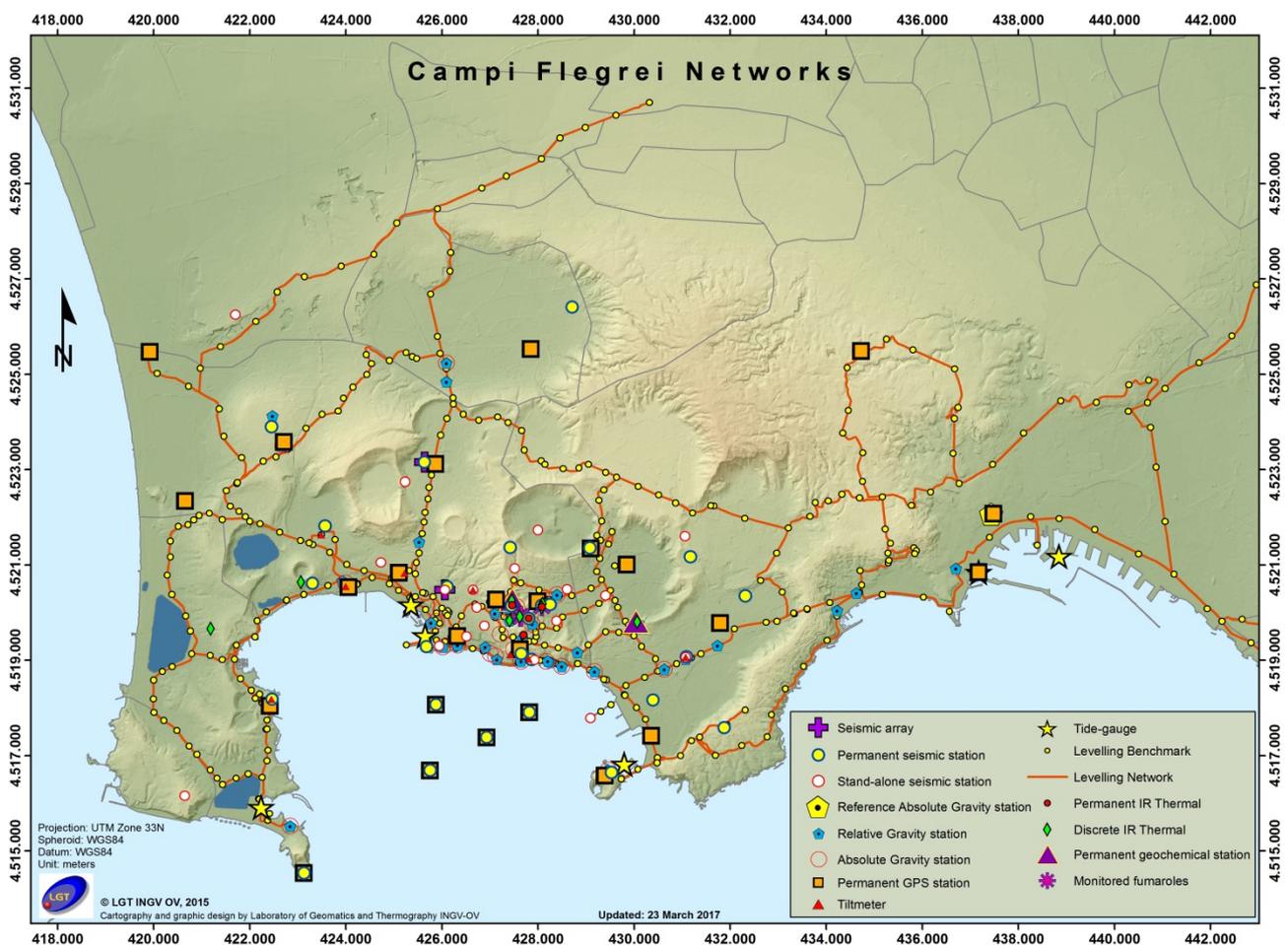




# Bollettino di Sorveglianza

## CAMPI FLEGREI

### MAGGIO 2018



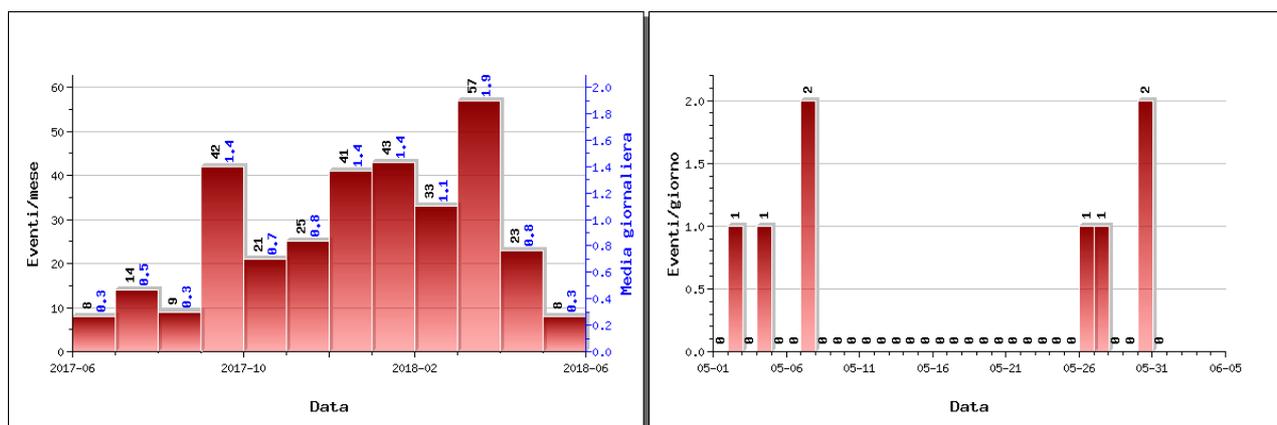
## 1. SISMOLOGIA

Nel corso del mese di maggio 2018 ai Campi Flegrei sono stati registrati 8 terremoti generalmente di bassa magnitudo ( $M_{dmax}=1.1$ ; evento del 26/05 alle 19:08 UTC) (Fig. 1.1).

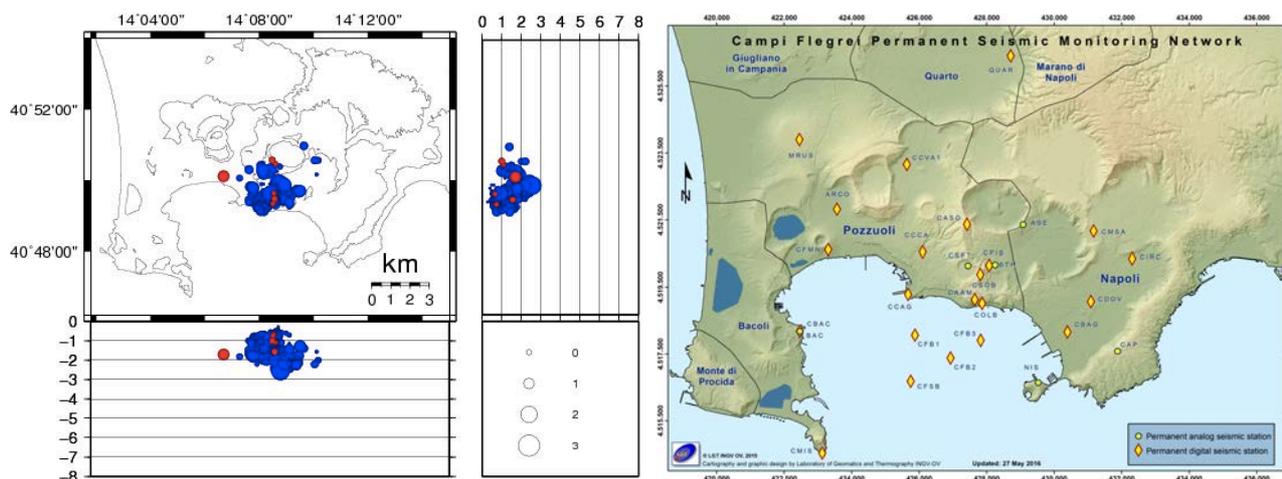
E' stato possibile determinare l'ipocentro di 6 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.2.

Si evidenzia una maggiore dispersione nella distribuzione epicentrale con eventi che si collocano sia a nord-ovest che a nord-est dell'area della Solfatara.

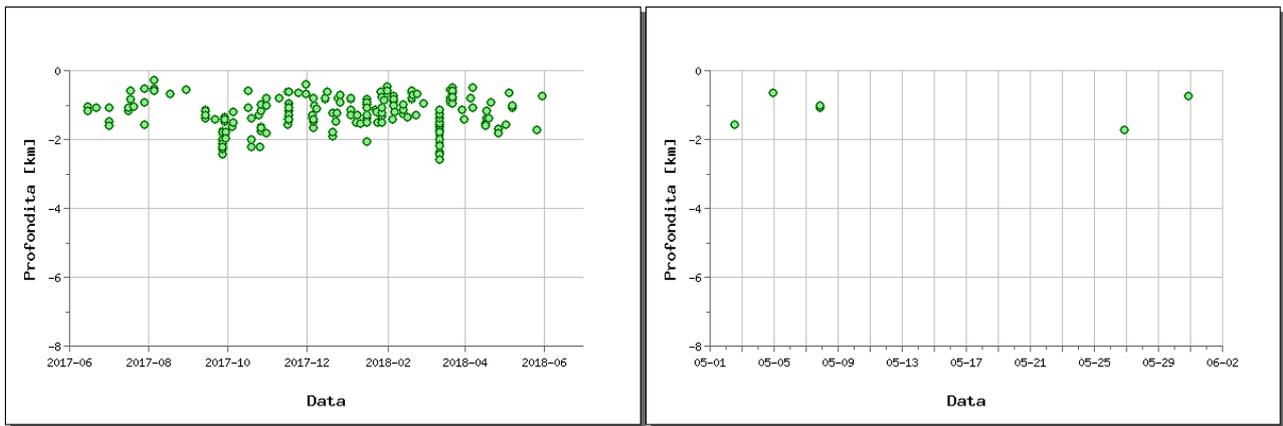
Non si evidenziano trend significativi negli altri parametri sismologici (Fig. 1.3, 1.4, 1.5).



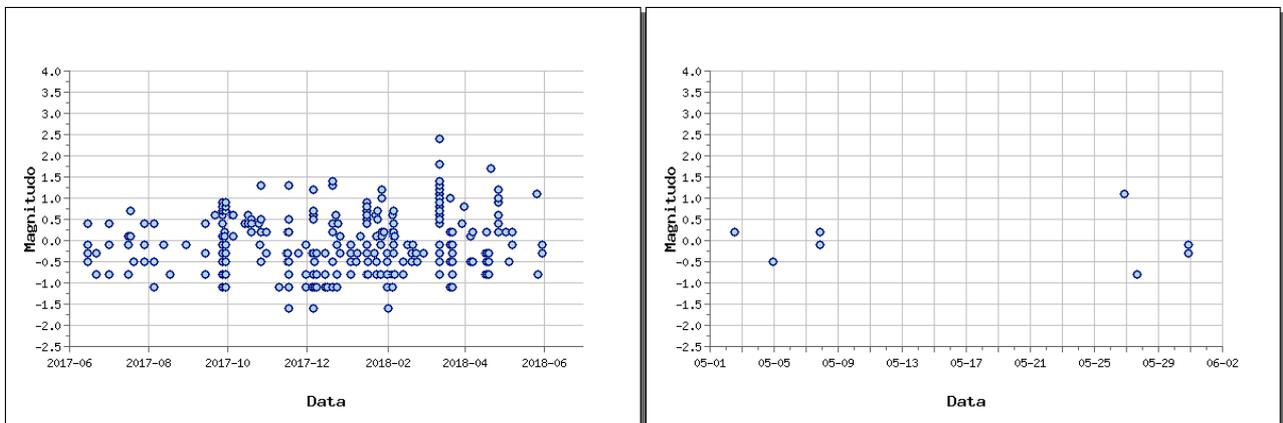
**Figura 1.1** - A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 324), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 8).



