



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



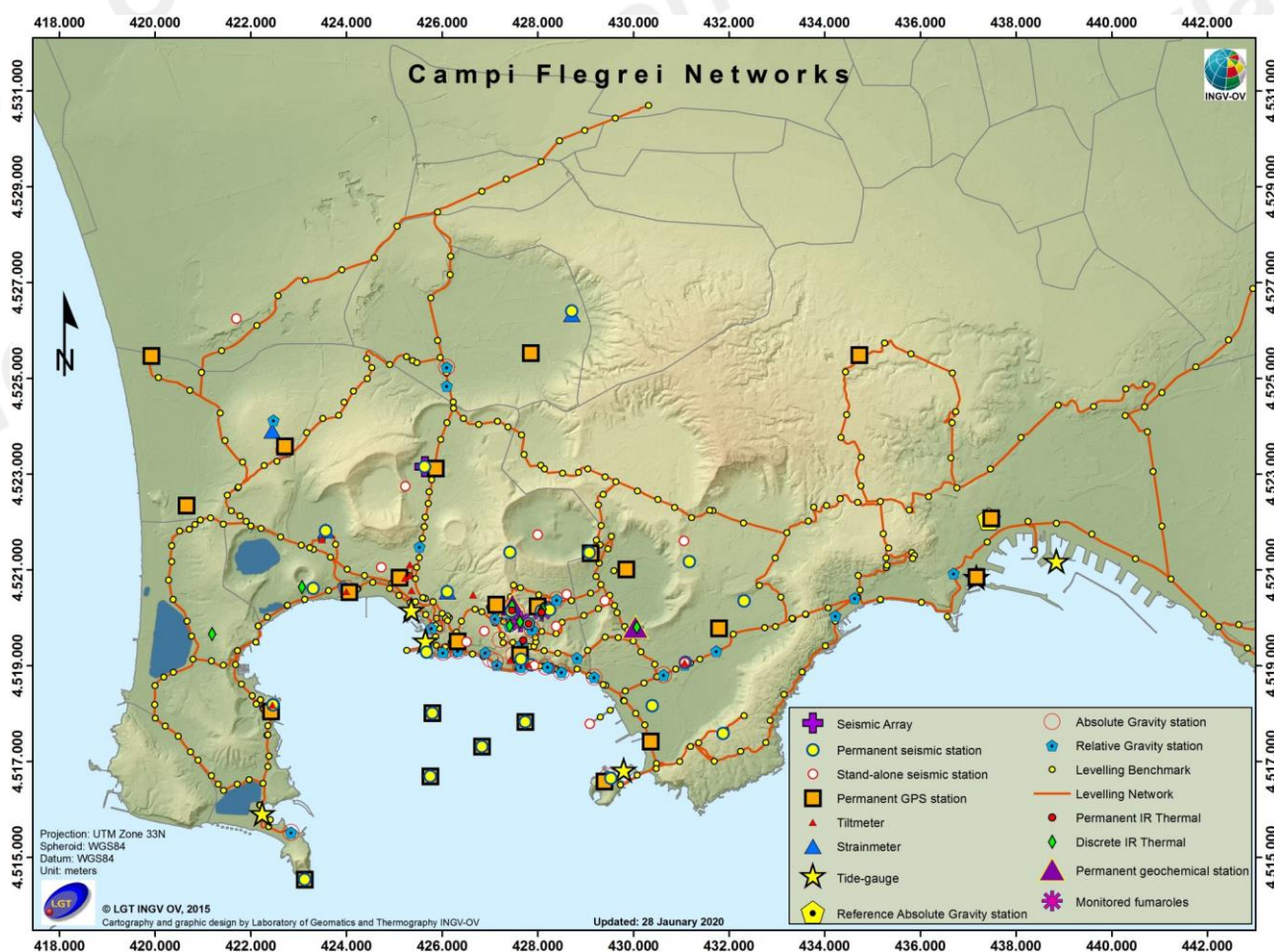
PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Bollettino di Sorveglianza

CAMPI FLEGREI

GENNAIO 2021

A cura della Sezione di Napoli | **OSSERVATORIO VESUVIANO**



1. SISMOLOGIA

La Rete Sismica Permanente dei Campi Flegrei è mostrata in Figura 1.1.

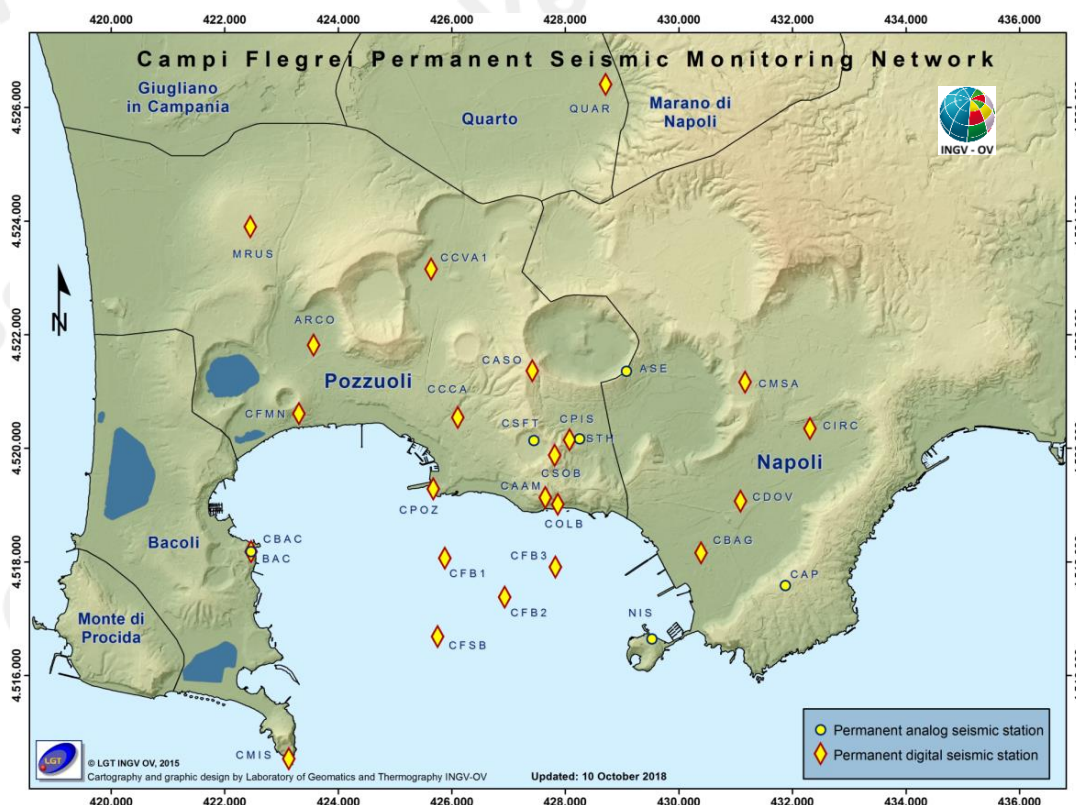


Figura 1.1 - Mappa della Rete Sismica Permanente dei Campi Flegrei.

