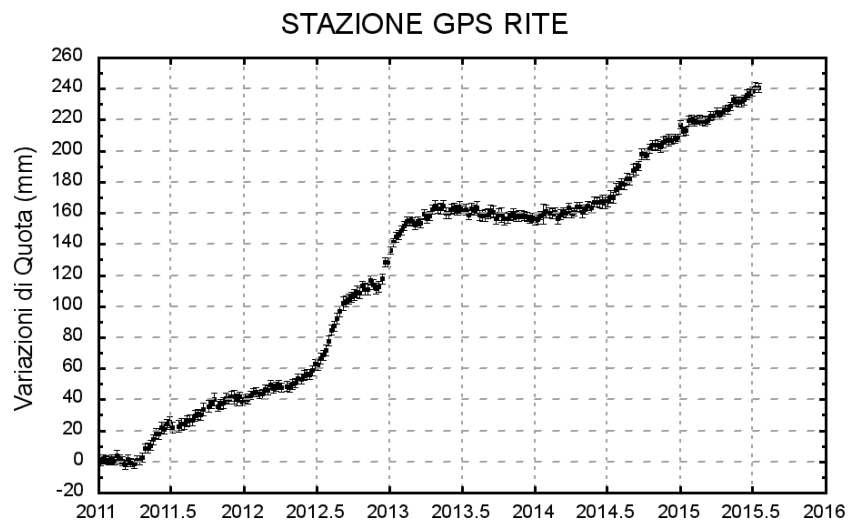


Figura 2.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 2011 a luglio 2015.

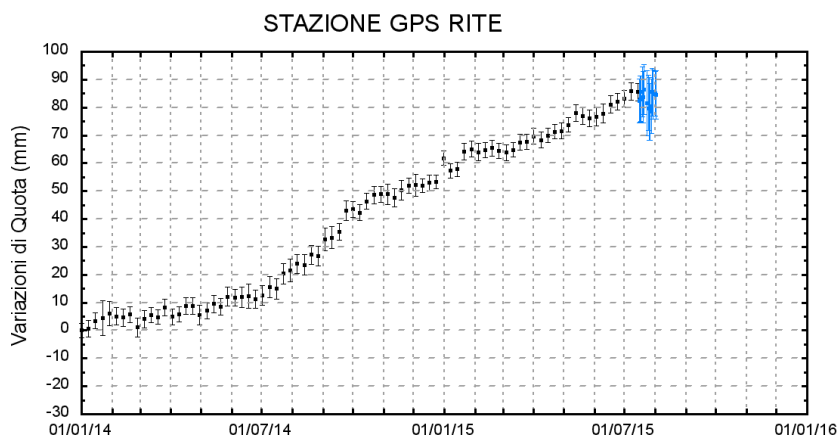


Figura 2.2.3 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 01 gennaio 2014 al 02 agosto 2015.

### 2.3 – Geochimica dei fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di Luglio 2015 ha riguardato: l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e della temperatura della fumarola principale a Pisciarelli; l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo nel cratere della Solfatara; misure di flusso di CO<sub>2</sub> 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, è riportata in diversi lavori scientifici già citati nei precedenti rapporti mensili, ai quali si rimanda per approfondimento.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati evidenziano il perdurare dei trends già identificati in precedenza (vedi rapporti di sorveglianza precedenti; Figg. 2.3.1-4).

Il rapporto CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O delle fumarole, in aumento a partire dal 2000 (Fig. 2.3.1), nel campione di Luglio (così come per il campione di Giugno) è ritornato a valori elevati (~0.33) dopo il lieve trend di diminuzione mostrato negli ultimi periodi (2014-2015). Tali valori in generale, testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici.

L'analisi di geoidicatori di temperatura e pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indicano il progressivo riscaldamento delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare, le concentrazioni di CO, disponibili alla Solfatara di Pozzuoli fin dalla crisi del 1983-84, a partire dagli inizi degli anni 2000 mostrano un evidente trend di crescita, che è particolarmente marcato negli ultimi mesi (fumarola BG, Fig. 2.3.2). Tale crescita appare rilevante poiché il CO è fra le specie fumaroliche analizzate quella più sensibile alla temperatura.