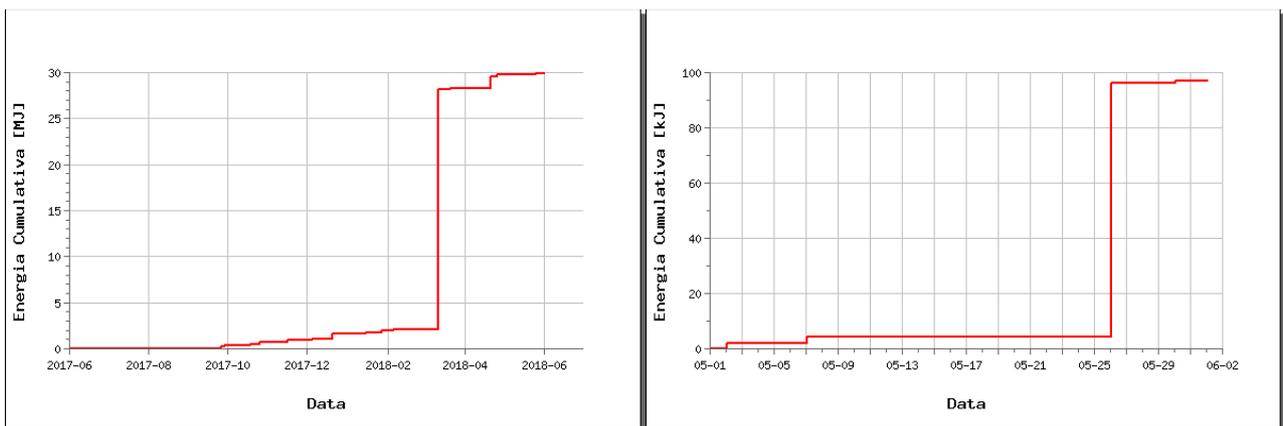
**Figura 1.2** - Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la Rete Sismica Permanente dei Campi Flegrei.



**Figura 1.3** - Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

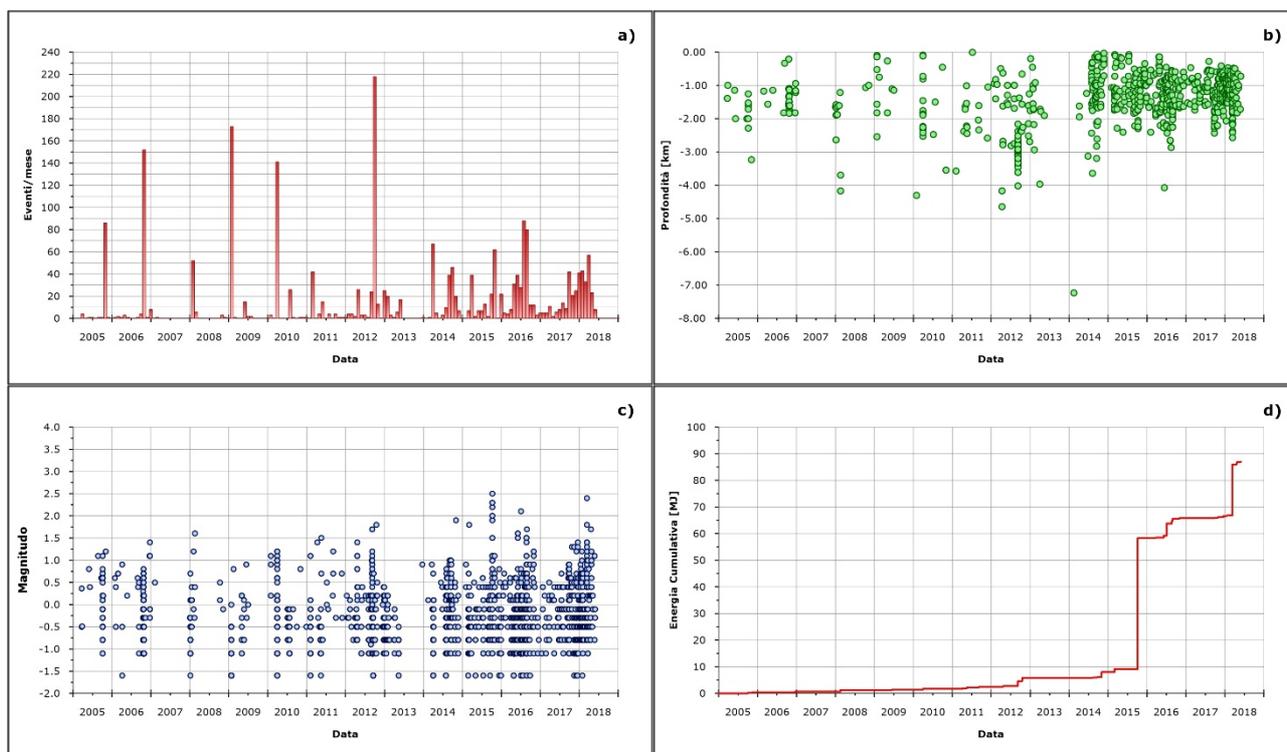


**Figura 1.4** - Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).



**Figura 1.5** - Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

In figura 1.6 sono rappresentati gli andamenti dei principali parametri sismologici a partire dal 2005.



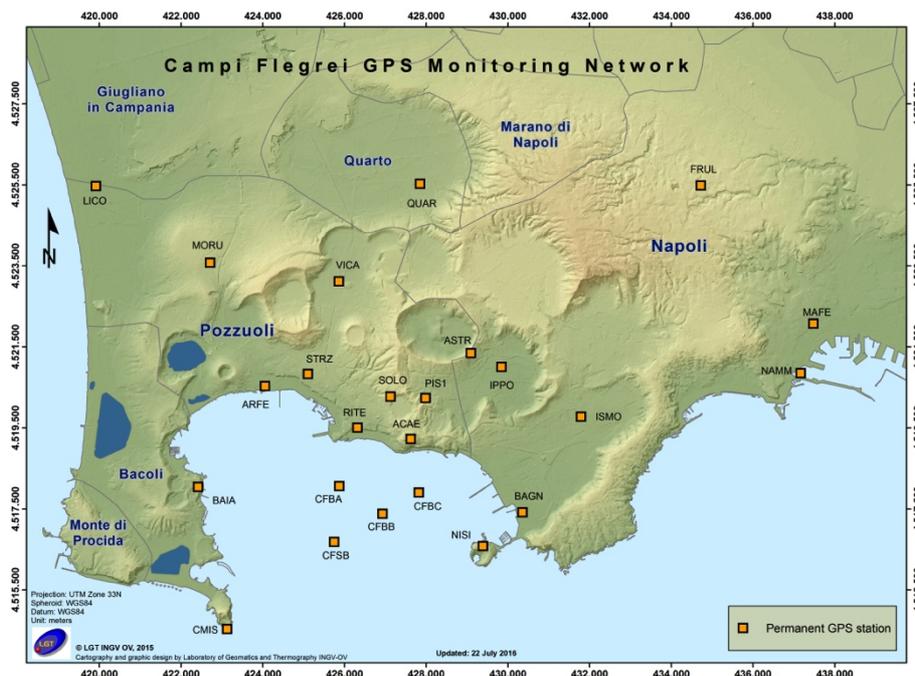
**Figura 1.6** - Andamento dei principali parametri sismologici a partire dal 2005: a) frequenza di accadimento; b) profondità ipocentrali; c) magnitudo; d) energia cumulativa.

## 2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

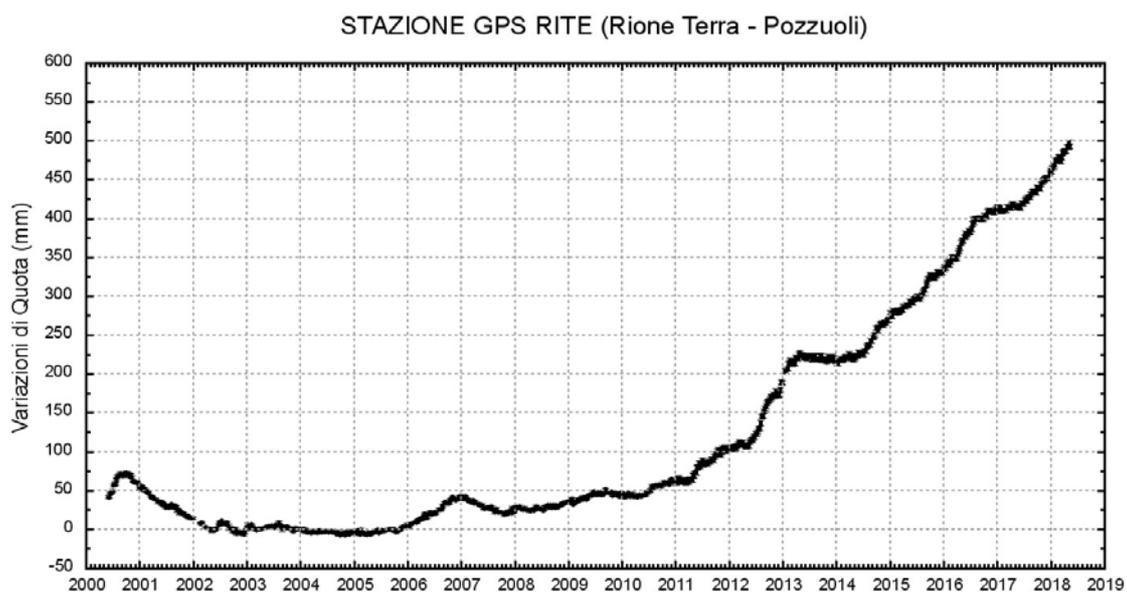
### GPS

Il sollevamento che interessa l'area flegrea a partire da luglio 2017 è caratterizzato dalla presenza di oscillazioni nelle serie temporali (probabilmente dovute anche a disturbi atmosferici) e mostra un valore medio nell'area di massima deformazione di circa 0.7 cm/mese.

Il sollevamento registrato alla stazione GPS di RITE è di circa 27 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 8 cm da gennaio 2017 (Fig. 2.2 e Fig. 2.3).