Nel corso del mese di gennaio 2021, ai Campi Flegrei, sono stati registrati 239 terremoti ($M_{\text{dmax}}=1.8\pm0.3$; evento del 10/01 alle ore 23:54 UTC) (Fig. 1.2).

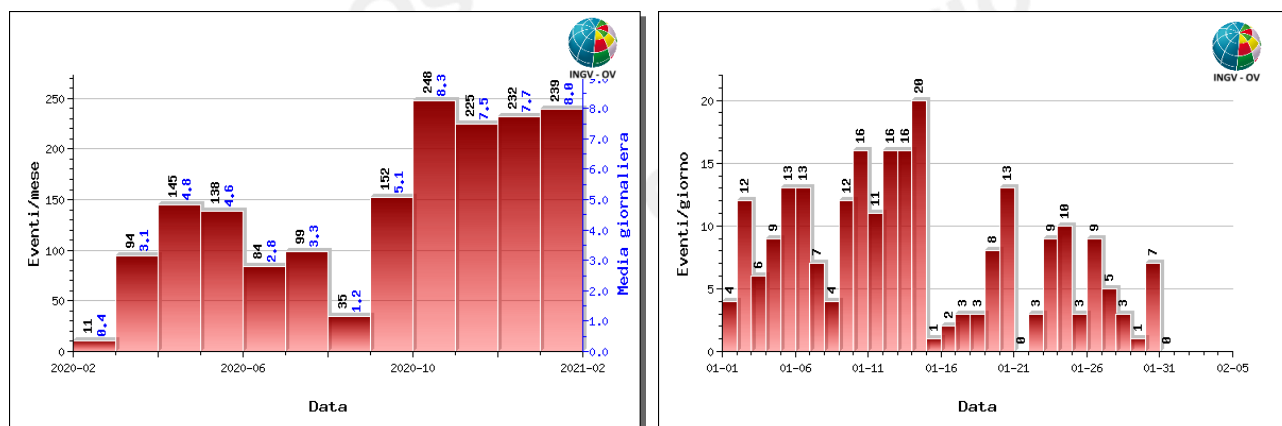


Figura 1.2 - A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1702), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 239).

E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 95 degli eventi registrati, le cui localizzazioni sono mostrate in Figura 1.3.

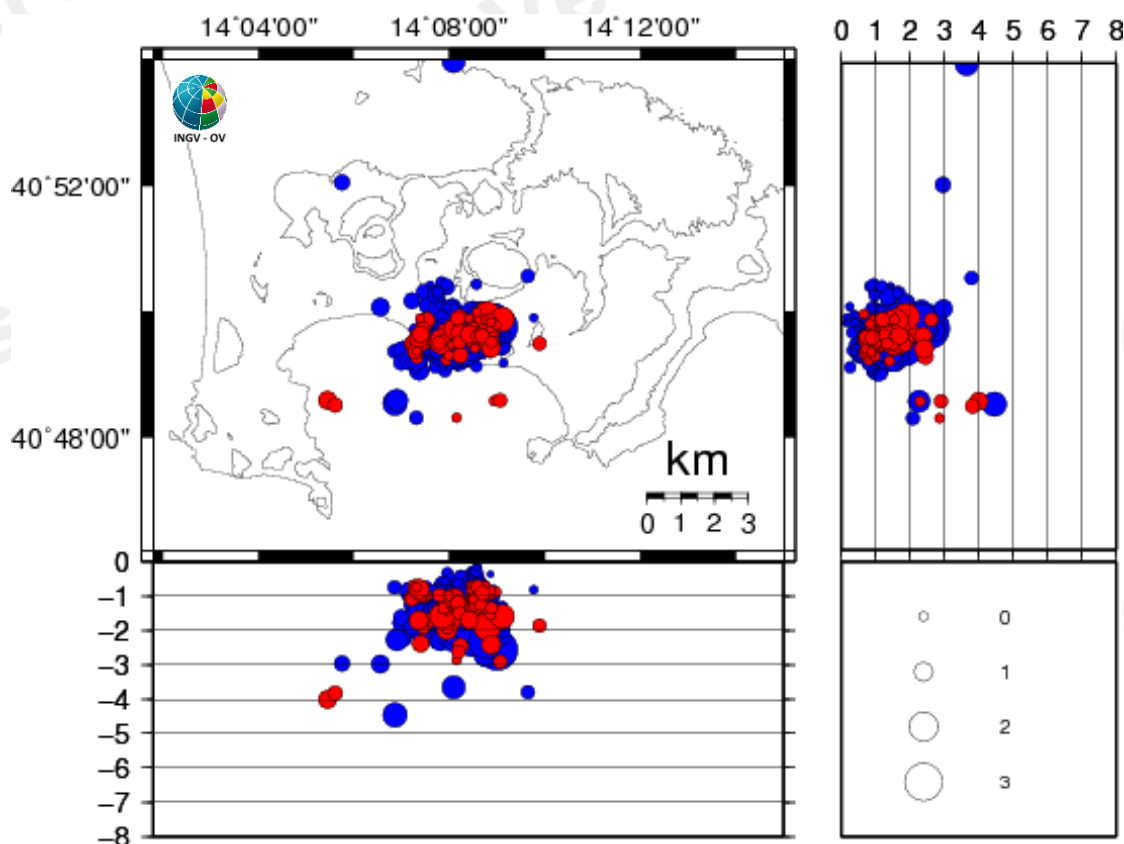


Figura 1.3 - Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.

Non si evidenziano trend significativi negli altri parametri sismologici (Figg. 1.2-1.6).