Il cronogramma del rapporto CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> (Fig. 2.3.4) mostra picchi positivi, interpretabili come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in CH<sub>4</sub>, nel sistema idrotermale. 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 riscaldamento e pressurizzazione della parte più superficiale del sistema idrotermale, iniziato a partire dal 2007 e tuttora in corso, è la causa più probabile delle variazioni macroscopiche osservate a Pisciarelli (Fig. 2.3.5) e che negli ultimi anni sono consistite nell'apertura di nuovi fumarolici e di polle bollenti, nell'emissione di fango, in attività sismica localizzata, nell'aumento della temperatura della fumarola principale (Figg. 2.3.6, 2.3.7), nell'aumento dei flussi misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig 2.3.8).

## Riferimenti

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

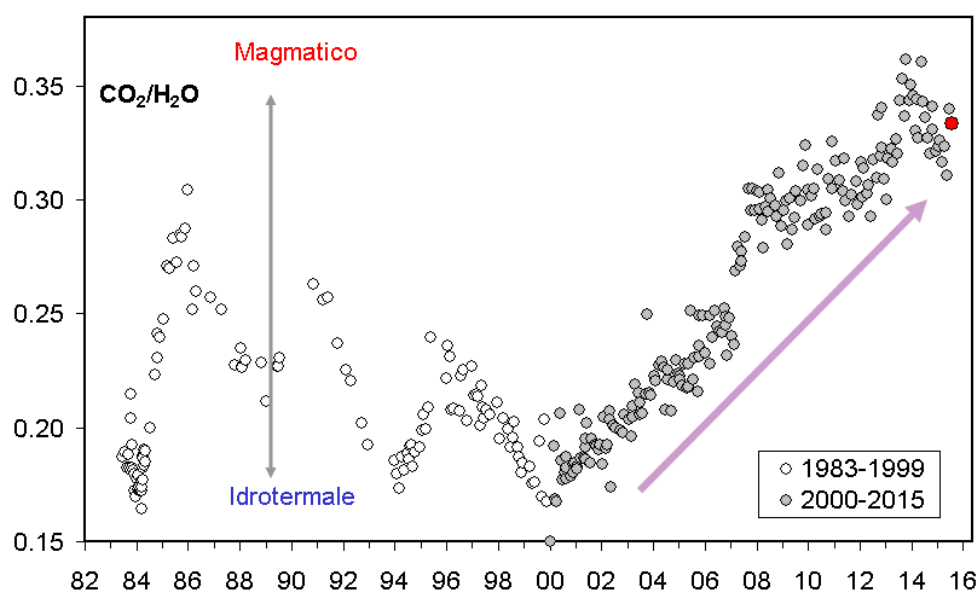


Figura 2.3.1 - Cronogramma del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ , in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica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