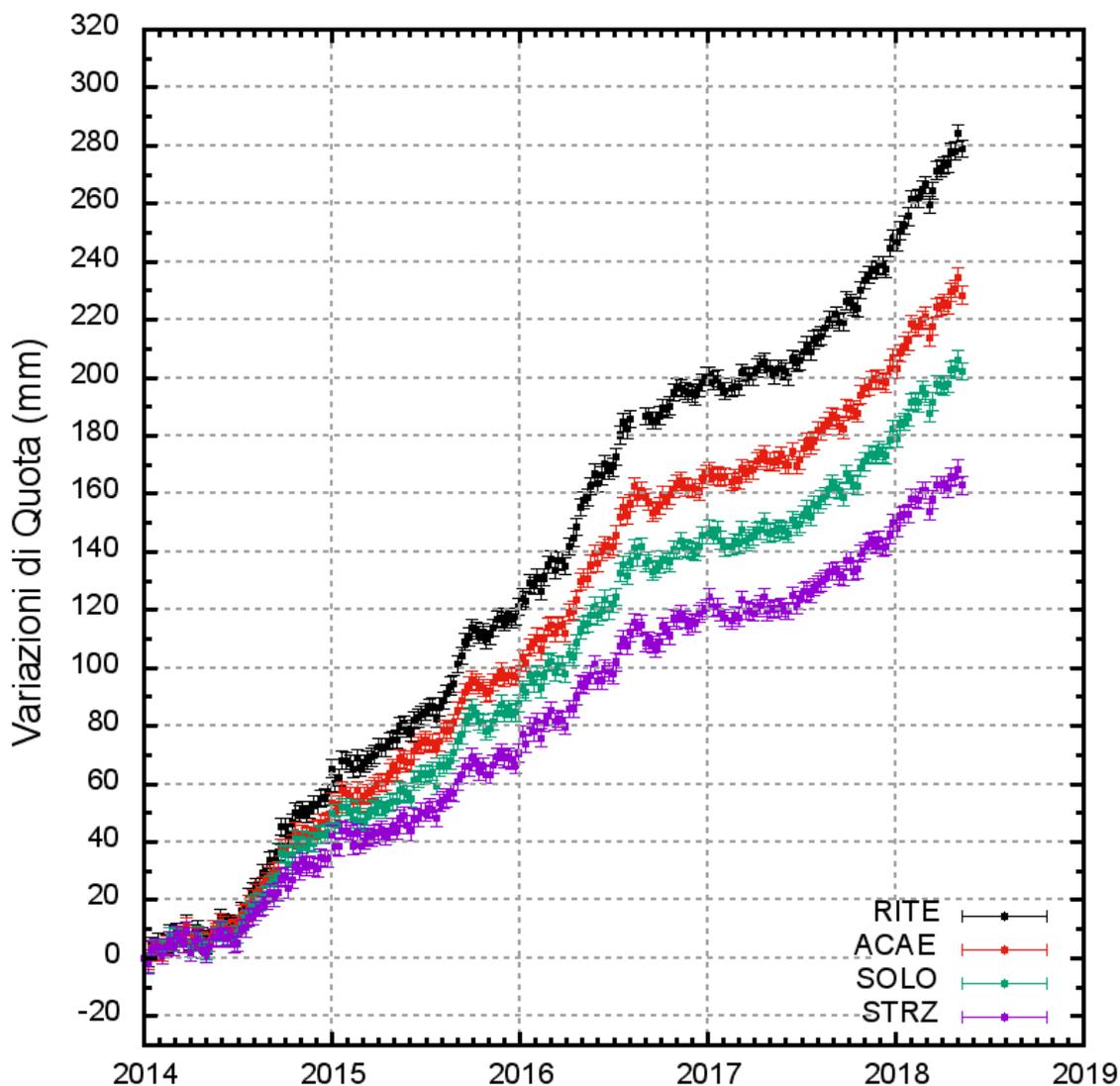


**Figura 2.1** - Rete GPS Permanente dei Campi Flegrei.



**Figura 2.2** - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli – Rione Terra) dal 2000 a maggio 2018.

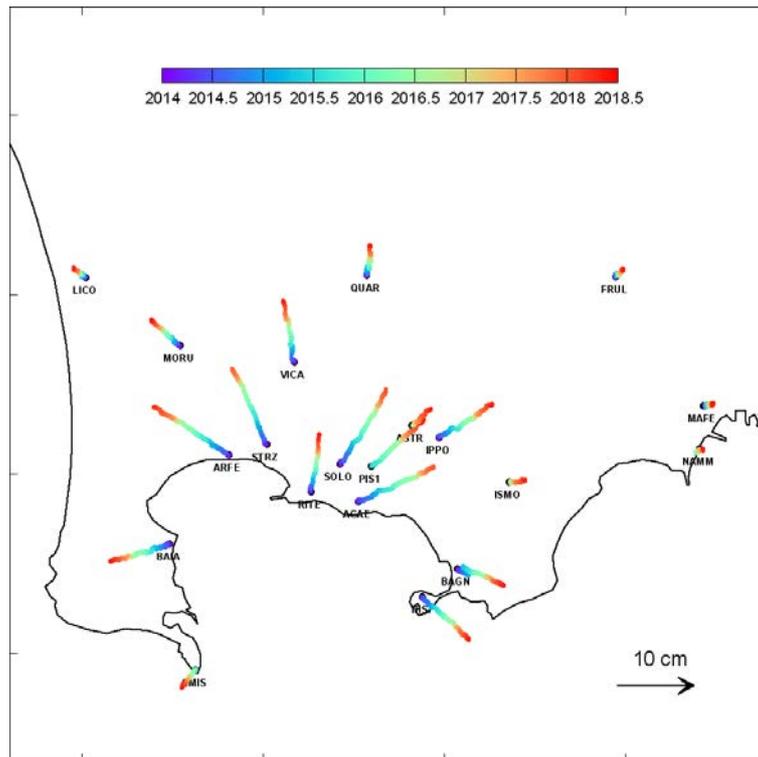
La figura 2.3 riporta le serie temporali delle variazioni in quota di alcune stazioni GPS ubicate nella zona di massima deformazione dei Campi Flegrei. I punti in nero, rosso, verde e viola rappresentano le variazioni settimanali calcolate con i prodotti finali IGS (effemeridi precise e parametri della rotazione terrestre) i quali vengono rilasciati con un ritardo di 12-18 giorni.



**Figura 2.3** - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli - Rione Terra), ACAE (Accademia Aeronautica), SOLO (Solfatara) e STRZ (Pozzuoli - Cimitero) da gennaio 2014 a maggio 2018.

In Figura 2.4 è riportata la mappa dei vettori degli spostamenti orizzontali registrati alle stazioni CGPS ai Campi Flegrei dal 2014.

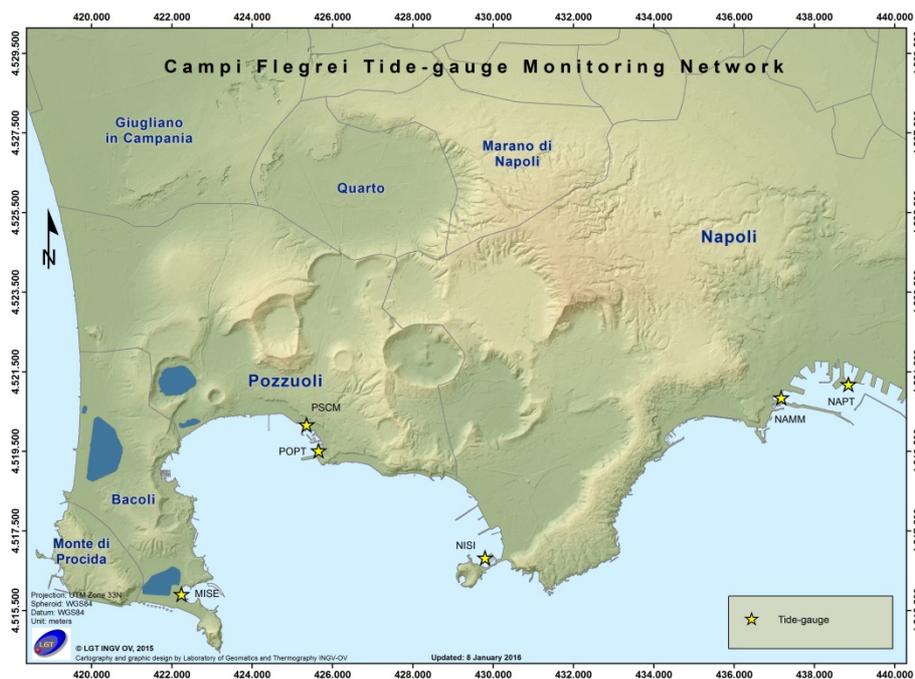
La forma del campo di deformazione è simile a quelle già individuate nelle precedenti fasi del sollevamento e suggerisce una stabilità della sorgente di deformazione, localizzata nel Golfo di Pozzuoli a qualche centinaio di metri a sud della stazione di RITE.



**Figura 2.4** - Mappa degli spostamenti GPS orizzontali registrati nell'area flegrea da gennaio 2014 a maggio 2018.

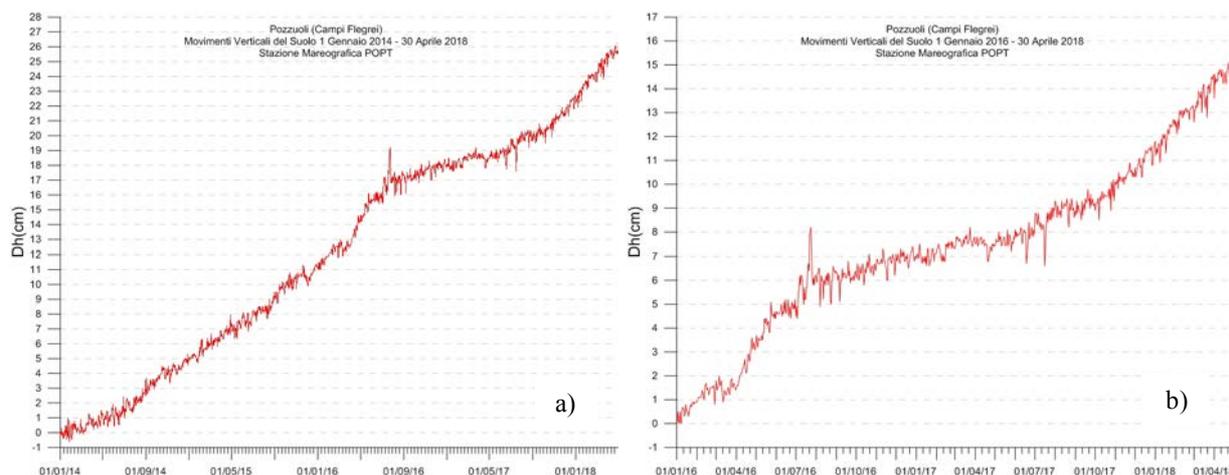
### Mareometria

La Rete Mareografica è riportata in Figura 2.5.



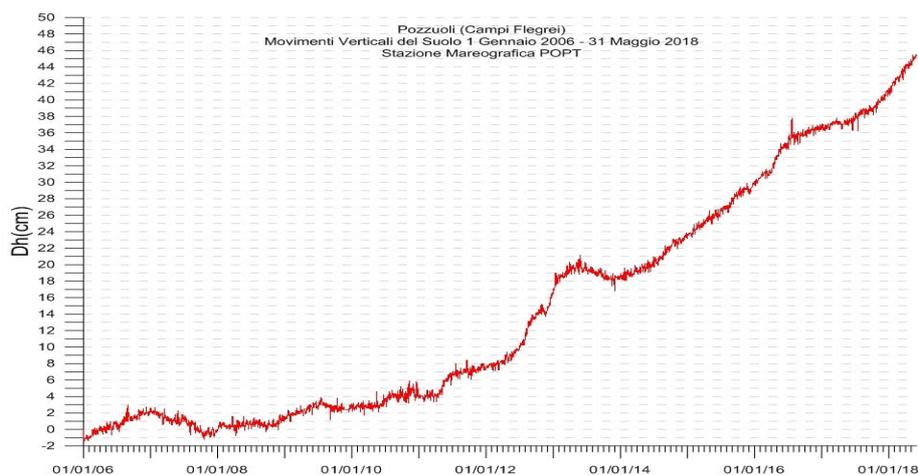
**Figura 2.5** - Rete Mareografica dei Campi Flegrei.