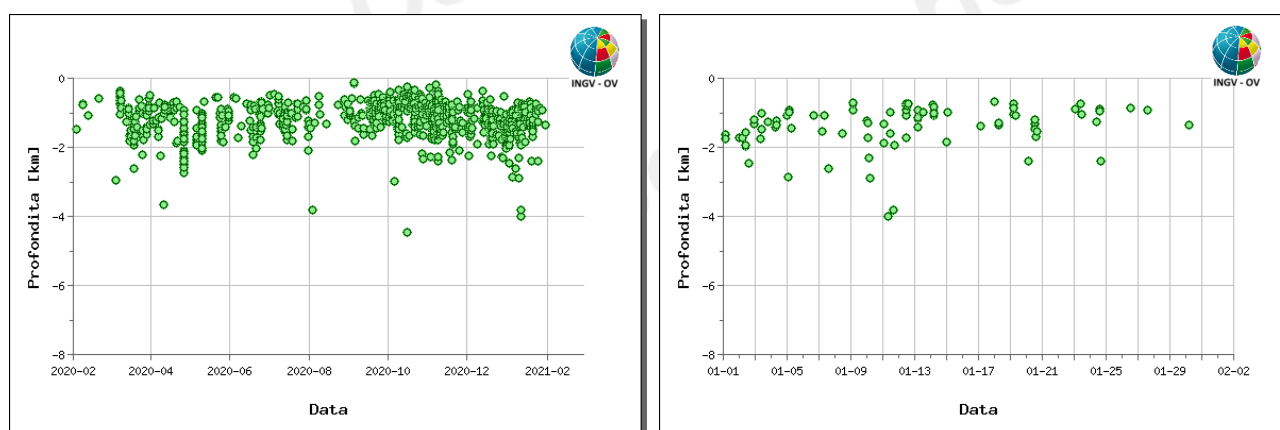


Figura 1.4 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

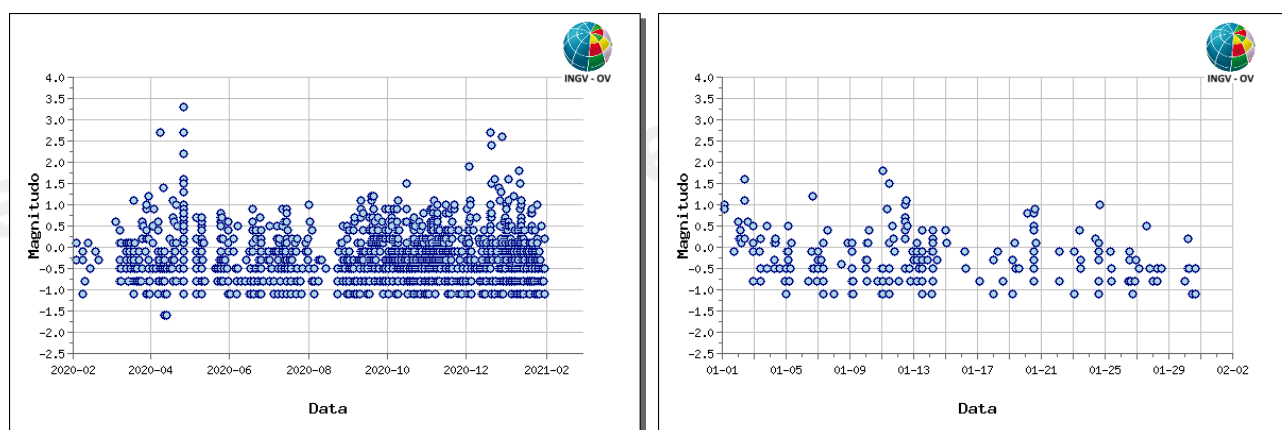


Figura 1.5 - Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

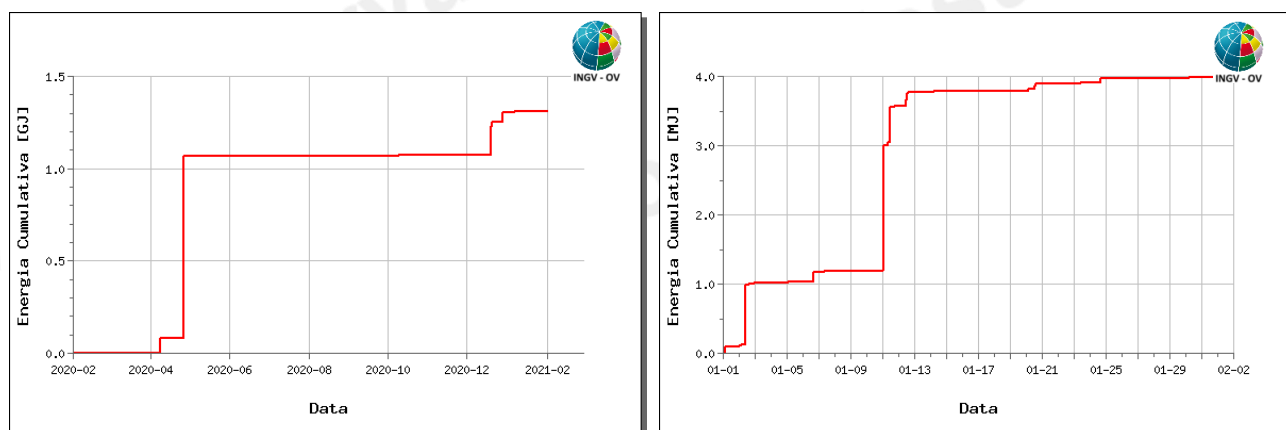


Figura 1.6 - Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

In Tabella 1.1 è rappresentato il numero di eventi registrati divisi per classi di magnitudo e le relative percentuali.

Tabella 1.1 – Riepilogo mensile della sismicità registrata ai Campi Flegrei divisa per classi di magnitudo e relative percentuali.

Numero totale terremoti: 239		$M_{dmax}=1.8\pm0.3$	
Numero terremoti con Md < 0.0	157	(65.69%)	
Numero terremoti con 0.0 ≤ Md < 1.0	54	(22.59%)	
Numero terremoti con 1.0 ≤ Md < 1.5	6	(2.51%)	
Numero terremoti con Md ≥ 1.5	3	(1.26%)	
Numero terremoti con Md N.D.	19	(7.95%)	

L'analisi del meccanismo focale dell'evento più energetico del mese di gennaio 2021 mostra una soluzione associabile ad un meccanismo di tipo normale con componente obliqua (Fig. 1.7).

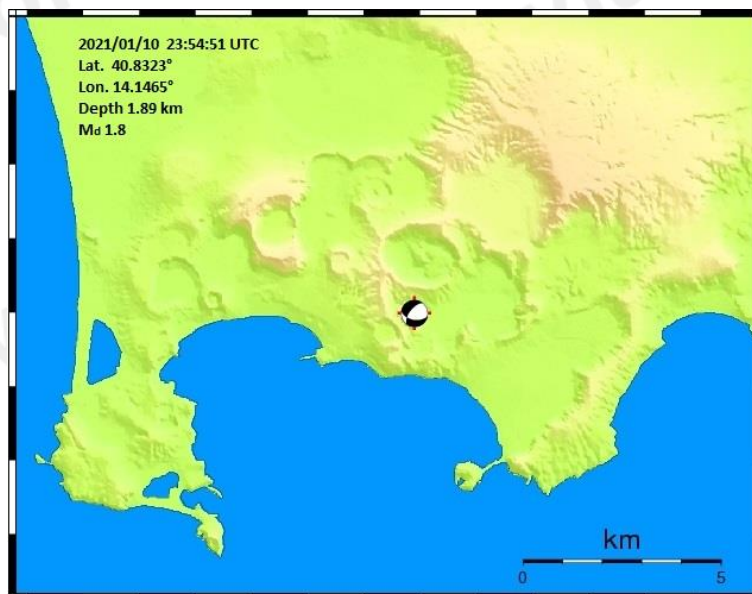


Figura 1.7 – Localizzazione e meccanismo focale dell'evento del 10/01 alle 23:54 UTC.