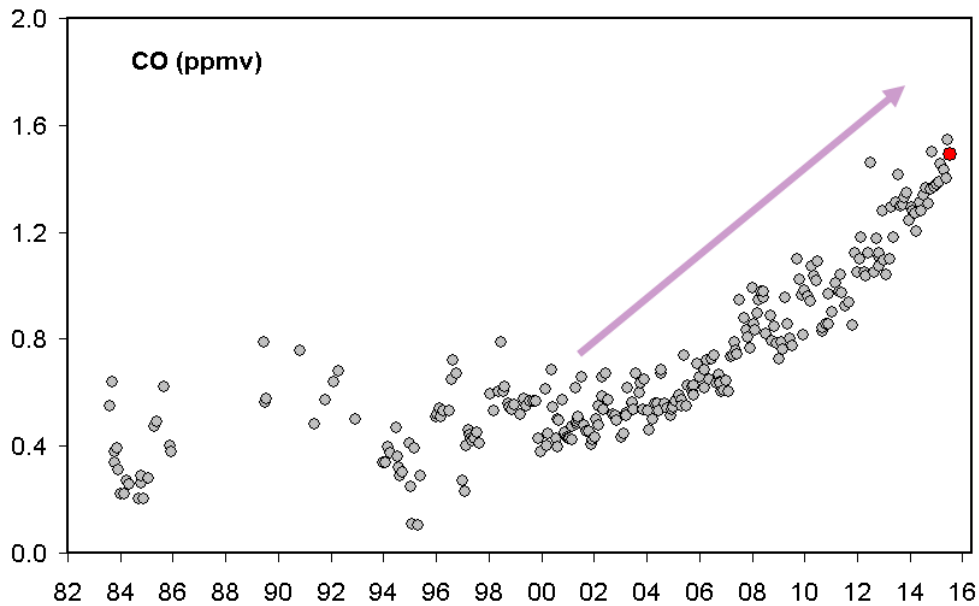


Figura 2.3.2 – Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. In rosso è evidenziato il campione relativo al mese di Luglio 2015. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate 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.

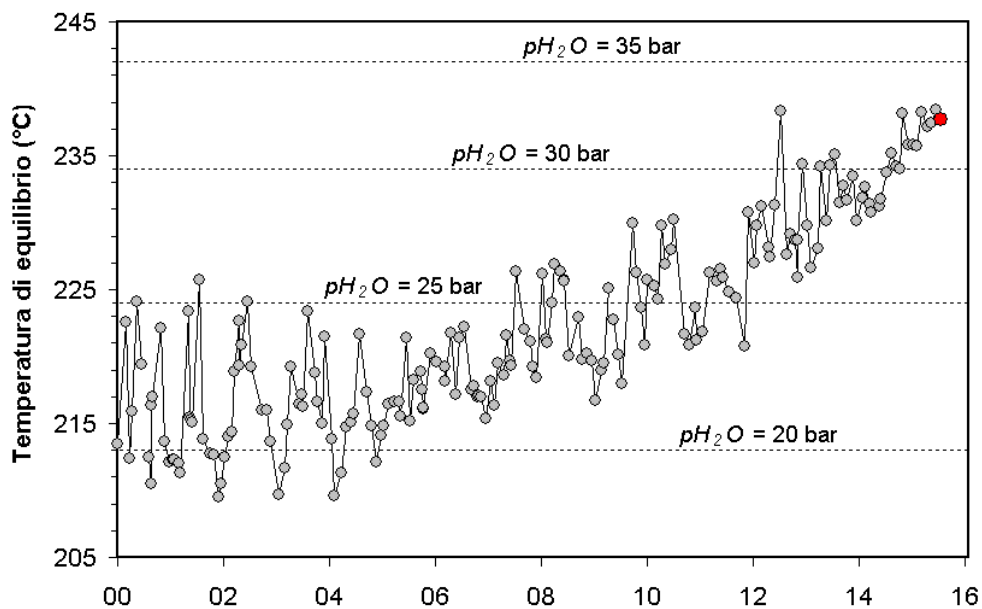


Figura 2.3.3 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO<sub>2</sub>, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend d'aumento a partire dai primi anni del 2000. In rosso è evidenziato il campione relativo al mese di Luglio 2015.