Nel mese di maggio 2018 resta invariato il leggero trend in sollevamento a Pozzuoli Porto. I dati mareografici relativi alla stazione di Pozzuoli Porto nel periodo gennaio 2014 – maggio 2018 mostrano l'andamento di Figura 2.6a, dal quale si evince un sollevamento di circa 27 cm. Da gennaio 2016 a aprile 2018 si ha un contributo di circa 16 cm di sollevamento (Figura 2.6b). Il picco visibile verso la fine del mese di luglio 2016 è stato determinato dal malfunzionamento temporaneo del sensore della stazione di riferimento NAMM.



**Figura 2.6** - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - aprile 2018 (a) e gennaio 2016 - aprile 2018 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli molo S.Vincenzo (NAMM).

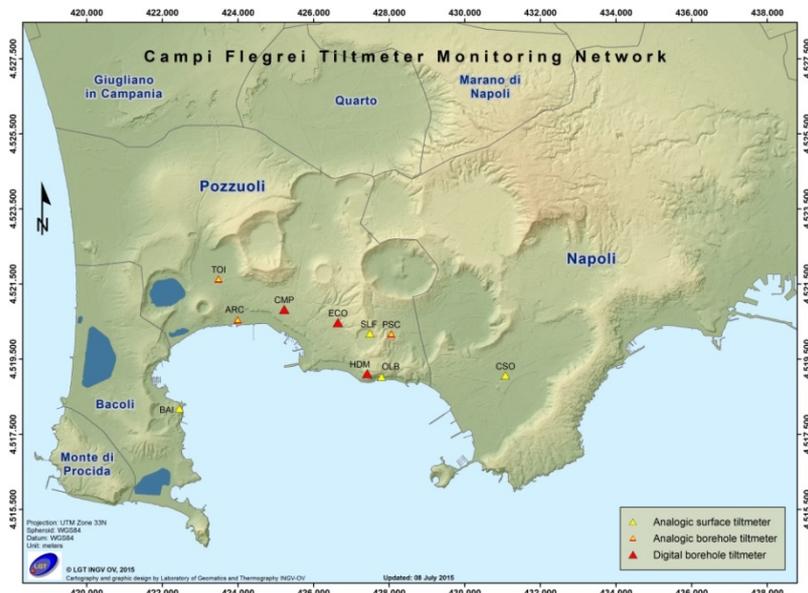
I dati nella serie temporale dal 2006 ad oggi (Figura 2.7), sono stati raccordati con i dati riferiti alla ex stazione NAPT (dismessa a febbraio 2016), potendoli considerare omogenei all'interno degli errori di misura.



**Figura 2.7** - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2006 - maggio 2018, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli molo S.Vincenzo (NAMM).

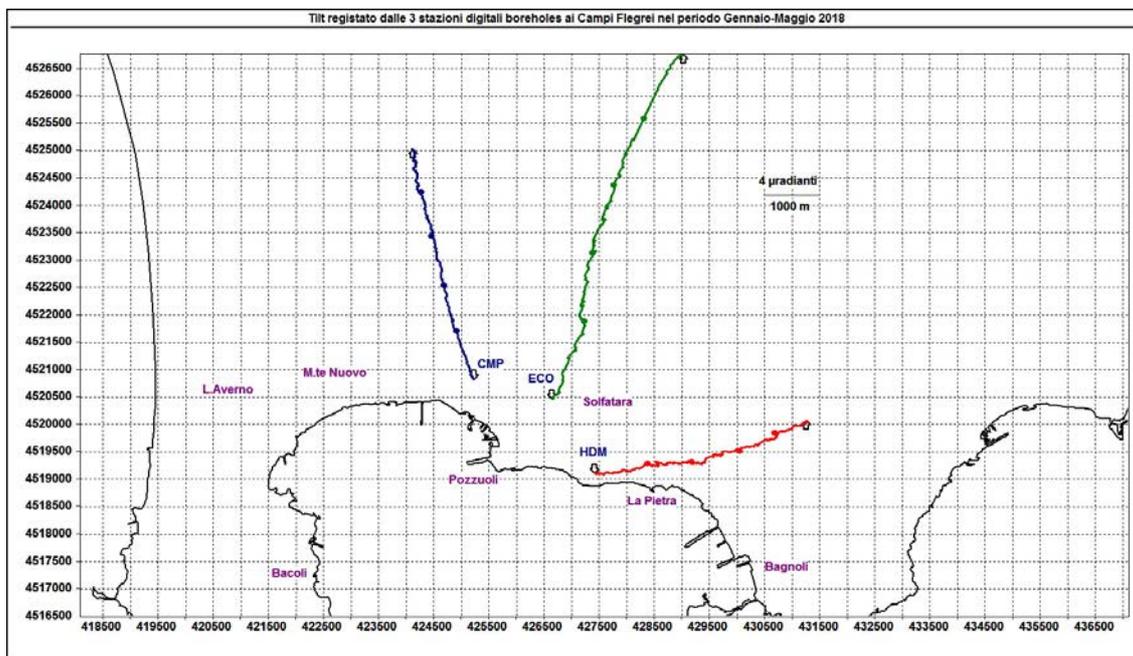
## Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo dei Campi Flegrei consiste in 10 stazioni di cui 4 equipaggiate con sensori analogici di superficie (BAI, SLF, TOI, CSO), 3 con tiltmetri analogici da pozzo (PSC, ARC, TOI installati da 1 a 7 m di profondità) e 3 con sensori digitali da pozzo (CMP, ECO, HDM installati a 25 m di profondità) (Fig. 2.8).



**Figura 2.8** – Rete Tiltmetrica dei Campi Flegrei.

La variazione tiltmetrica osservata ai Campi Flegrei nel periodo gennaio-maggio 2018 segue una simmetria radiale, dovuta alla fase di uplift, ma con una maggiore inclinazione del suolo in direzione NNE (Figura 2.8).



**Figura 2.8** - Pattern tiltmetrico osservato ai Campi Flegrei nel periodo gennaio-maggio 2018. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni borehole con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 2 μradianti o 500 m. I pallini sovrapposti sui vettori tilt indicano l'inizio di ogni mese.

La deformazione relativa ad ogni sito-stazione è rappresentata con segmenti orientati di colore diverso; l'origine di ogni vettore tilt è siglata con il nome del sito stesso ed evidenziata con una freccia puntata verso il basso mentre l'estremo libero è indicato con una freccia puntata verso l'alto. Il verso di ogni vettore indica settori di crosta in abbassamento ed è univocamente definito dal suo estremo libero.

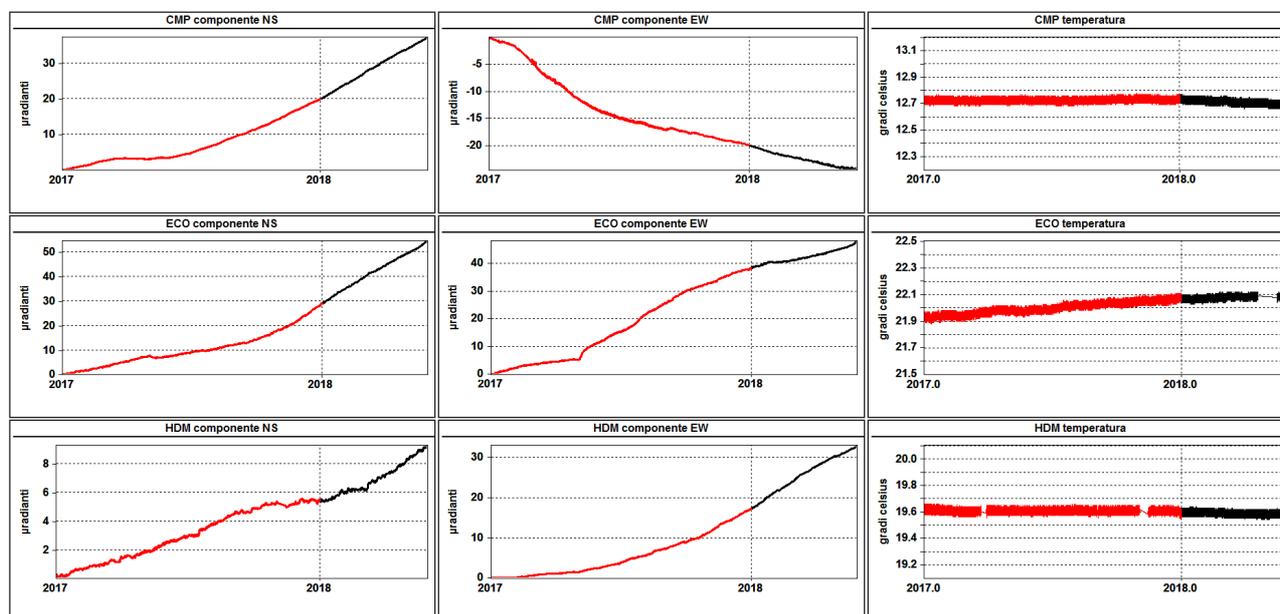
Nella Tabella seguente sono riportati, per le stazioni digitali, i valori di inclinazione del suolo, la direzione di tilting e la variazione di temperatura registrata a fondo pozzo ( $\approx -25$  m dal p.c.) acquisiti nel periodo gennaio-maggio 2018.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione ECO (89 m s.l.m.)	26.9 $\mu$ radianti a NNE	0.02 °C
Stazione CMP (62 m s.l.m.)	17.3 $\mu$ radianti a NNW	-0.04 °C
Stazione HDM (112 m s.l.m.)	15.8 $\mu$ radianti a ENE	-0.02 °C

In Figura 2.9 sono riassunti gli andamenti delle componenti tiltmetriche (filtrate dalle periodicità giornaliere) e termica registrate da ognuna delle 3 stazioni borehole.

Per evidenziare la continuità dei segnali, il periodo di tempo rappresentato parte dal 1 gennaio 2017; poiché, inoltre, i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da quella data.

Tutte le componenti NS mostrano un trend di inclinazione verso N e quindi un sollevamento del suolo a S delle stesse, mentre le componenti EW delle 2 stazioni situate ad E di Pozzuoli (ECO e HDM) mostrano un trend verso E e quindi sollevamento ad W; infine l'unica stazione situata ad W di Pozzuoli (CMP) mostra ovviamente un trend opposto.



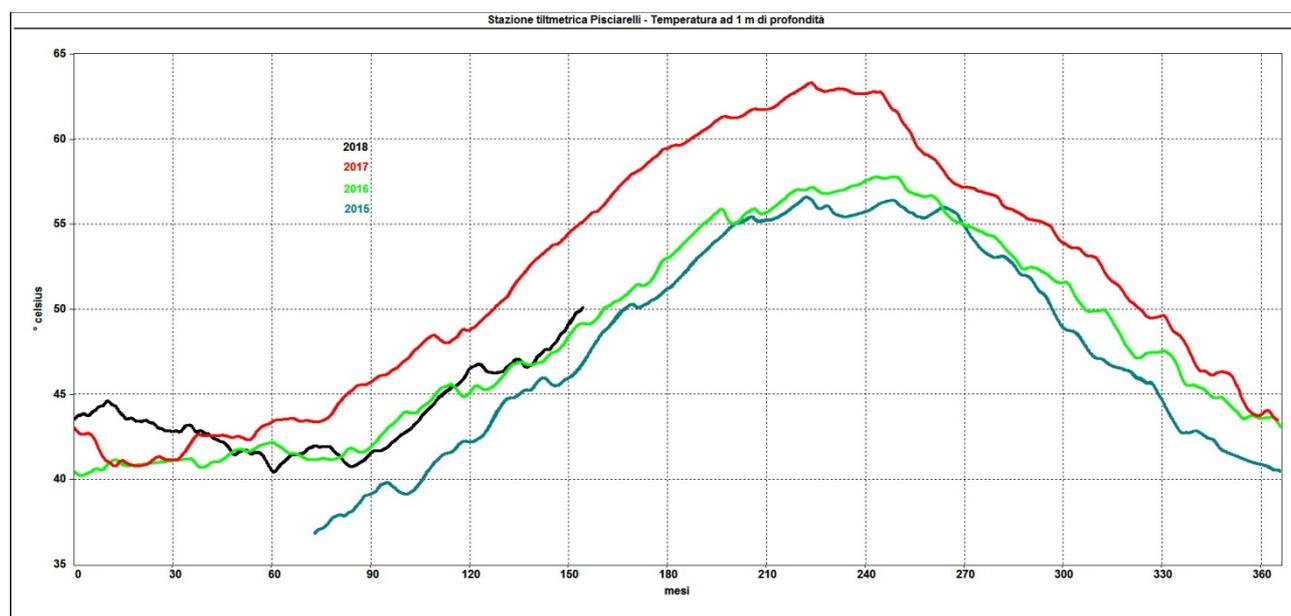
**Figura 2.9** – Serie temporali dei segnali registrati a partire dal 2017 dalle 3 stazioni “borehole” della rete flegrea, con sensori ubicati a 25 m di profondità, ordinate dal basso verso l’alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in  $\mu$ radianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente la variazione di inclinazione del suolo a N e ad E, mentre la terza colonna riporta la temperatura in °C registrata da ogni sensore. In rosso sono riportati i segnali relativi al 2017 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2018.