In figura 1.8 sono rappresentati gli andamenti dei principali parametri sismologici a partire dal 2005.

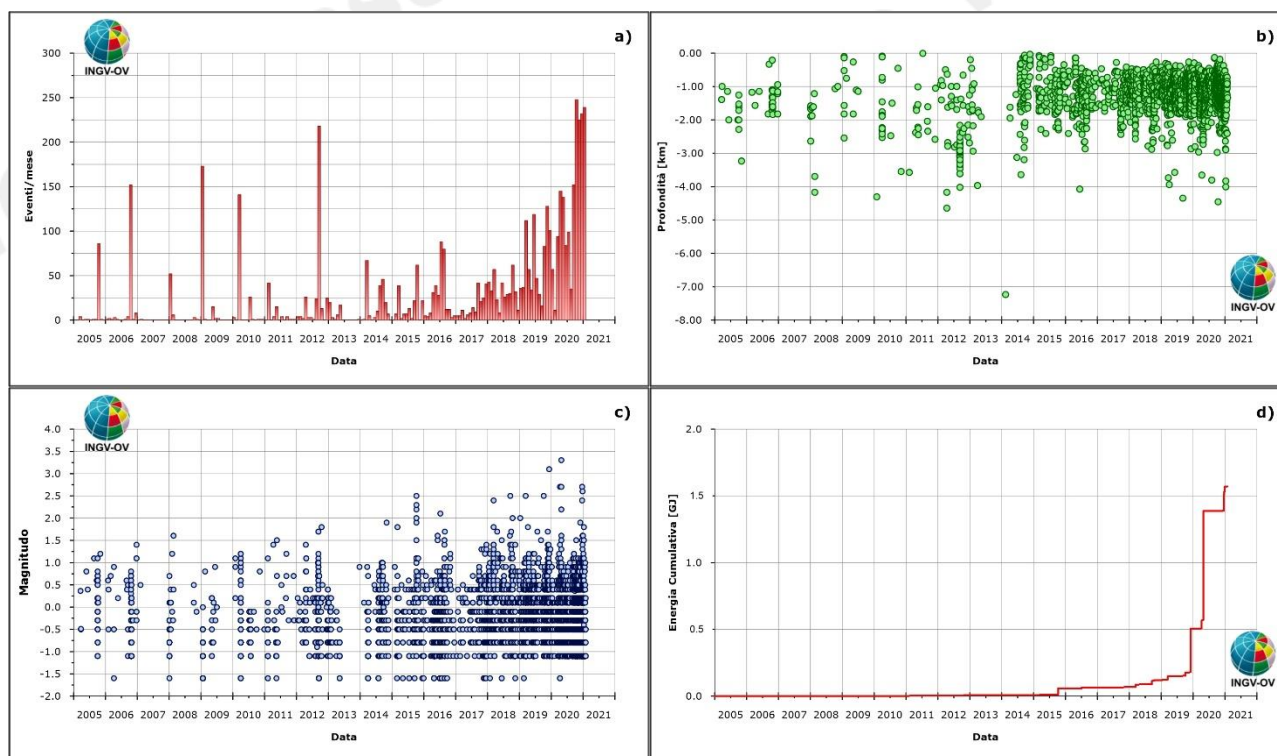


Figura 1.8 - Andamento dei principali parametri sismologici a partire dal 2005: a) frequenza di accadimento; b) profondità ipocentrali; c) magnitudo; d) energia cumulativa.

In figura 1.9 è rappresentata la frequenza di accadimento dei terremoti registrati ai Campi Flegrei dal 1983 e la relativa energia cumulativa.

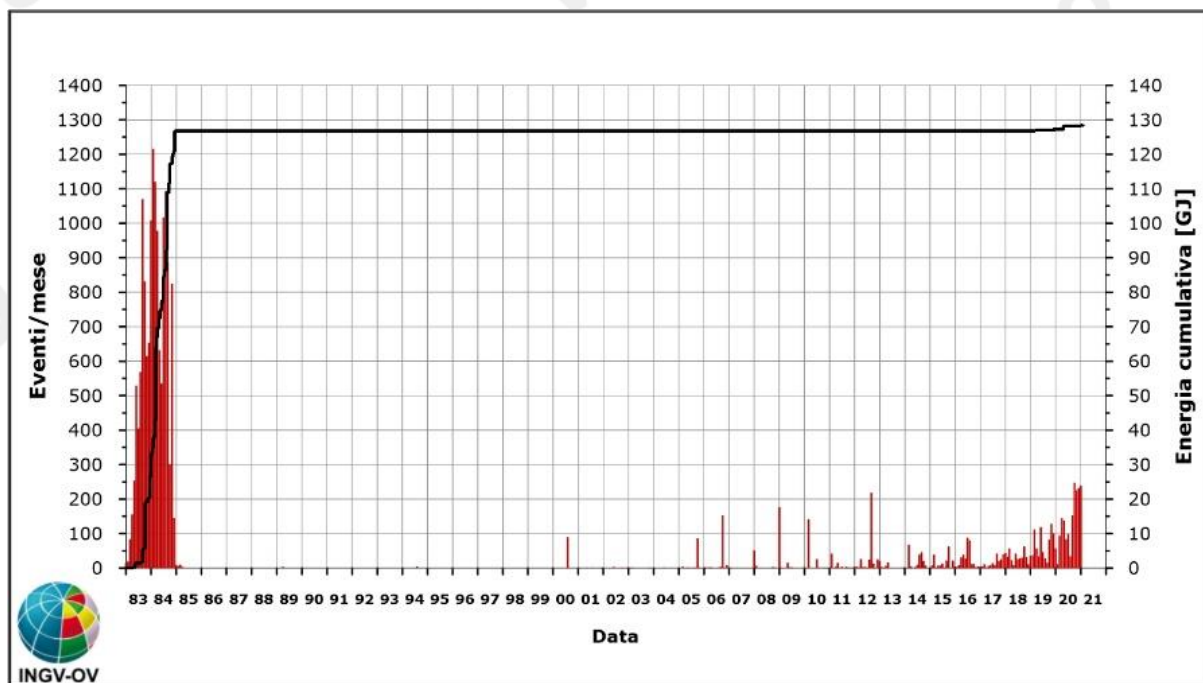


Figura 1.9 – Frequenza di accadimento dei terremoti registrati ai Campi Flegrei dal 1983. La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.

2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

2.1 GPS

La Rete GPS permanente dei Campi Flegrei è costituita da 25 stazioni (Figura 2.1.1).

La velocità media del sollevamento a partire da settembre 2020 è stata ricalcolata avendo a disposizione un maggior numero di dati settimanali (per l'incremento della durata della finestra temporale su cui viene effettuato il calcolo) e il valore stimato risulta essere 13 ± 2 mm/mese.