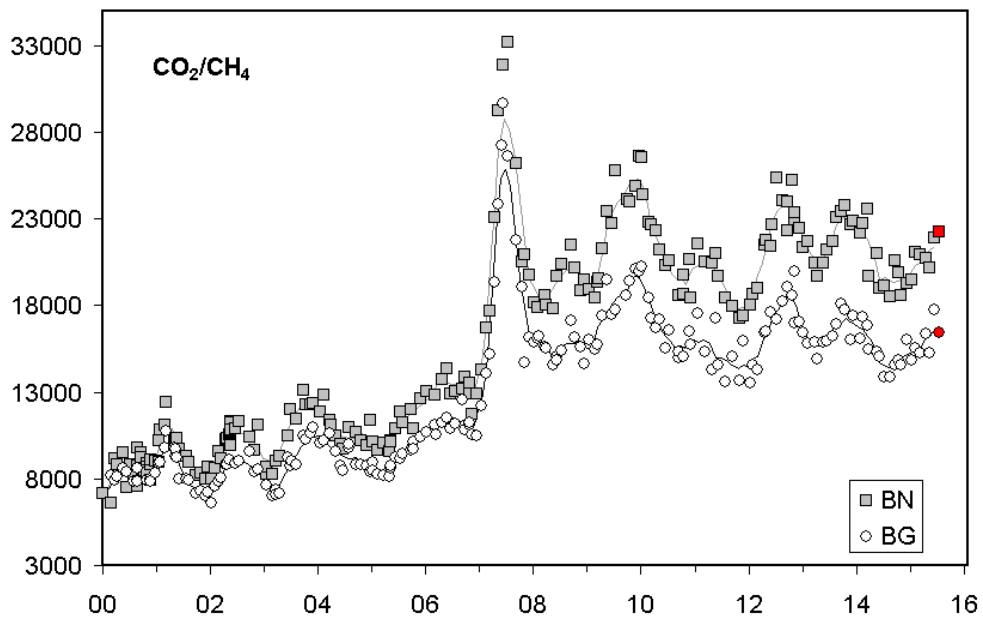


Figura 2.3.4 – Variazioni del rapporto  $CO_2/CH_4$  per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). In rosso sono evidenziati i valori relativi ai campioni di Luglio 2015.



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

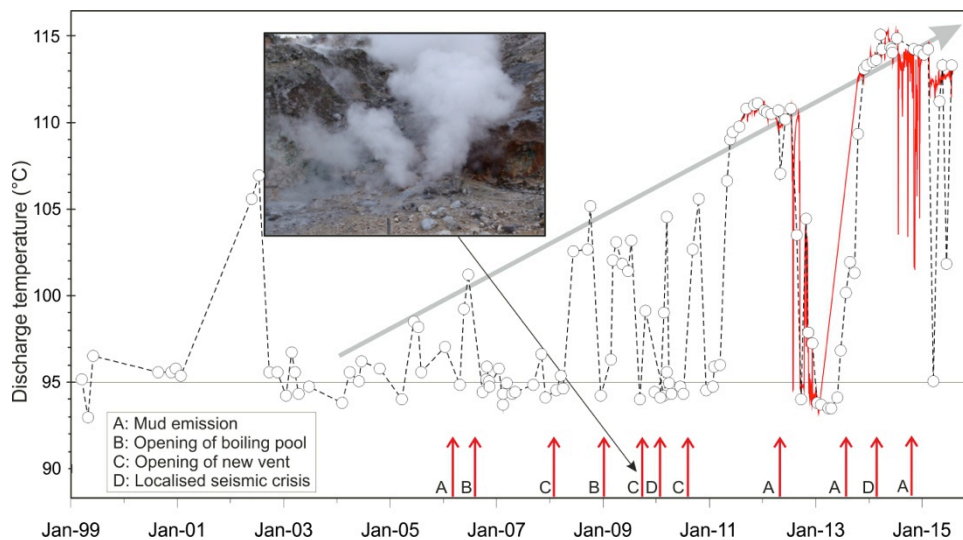


Figura 2.3.6 - Cronogramma delle temperature (°C) della fumarola di Pisciarelli e dei maggiori eventi occorsi legati all'aumento dell'attività idrotermale (i cerchi si riferiscono a misure discrete riferite al punto di prelievo dei gas, la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere delle misure 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.