Dall'analisi della Figura 2.8 risulta evidente la radialità nella deformazione del suolo iniziata dalla fine di settembre del 2017 che in precedenza era meno marcata.

L'intersezione delle direzioni di tilting individua l'uplift massimo a Pozzuoli ma la maggiore inclinazione del suolo avviene in direzione NNE.

Il rateo medio mensile del tilt è di 5.3 (standard error(SYX)=0.2)  $\mu$ radianti ad ECO, 3.1 (SYX=0.5)  $\mu$ radianti ad HDM e 3.5 (SYX=0.4)  $\mu$ radianti a CMP; nell'ultimo mese la variazione tiltmetrica è diminuita leggermente ad ECO e HDM ma in misura maggiore a CMP.

Inoltre, per quanto riguarda la zona della Solfatarata di Pozzuoli, dal confronto tra le serie termiche registrate dal sensore di temperatura a corredo del tiltmetro installato a Pisciarelli (PSC, sensore a -1 m da p.c.), si segnala una diminuzione di temperatura di 4÷5 °C rispetto al 2017, anno in cui è stata registrata la massima variazione termica (Fig. 2.10).



**Figura 2.10** - Temperatura registrata dal sensore termico del tiltmetro borehole in località Pisciarelli (stazione PSC, sensore a -1 m da p.c.). I diversi colori contraddistinguono gli anni: nero 2018, rosso 2017, verde 2016, ciano 2015.

### 3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

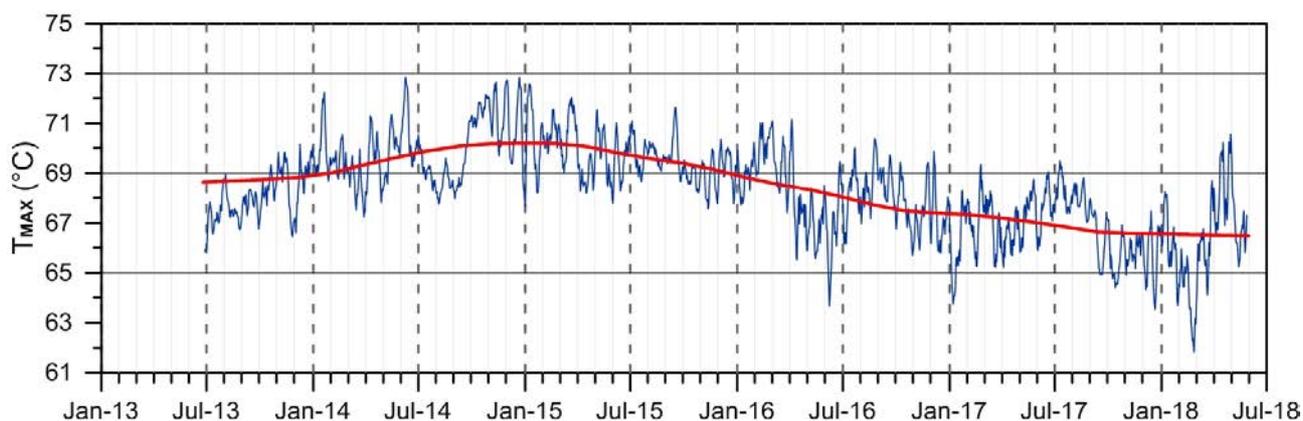
La stazione SF2 della Rete Permanente di Monitoraggio Termico dei Campi Flegrei acquisisce immagini all'infrarosso termico del settore settentrionale del versante interno del cratere della Solfatarata, mentre la stazione PS1 acquisisce immagini all'infrarosso termico della parte alta del versante ad ovest della fumarola principale in località Pisciarelli (Fig. 3.1; Silvestri et al., 2017; Vilardo et al., 2015).



**Figura 3.1** - Stazione SF2 e PS1. Punto giallo: posizione della stazione; base del triangolo: area campionata.

Le figure 3.2 e 3.3 mostrano l'elaborazione delle rispettive serie temporali dei valori di temperatura massima delle immagini IR processati in tempo reale con l'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition) implementato nel software A.S.I.R.A. (Automated System for IR Analysis). Tale procedura, largamente utilizzata nell'elaborazione statistica di serie temporali, ha una elevata affidabilità ed il vantaggio di restituire il trend in termini di valori di temperatura osservati anziché di valori residui.

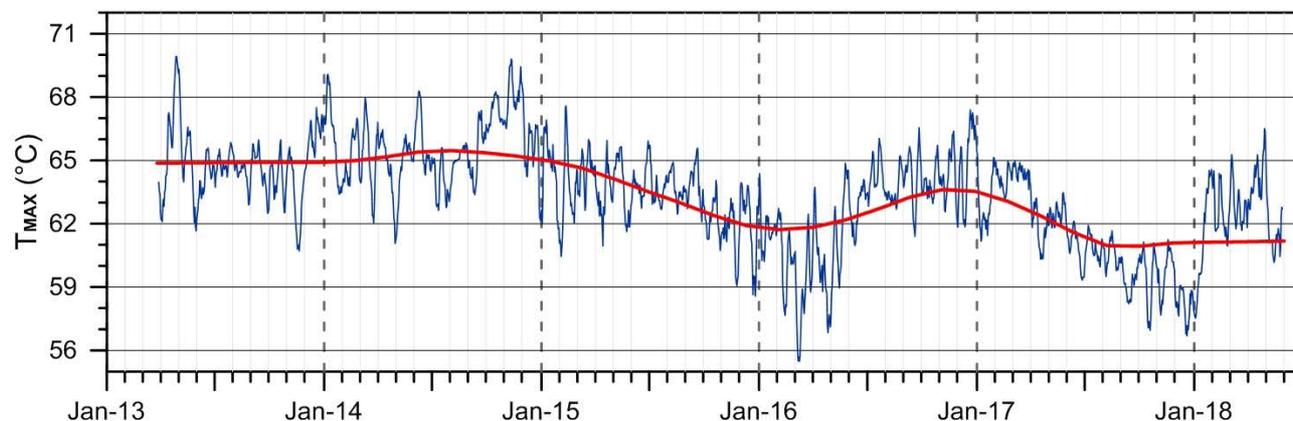
L'andamento delle temperature massime rilevate dalla stazione SF2 mostra dall'inizio del 2015, un trend in lieve e costante diminuzione seppur in presenza di ampie oscillazioni a corto periodo (Fig. 3.2). Dopo aver raggiunto nel mese di febbraio 2018 il valore minimo degli ultimi 5 anni, le temperature massime mostrano un trend in sensibile aumento nei mesi di marzo e di aprile. Nel mese di maggio si osserva una diminuzione dei valori di temperatura che interrompe il trend in aumento osservato nei mesi precedenti.



**Figura 3.2** - Stazione SF2. Serie temporali delle medie settimanali (blu) e del trend a lungo termine (rosso) dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR destagionalizzata mediante applicazione dell'algoritmo STL.

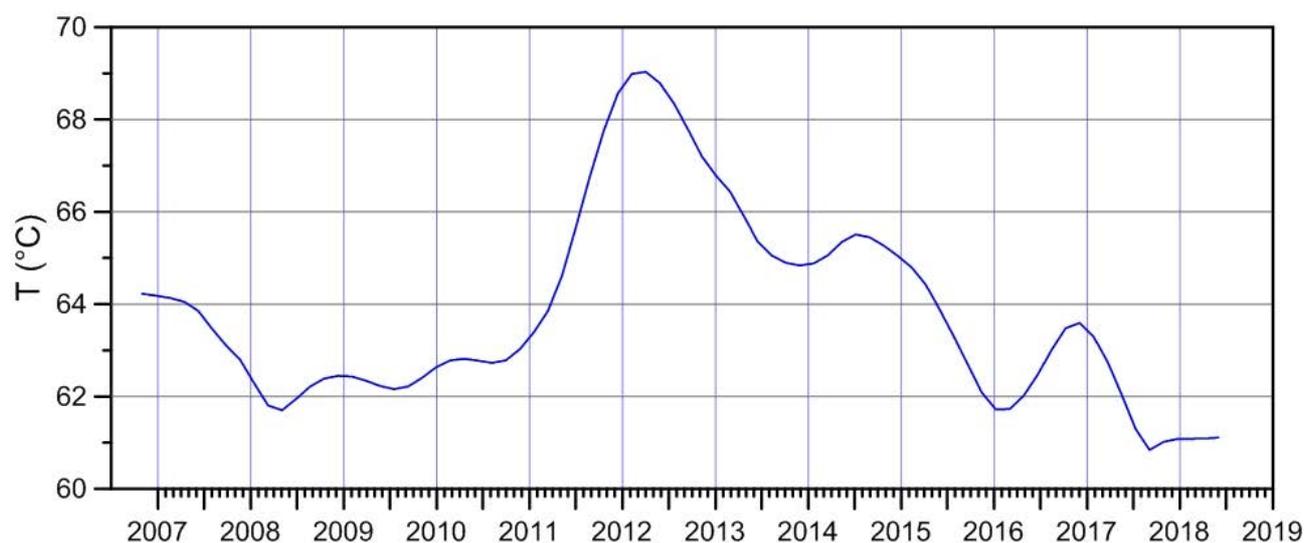
L'andamento delle temperature massime rilevate dalla stazione PS1 (Fig. 3.3), dopo una costante diminuzione nel 2017 fino al raggiungimento dei valori tra i più bassi degli ultimi 5 anni, ha

presentato un significativo aumento nei mesi da gennaio ad aprile. Nel mese di maggio, così come osservato per la stazione SF2, si rileva una sensibile diminuzione dei valori di temperatura.



**Figura 3.3** - Stazione PS1. Serie temporali delle medie settimanali (blu) e del trend a lungo termine (rosso) dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR destagionalizzata mediante applicazione dell' algoritmo STL.

In Figura 3.4 è mostrato il trend a lungo termine (ottobre 2007 - maggio 2018) delle variazioni delle temperature massime superficiali rilevate dalla stazione PS1 ottenuto mediante applicazione dell'algoritmo STL.



**Figura 3.4** - Stazione PS1: Stazione Pisciarelli. Trend a lungo termine dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR ottenuto mediante applicazione dell'algoritmo STL.