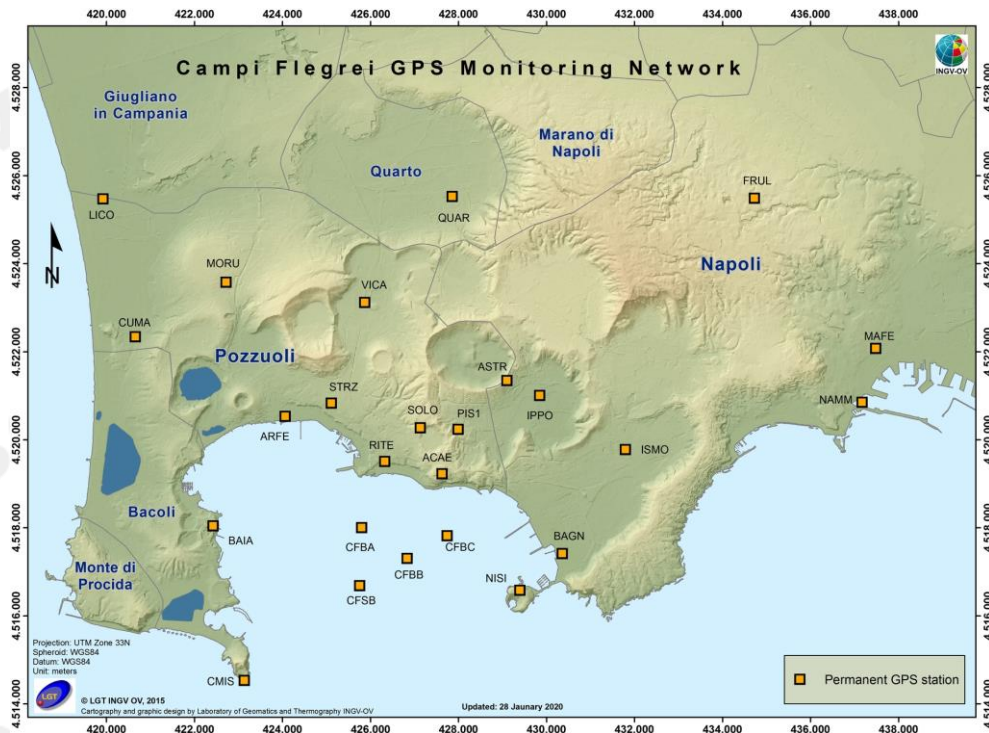


Figura 2.1.1 - Rete GPS Permanente dei Campi Flegrei.

Il sollevamento totale registrato alla stazione GPS di RITE è di circa 76 cm da novembre 2005, inizio dell'attuale fase di *unrest* (Fig. 2.1.2). Da gennaio 2016 ad oggi il sollevamento nell'area di massima deformazione è di circa 42 cm (Fig. 2.1.3).

La figura 2.1.3 riporta le serie temporali delle variazioni in quota di alcune stazioni GPS ubicate nella zona di massima deformazione dei Campi Flegrei.

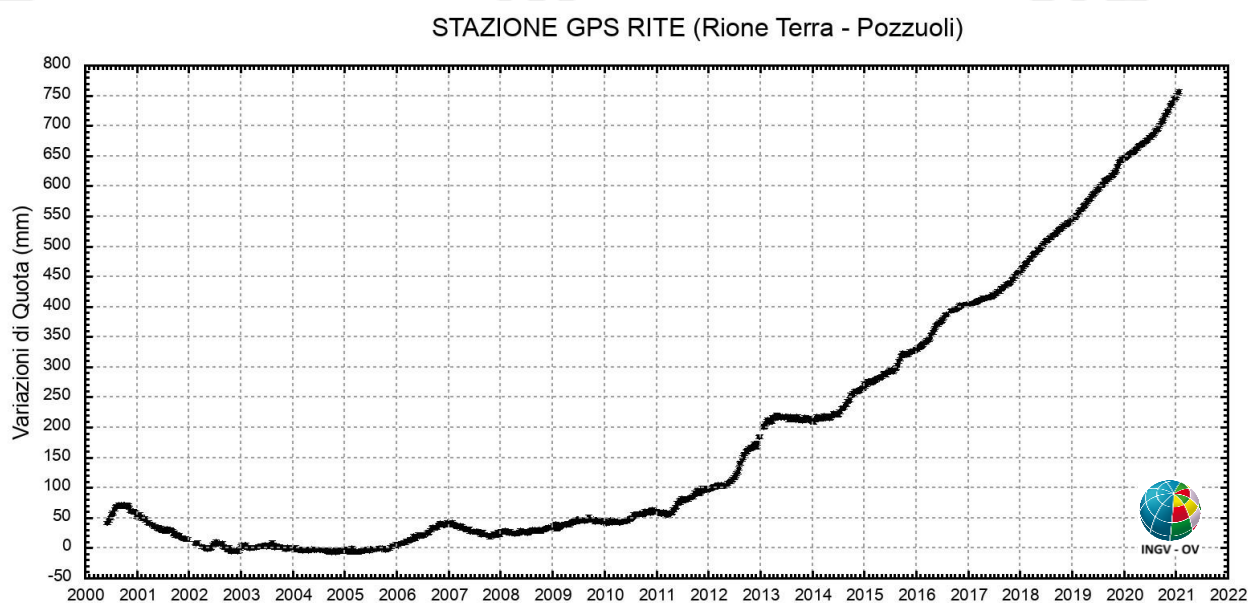


Figura 2.1.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli – Rione Terra) dal 2000 a gennaio 2021.