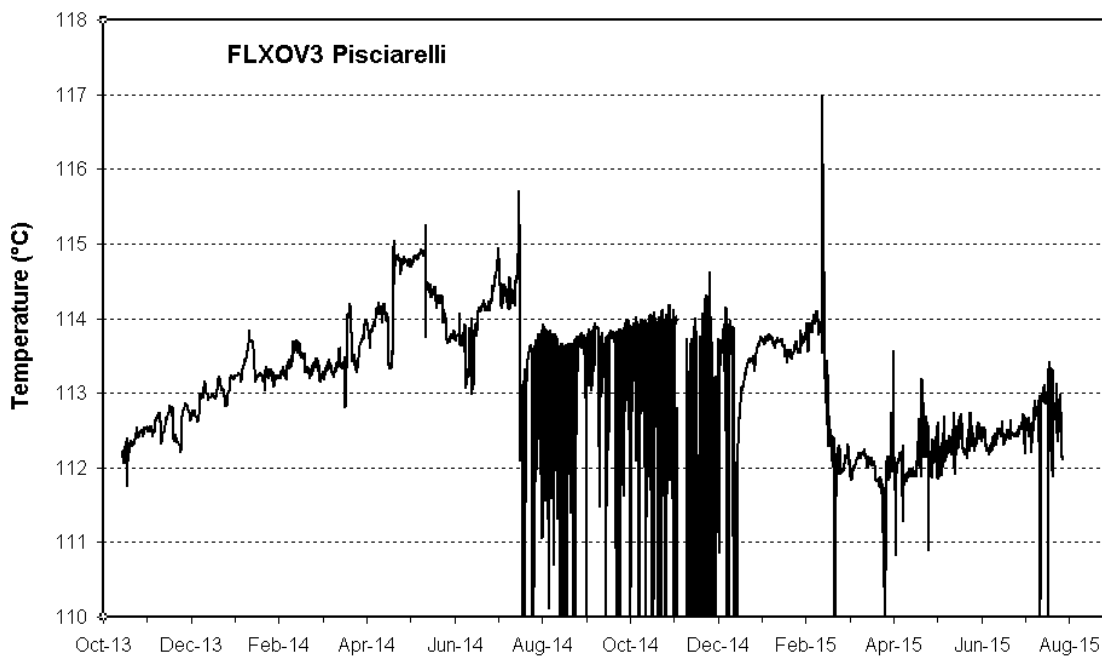


Figura 2.3.7 - Temperature registrate in continuo della fumarola di Pisciarelli. Nell'ultimo mese le temperature hanno mostrato valori compresi tra 112 e 113 °C.



*Figura 2.3.8 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO<sub>2</sub> misurati a Pesciarelli (FLXOV3). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo del flusso CO<sub>2</sub>. La media dei flussi relativa al mese di Luglio, riportata con il simbolo rosso, non mostra significative variazioni rispetto al periodo precedente.*

### 3 – ISCHIA

Ad Ischia nel corso del mese di luglio 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.

#### 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 Fig. 3.2.2).

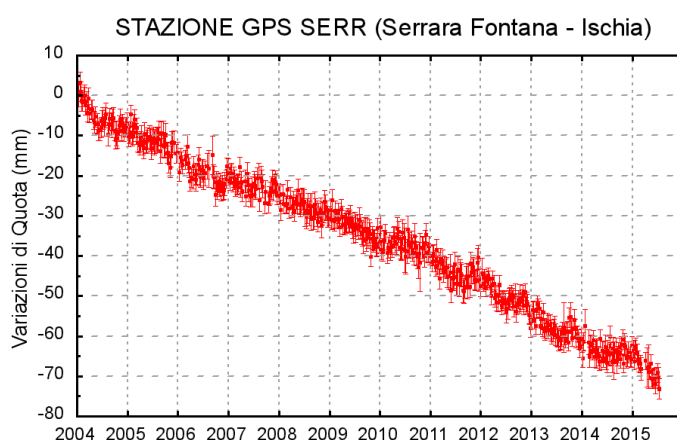


Figura 3.2.1 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) dal 2004 a luglio 2015.

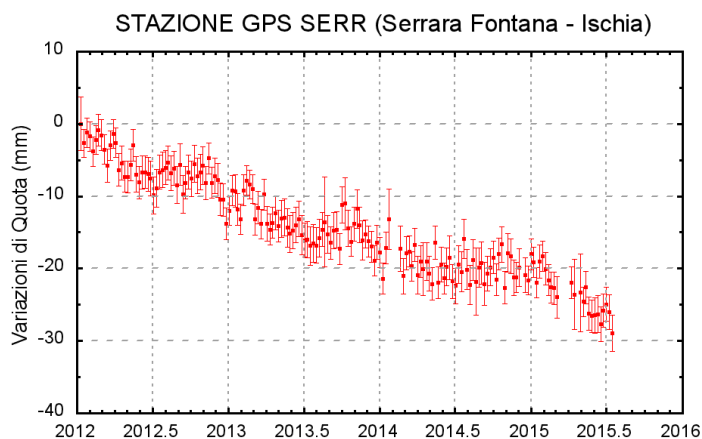


Figura 3.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) da gennaio 2012 a luglio 2015.

## **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.