La Figura 3.4 evidenzia, dopo il raggiungimento del picco massimo dei valori nella prima metà del 2012, il verificarsi di un trend in costante diminuzione, seppure in presenza di oscillazioni a lungo periodo. Negli ultimi mesi l'andamento risulta essere sostanzialmente stabile.

## 4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

---

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di maggio 2018 ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo tramite la stazione automatica FLXOV3 installata a Pisciarelli;
- l'acquisizione in continuo del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo (stazioni FLXOV5 e FLXOV1), della temperatura della fumarola BG e del gradiente termico nel cratere della Solfatara;
- il campionamento della fumarola principale di Pisciarelli;
- misure di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nell'area di Pisciarelli.

Per il periodo di interesse non sono disponibili nuovi dati della composizione delle fumarole (BG e BN), né nuove misure di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e di temperatura del suolo in area craterica della Solfatara

Di seguito sono riportate le osservazioni più rilevanti sui nuovi dati acquisiti nelle attività di monitoraggio geochimico (Fig. 4.1).

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; 2015a,b; 2016), ai quali si rimanda per approfondimento.

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, a partire dai primi anni del 2000, indicano il riscaldamento e la pressurizzazione del sistema idrotermale della Solfatara (vedi Bollettini mensili e Relazioni semestrali precedenti).

Tale processo di riscaldamento e pressurizzazione del sistema è supportato dalle misure periodiche, su punti fissi nel cratere della Solfatara (Fig. 4.1), del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e della temperatura del suolo, che mostrano trends di aumento pluriennali. In particolare, i valori di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo relativi alle campagne mensili di misura (dati aggiornati ad aprile 2018), mostrano un andamento caratterizzato da una periodicità annuale, rientrando in un trend di aumento pluriennale dei valori a partire dal 2006 (Fig. 4.2). Analogamente, la media delle temperature del suolo, misurate a 10 cm di profondità, mostra un chiaro andamento stagionale sovrapposto ad un trend d'aumento della temperatura (Fig. 4.3), con un incremento del valore medio delle temperature misurate di oltre 5 °C nel periodo 2002-2018. Nella mappa di Figura 4.4a è riportato l'incremento di temperatura espresso in °C/anno calcolato per ogni punto misurato a partire dal 2002. L'incremento di temperatura interessa diffusamente tutta l'area craterica con un massimo nella zona centrale; naturalmente, l'incremento di temperatura non interessa le aree delle fumarole e del bordo del cratere a NE dove le temperature sono vicine al limite fisico di condensazione per i fluidi emessi dalla Solfatara (~95°C, Fig. 4.4b).

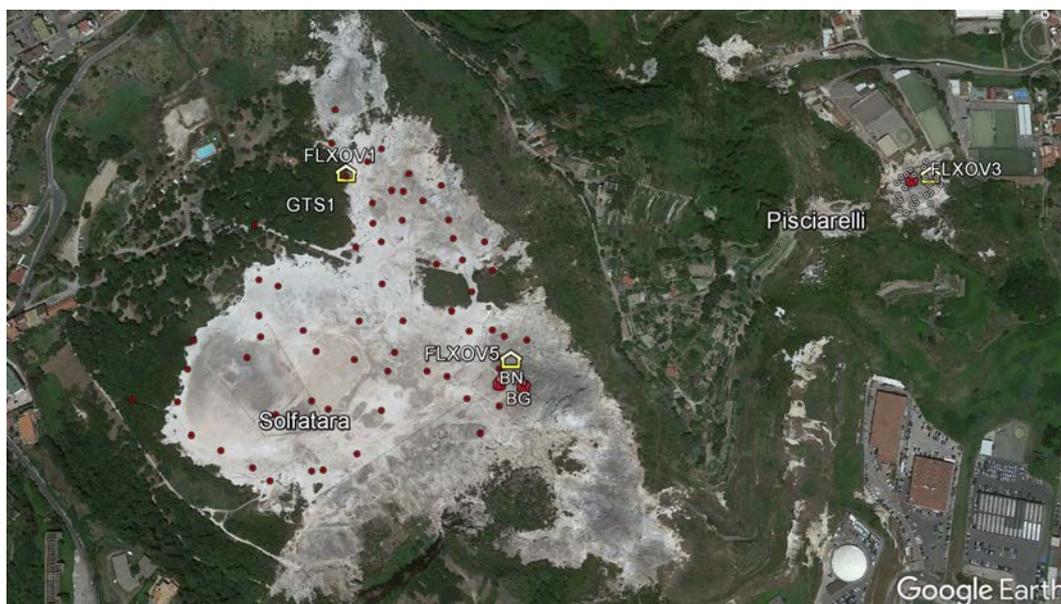
Tale processo di riscaldamento è evidenziato anche da misure analoghe, di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e temperatura del suolo, effettuate periodicamente su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli. In Figura 4.5 è riportata la media delle temperature del suolo, misurate a 10 cm di profondità, che dal 2009 mostra un significativo trend d'aumento, con un incremento del valore medio di circa 5 °C. Nella mappa di Figura 4.6, dove è riportata la distribuzione areale dell'incremento annuo di temperatura, si nota oltre ad un aumento diffuso delle temperature in tutta l'area indagata, la presenza di zone a maggiore riscaldamento legate a processi di fumarolizzazione locale.

La stazione multiparametrica FLXOV5, attiva dal dicembre 2014 e installata nel cratere della Solfatara a pochi metri dalla fumarola BG, ha misurato un significativo aumento del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo, a partire dal febbraio 2016 e confermato dopo l'intervento di manutenzione della stazione (marzo-giugno) da luglio 2016 (Fig. 4.7). Tale aumento del flusso di CO<sub>2</sub> è da mettere in relazione all'evidente processo di fumarolizzazione che interessa l'intera area. A causa di un malfunzionamento, la stazione attiva fino ai primi giorni del mese di maggio, è stata riportata in laboratorio per un intervento di manutenzione straordinaria. Si prevede di reinstallarla entro il mese di giugno.

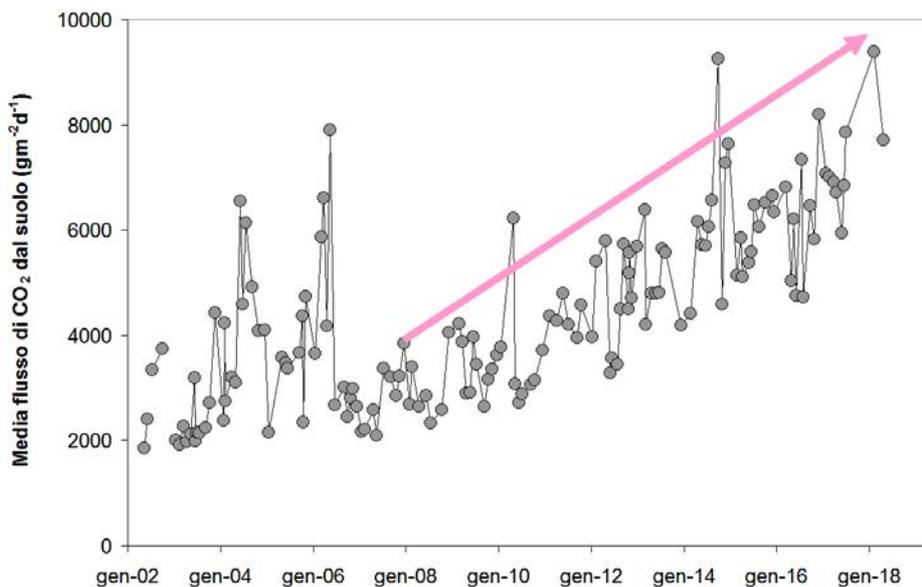
Il processo di riscaldamento e pressurizzazione della parte più superficiale del sistema idrotermale, iniziato a partire dal 2007 (Chiodini et al., 2011) e tuttora in corso, causa a nostro avviso le variazioni macroscopiche osservate a Pisciarelli (Fig. 4.8) e che negli ultimi anni sono consistite nell'apertura di nuovi vent fumarolici e di polle bollenti, nell'emissione di fango, in attività sismica localizzata, nell'aumento della temperatura della fumarola principale (Fig. 4.9) e nell'aumento dei flussi misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig. 4.10).

Il flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo misurato nel mese di maggio ha mostrato un moderato aumento per poi ritornare a valori in linea con quelli registrati nei periodi precedenti (Fig. 4.10).

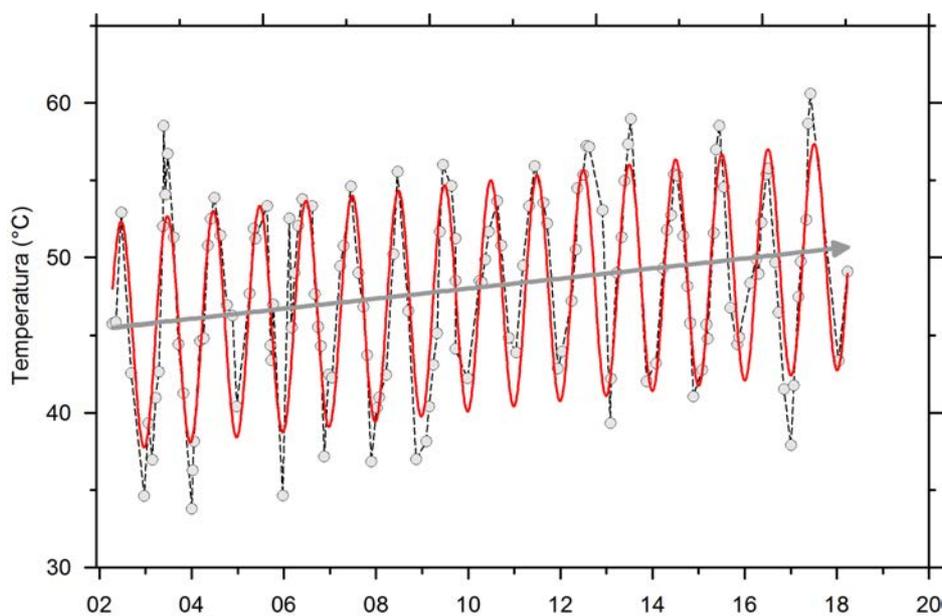
La temperatura della fumarola principale di Pisciarelli, a causa del malfunzionamento della stazione FLXOV3, è stata acquisita in continuo con un nuovo sistema collegato in remoto. Nel periodo di interesse la temperatura della fumarola non ha mostrato variazioni significative, con un valore medio rilevato di circa 113 °C (Fig. 4.11). Poiché la fumarola è un sistema naturale in continua evoluzione, con variazioni macroscopiche del sito di emissione, la temperatura registrata potrebbe non sempre coincidere con la temperatura massima. L'ambiente aggressivo a cui è stata sottoposta la stazione per oltre dieci anni ha danneggiato irrimediabilmente l'elettronica. L'acquisitore dovrà essere sostituito con una nuova stazione multiparametrica denominata "GEMMA", sviluppata e realizzata nell'ambito delle attività di ricerca tecnologica dell'Osservatorio Vesuviano, per l'acquisizione di parametri geochimici e ambientali correlati.