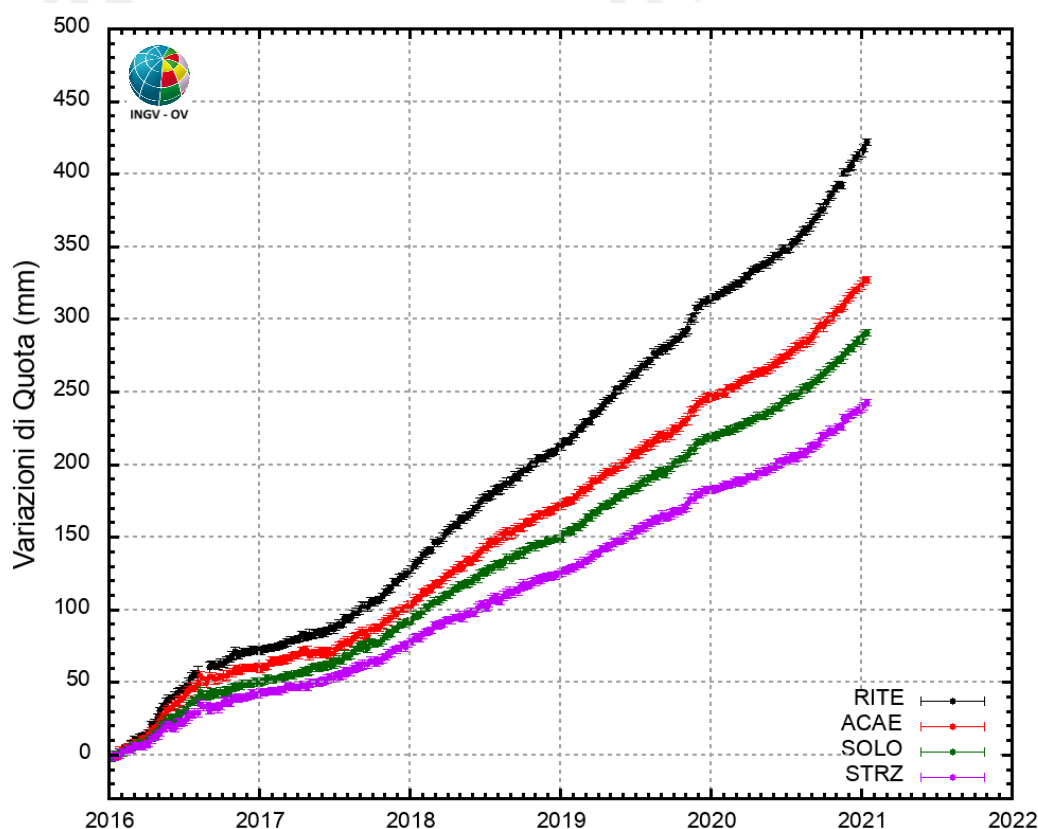


Figura 2.1.3 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli - Rione Terra), ACAE (Accademia Aeronautica), SOLO (Solfatara) e STRZ (Pozzuoli - Cimitero) da gennaio 2016 a gennaio 2021.

In Figura 2.1.4 è riportata la mappa dei vettori degli spostamenti orizzontali registrati alle stazioni CGPS ai Campi Flegrei dal 2016.

Si conferma la forma radiale del campo di deformazione, simile a quelle già individuate nelle precedenti fasi del sollevamento, e la conseguente stabilità della sorgente di deformazione localizzata nel Golfo di Pozzuoli a qualche centinaio di metri a sud della stazione di RITE.

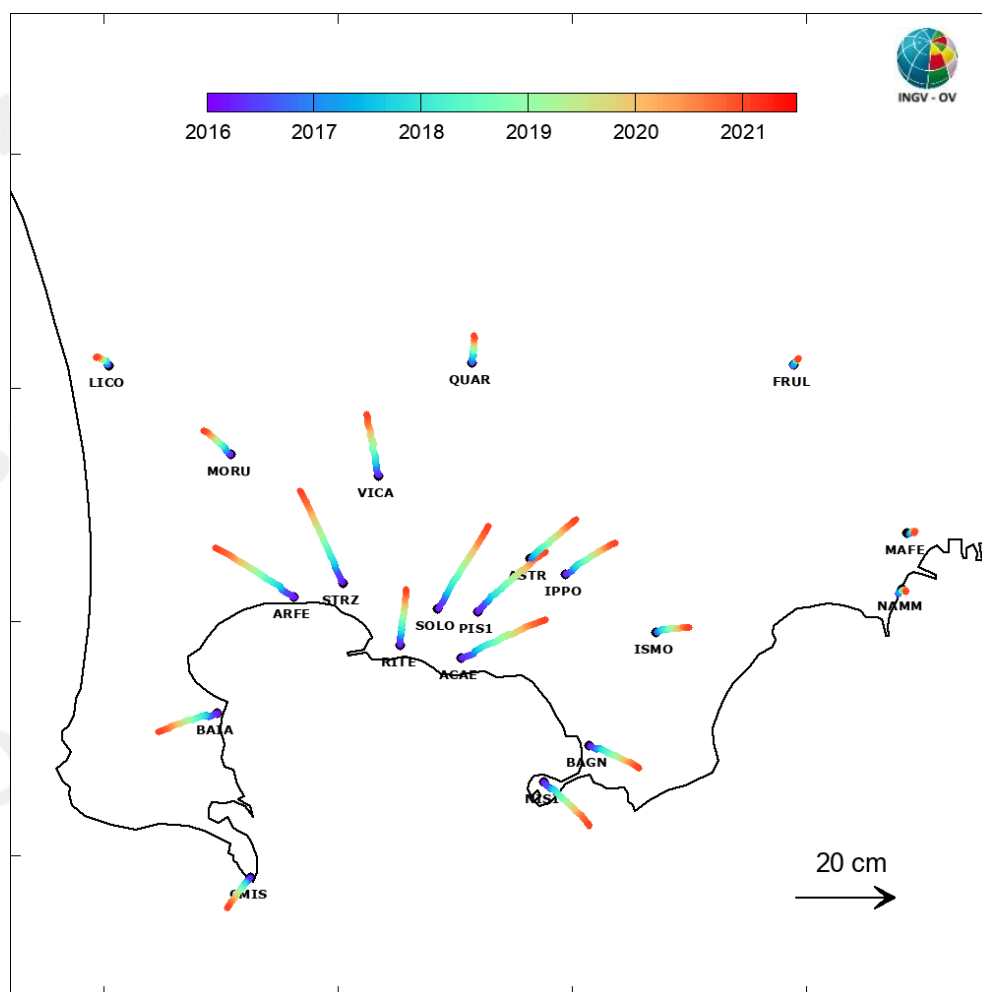


Figura 2.1.4 - Mappa degli spostamenti GPS orizzontali registrati nell'area flegrea da gennaio 2016 a gennaio 2021.

2.2 Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo dei Campi Flegrei consiste di 10 stazioni di cui 4 equipaggiate con sensori analogici di superficie (BAI, SLF, OLB, 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. 2.2.1).