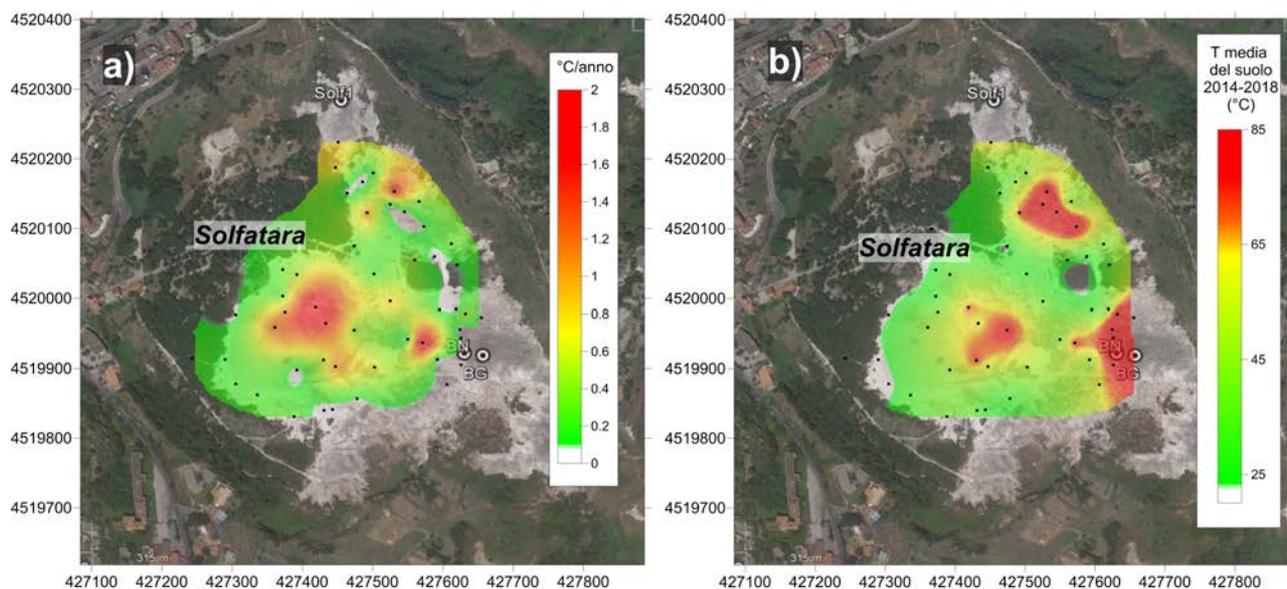
**Figura 4.1** - Ubicazione delle stazioni della rete geochimica ai Campi Flegrei e dei siti dove sono eseguite le attività di monitoraggio geochimico. In particolare sono riportate le quattro stazioni geochimiche ubicate in area Solfatara-Pisciarelli e le principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli; sono inoltre riportati i punti fissi per la misura del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e della temperatura del suolo in area Solfatara (simboli rossi) e in area Pisciarelli (simboli bianchi).



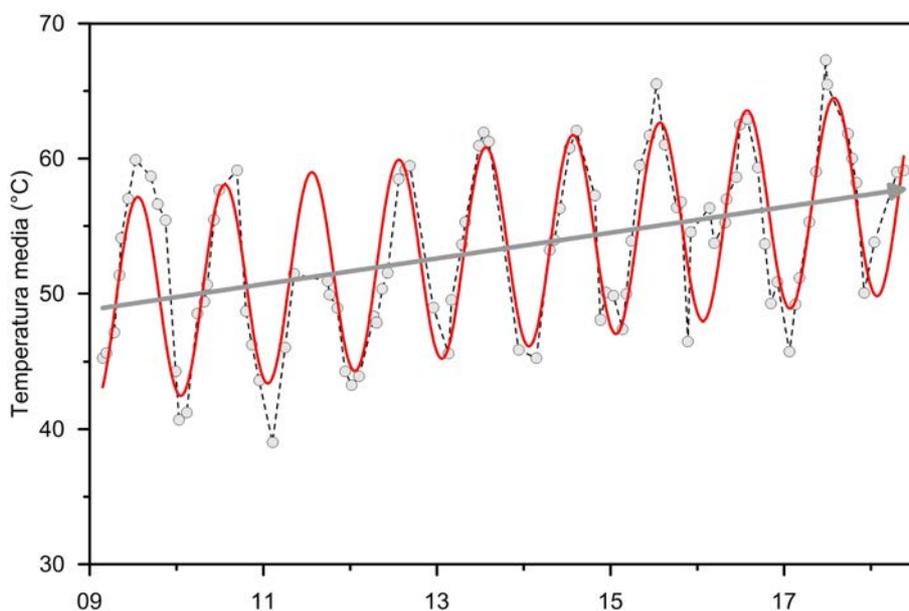
**Figura 4.2** – Cronogramma della media dei flussi di CO<sub>2</sub> dal suolo misurati mensilmente su 61 punti fissi nell'area craterica della Solfatara.



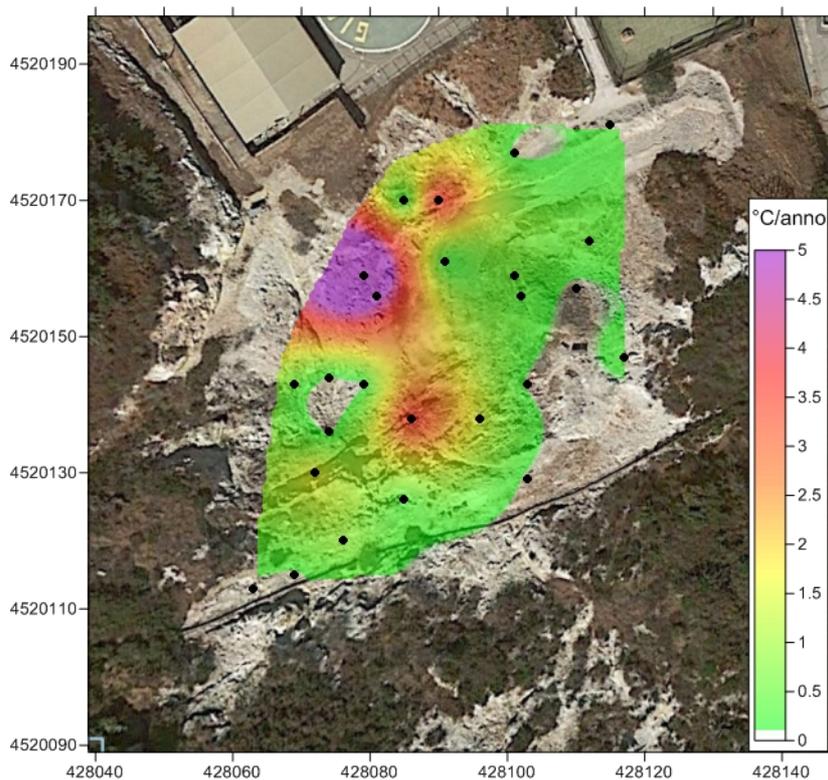
**Figura 4.3** – Cronogramma della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 61 punti fissi nell'area craterica della Solfatara. Va evidenziato l'incremento del valore medio nel periodo 2002-2018 di oltre 5 °C.



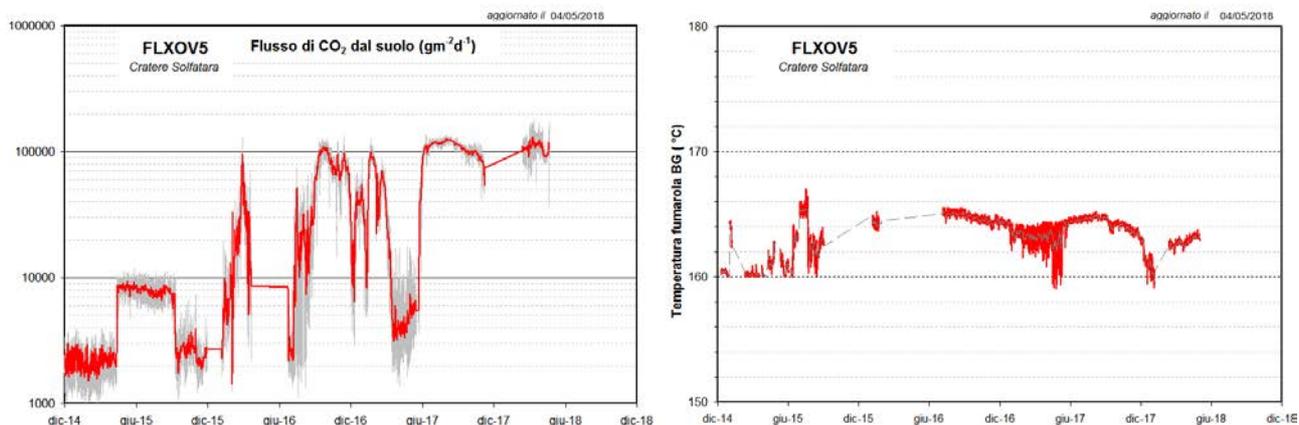
**Figura 4.4** – a) Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ogni punto misurato a partire dal 2002. L'incremento di temperatura interessa diffusamente tutta l'area craterica con un massimo nella zona centrale. L'incremento di temperatura non interessa le aree delle fumarole e del bordo del cratere a NE dove le temperature sono vicine al limite fisico di condensazione per i fluidi emessi dalla Solfatara (~95°C). b) mappa delle temperature dei punti misurati (media dal 2014 al 2018).



**Figura 4.5** - Cronogramma dal 2009 della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli.



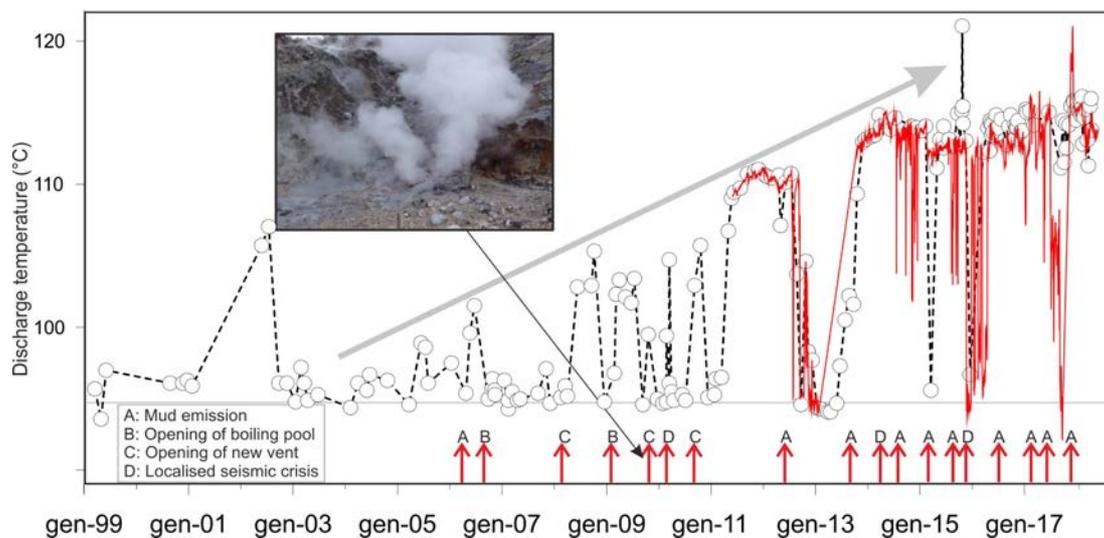
**Figura 4.6** - Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ognuno dei 25 punti misurati a partire dal 2009. L'incremento di temperatura interessa tutta l'area indagata con le zone di maggiore riscaldamento legate a processi di fumarolizzazione locale.



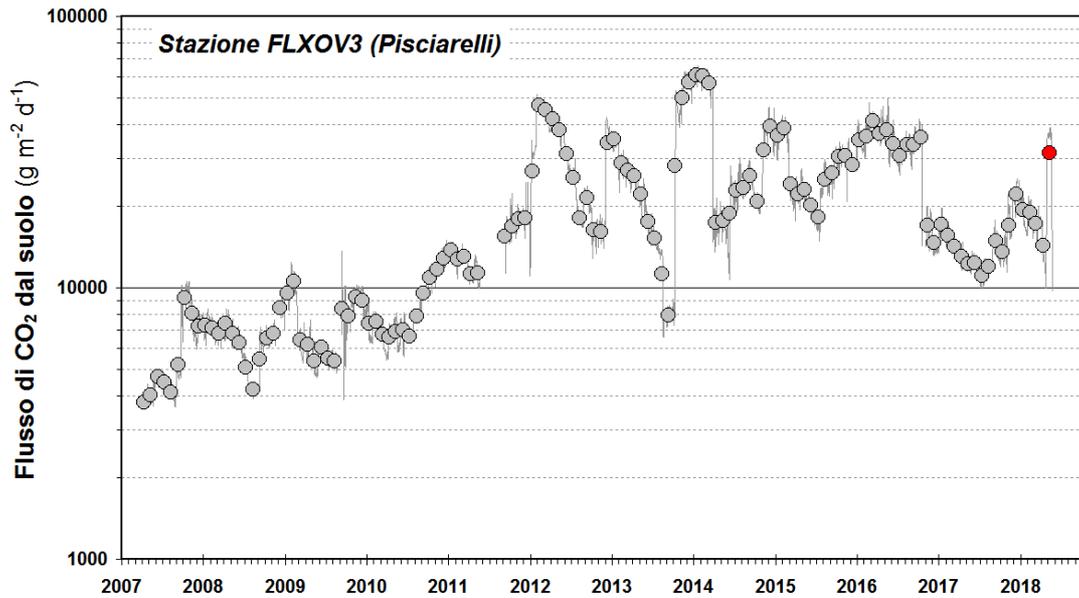
**Figura 4.7** – Valori del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e della temperatura della fumarola BG misurati dalla stazione FLXOV5 installata nel cratere della Solfatara a pochi metri dalla fumarola principale BG. I valori di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo mostrano, in generale, un significativo incremento a partire dal 2015 (la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere dei valori misurati).



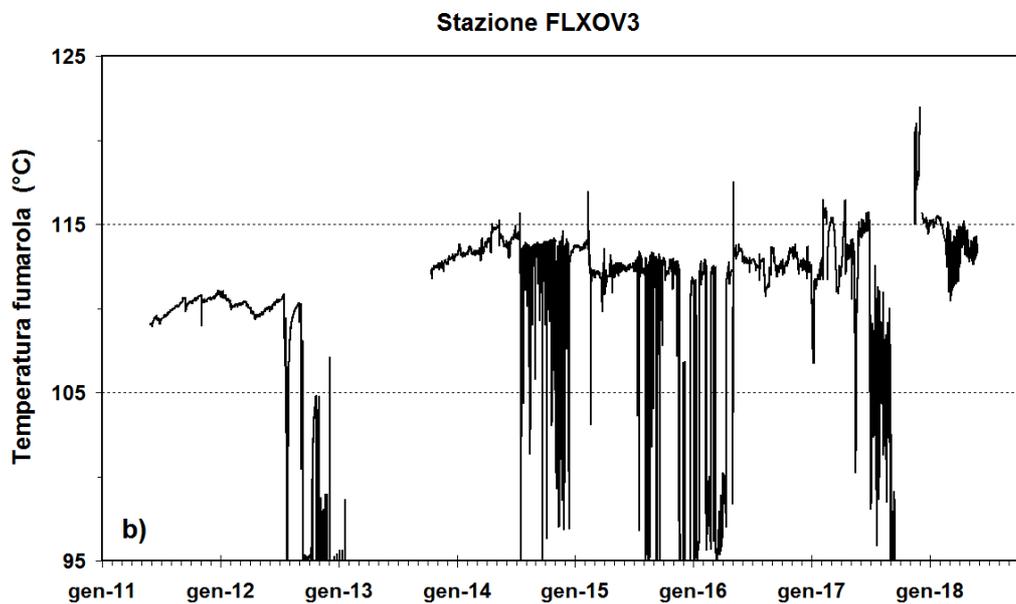
**Figura 4.8** - Variazioni macroscopiche dell'area di emissione di Pisciarelli dal 2005.



**Figura 4.9** - 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 maggior flusso 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 4.10** - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO<sub>2</sub> misurati a Pisciarelli (FLXOV3). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo a partire dal 2007 del flusso CO<sub>2</sub>. La media dei flussi relativa al mese di maggio 2018 è riportata con il simbolo rosso. L'intervento di riparazione della stazione, effettuato nel mese di novembre 2016, resosi necessario per ripristinare il sistema per la misura del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo, ha comportato una modifica permanente del sito con valori misurati di flusso di CO<sub>2</sub> più bassi.



**Figura 4.11** - Cronogramma delle temperature della fumarola di Pisciarelli registrate in continuo dal 2011.

## 5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI MARZO 2018 E VALUTAZIONI

1) **SISMOLOGIA:** Nel corso del mese di maggio 2018 sono stati registrati 8 terremoti generalmente di bassa magnitudo ( $M_{dmax}=1.1$ ).

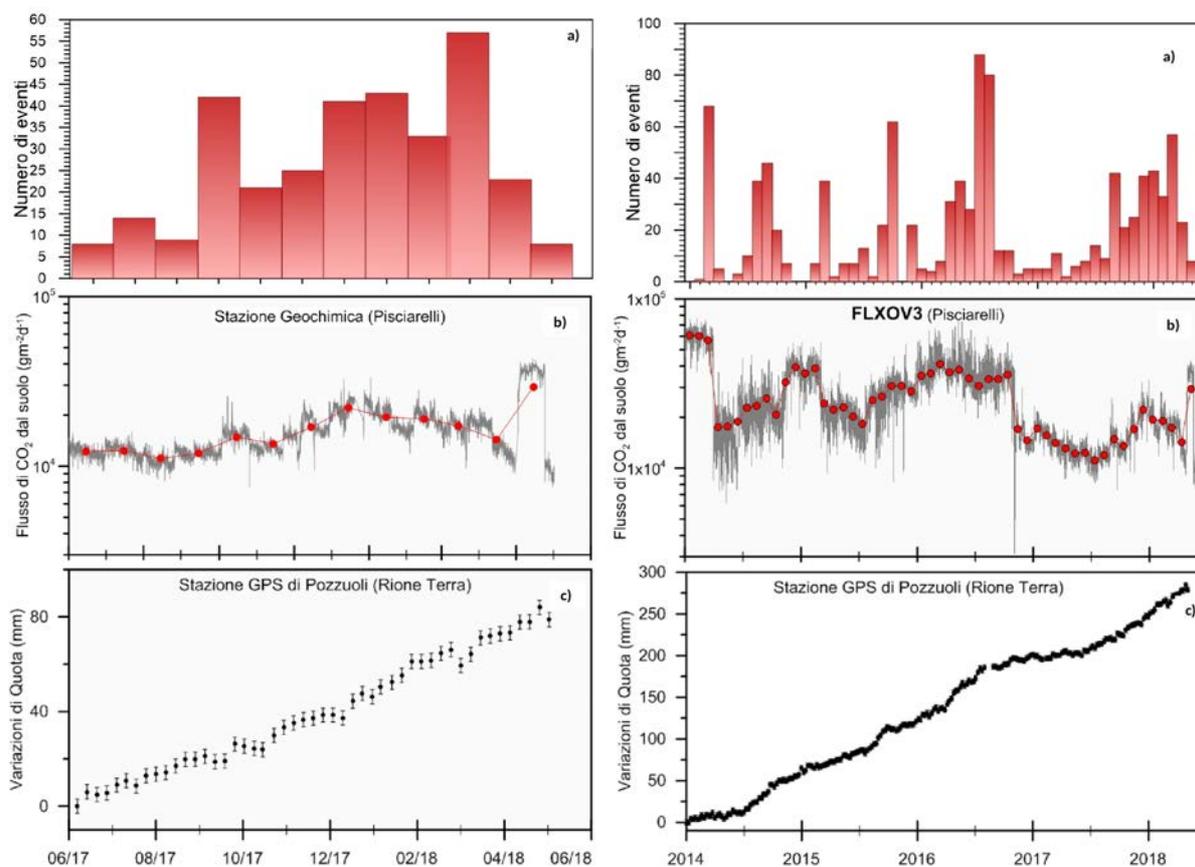
2) **DEFORMAZIONI:** L'analisi dei trend delle serie temporali GPS da luglio 2017 ha evidenziato che l'area flegrea è interessata da un sollevamento medio di circa 0.7 cm/mese. Il sollevamento registrato alla stazione GPS di RITE è di circa 27 cm a partire da gennaio 2014.

L'orientazione dei vettori tilt a partire dalla fine di settembre 2017 concorda con un uplift radiale centrato nell'area della città di Pozzuoli ma con una maggiore inclinazione del suolo in direzione NNE.

3) **TERMOGRAFIA:** L'analisi delle serie temporali delle aree campionate della Solfatara e Pisciarelli, seppur in presenza di ampie oscillazioni a breve periodo, mostra nel mese di maggio una diminuzione dei valori di temperatura rispetto a quelli misurati ad aprile.

4) **GEOCHIMICA:** Il flusso di  $CO_2$  dal suolo ha mostrato un moderato aumento per poi ritornare a valori in linea con quelli registrati nei periodi precedenti. Nel periodo di interesse la temperatura della fumarola FLXOV3 di Pisciarelli ha mostrato un valore medio di circa 113 °C.

Nella Figura 5.1 sono rappresentati i parametri di monitoraggio più indicativi in un confronto temporale a breve e medio termine.



**Figura 5.1** – Frequenza di accadimento degli eventi sismici (a), variazioni del flusso di  $CO_2$  alla stazione FLXOV3 di Pisciarelli (b) e andamento delle deformazioni del suolo alla stazione GPS di RITE negli ultimi dodici mesi (a sinistra) e dal 2014 (a destra).

Sulla base dell'attuale quadro dell'attività vulcanica sopra delineato, non si evidenziano elementi tali da suggerire significative evoluzioni a breve termine.

**N.B. Eventuali variazioni dei parametri monitorati possono comportare una diversa evoluzione degli scenari di pericolosità sopra descritti.**

Il monitoraggio dell'area flegrea permane al livello di "Attenzione".

#### **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. *Geology*, doi:10.1130/G33251.1
- Chiodini G., Vandemeulebrouck J., Caliro S, D'Auria L., De Martino P, Mangiacapra A., Petrillo Z. (2015a) 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
- Chiodini G., Pappalardo L., Aiuppa A. and Caliro S. (2015b) The geological CO<sub>2</sub> degassing history of a long-lived caldera. *Geology*. doi:10.1130/G36905.1
- Chiodini G., Paonita A., Aiuppa A., Costa A., Caliro S., De Martino P., Acocella V. and Vandemeulebrouck J. (2016) Magmas near the critical degassing pressure drive volcanic unrest towards a critical state. *Nat. Commun.* **7**, 13712. doi: 10.1038/ncomms13712
- D'Amore F. and Panichi C. (1980) Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta* **44**, 549-556.
- Silvestri M., Diaz J.A., Marotta E., Dalla Via G., Bellucci Sessa E., Caputo T., Buongiorno M.F., Sansivero F., Musacchio M., Belviso P., Carandente A., Peluso R., Nave R., Vilardo G., Doumaz F. and E. Corrales (2017). The 2016 field campaign of la Solfatara volcano: monitoring methods and instruments for volcanic surveillance. *Rapporti Tecnici INGV*, ISSN 2039-7941, Anno 2017, Numero 380.

---

#### **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 simiche 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.*