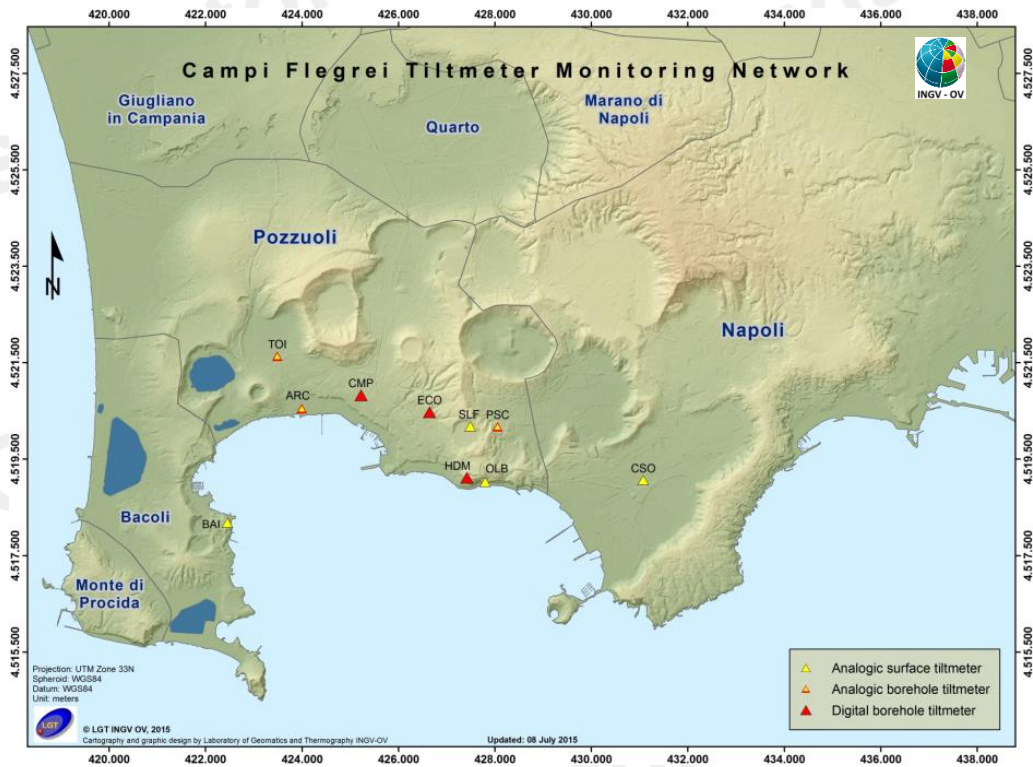


Figura 2.2.1 – Rete Tiltmetrica dei Campi Flegrei.

La variazione tiltmetrica osservata ai Campi Flegrei nel mese di gennaio 2021 segue un pattern in parte correlato all'evoluzione temporale del campo di deformazione generato dalla fase di uplift che interessa l'area (Fig. 2.2.2).

L'aumento di 'rate' tiltmetrico lungo le 3 direzioni predominanti di inclinazione, che ha caratterizzato gli ultimi 4 mesi del 2020, contraddistingue anche il mese corrente.

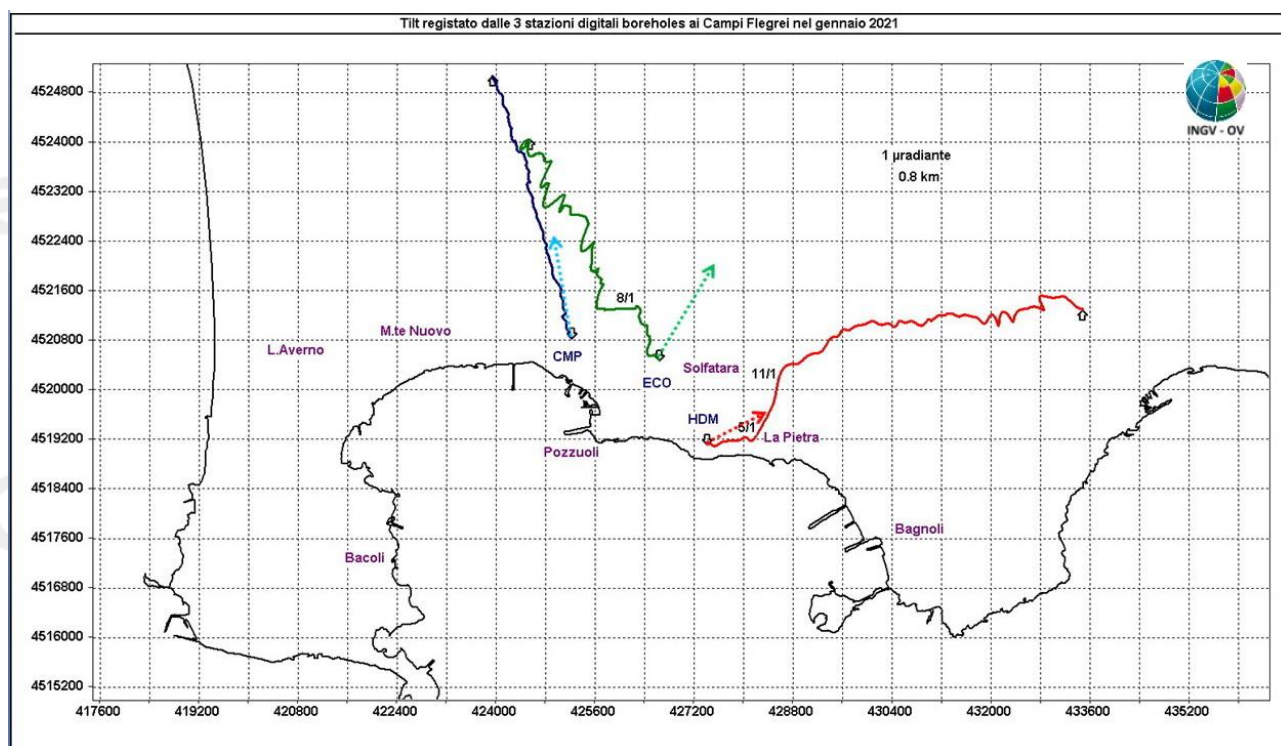


Figura 2.2.2 - Pattern tiltmetrico osservato ai Campi Flegrei. Per comodità di rappresentazione grafica e per una interpretazione più agevole, sono riportate solo le 3 stazioni “borehole” con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 1 μ radiante o 0.8 km ed i pallini in colore sovrapposti sui vettori tilt indicano intervalli di un mese. Per confronto, mentre le curve in colore rappresentano, come di routine, la variazione tiltmetrica cumulativa registrata ad ogni sito, le frecce sovrapposte indicano quella cumulativa totale relativa al gennaio 2020

La deformazione relativa a 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 riportate, per le stazioni digitali, la variazione d’inclinazione del suolo, con la relativa direzione di tilting, nonché quella termica registrata a fondo pozzo (≈ -25 m dal p.c.) acquisite nel gennaio 2021.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione ECO (89 m s.l.m.)	5.2 μ radianti a NW	0.01 °C
Stazione CMP (62 m s.l.m.)	5.5 μ radianti a NNW	0.00 °C
Stazione HDM (112 m s.l.m.)	8.0 μ radianti a ENE	0.01 °C

In Figura 2.2.3 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 2020; poiché, inoltre, i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da quella data.

Componenti NS del tilt: tutte mostrano un trend di inclinazione verso N e quindi un sollevamento del suolo a S delle stesse. Il 5/1 HDM registra una inclinazione verso N che dura 6 giorni e che risulta quasi identica ad altre 2 precedenti verificatesi il 13/7 ed il 25/10/2020.

Componenti EW del tilt: coerentemente all'uplift HDM si inclina ad E mentre CMP si inclina ad W, ECO continua invece ad inclinarsi invece ad W lungo una direzione che conserva dagli inizi di settembre del 2020. Le date riportate sul segnale EW di ECO indicano 3 variazioni tiltmetriche registrate dal 2020, la prima cosismica verso W generata dal terremoto del 26/4/2020 ed altre 2 (dal 2 al 8/9/2020 verso E ed 8/1/2021 di nuovo verso W) non associate ad eventi sismici.

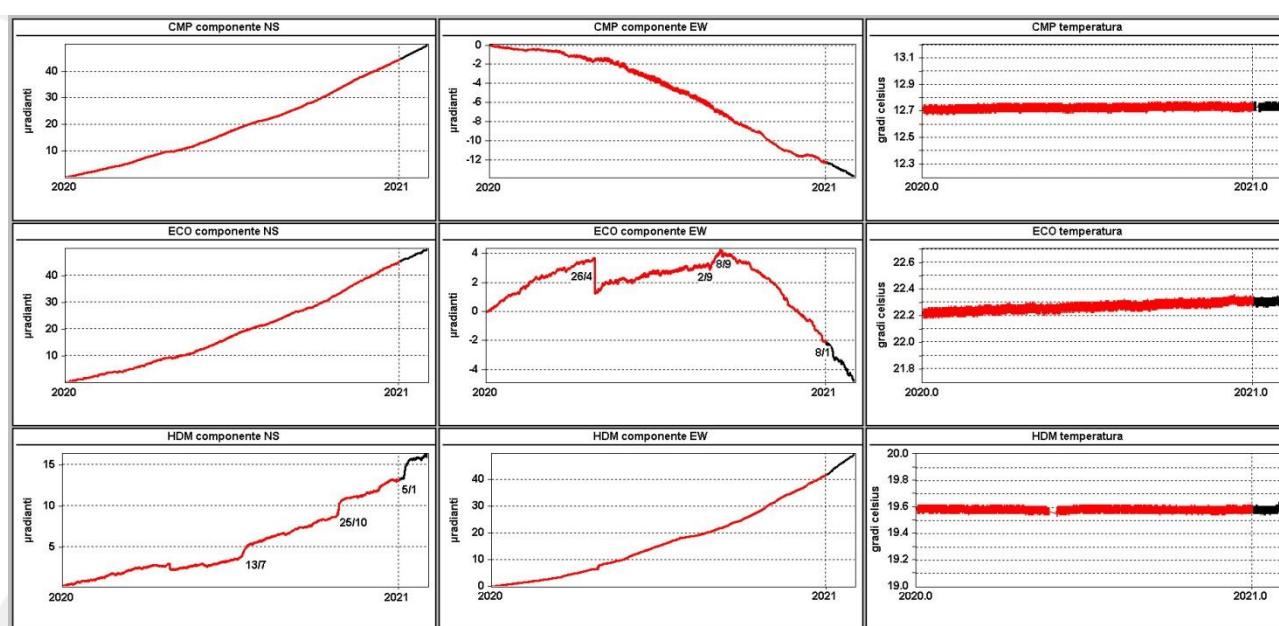


Figura 2.2.3 – Serie temporali dei segnali registrati a partire dal 2020 dalle 3 stazioni “borehole” della rete flegrea ordinate dal basso verso l’alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in μ radianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente la variazione di inclinazione del suolo a N e ad E, mentre la terza colonna riporta la temperatura in $^{\circ}$ C registrata da ogni sensore. In rosso sono riportati i segnali relativi al 2020 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2021.

L’analisi dei singoli segnali denota l’accelerazione negli ultimi 5 mesi dell’inclinazione del suolo nelle 3 direzioni predominanti e cioè a NW (ECO), NW (CMP) ed ENE (HDM), tale accelerazione risulta contemporanea all’abbandono, da parte della stazione ECO, della direzione di tilting prevista per un uplift radiale e cioè NNE (freccia in verde in Fig. 2.2.2).

La cinematica che caratterizza i 3 siti, riassunta vettorialmente nel plot di Fig. 2.2.2, evidenzia quanto appena detto e cioè un aumento di ‘rate’ tiltmetrico nonché una differente direzione di tilting ad ECO. Si distinguono inoltre 2 variazioni di tilt, la prima delle quali avviene improvvisamente ad ECO l’8/01/2021 mentre la seconda è molto più lenta ed interessa HDM dal 5 all’11/01/2021.

2.3 Mareometria

La Rete Mareografica dei Campi Flegrei è riportata in Figura 2.3.1.

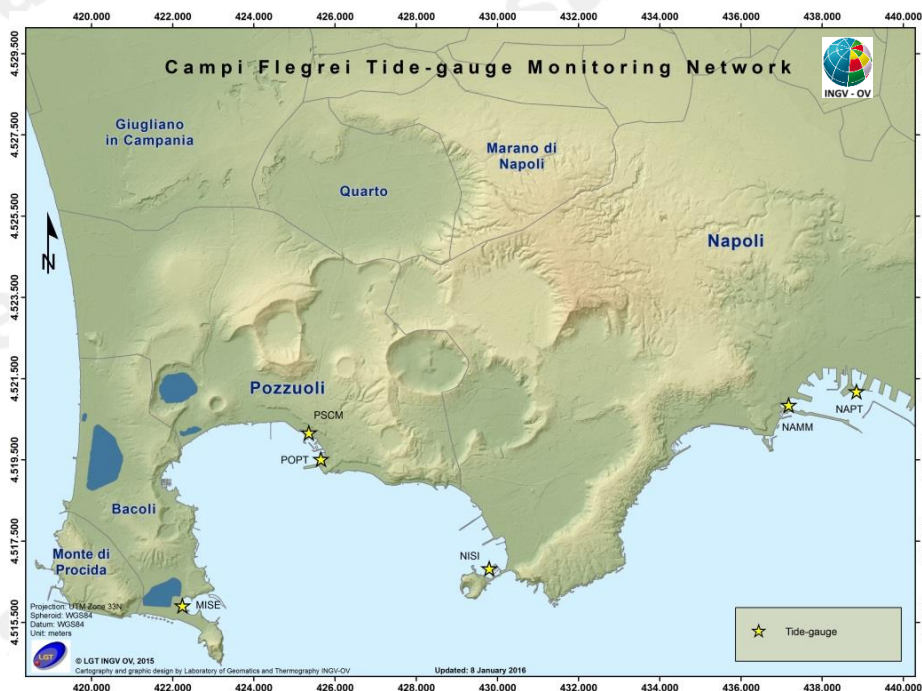


Figura 2.3.1 - Rete Mareografica dei Campi Flegrei.

I dati mareografici relativi alla stazione di Pozzuoli Porto nel periodo gennaio 2014 – gennaio 2021 mostrano l'andamento di Figura 2.3.2a, dal quale si evince un sollevamento di circa 53 cm, pari ad una velocità mensile di circa 6.2 mm. Da gennaio 2016 a gennaio 2021 si ha un contributo di circa 42 cm di sollevamento (Figura 2.3.2b).

Il picco visibile verso la fine del mese di luglio 2016 è stato determinato dal malfunzionamento temporaneo del sensore della stazione di riferimento NAMM, mentre quelli visibili nel restante periodo sono stati determinati da particolari condizioni meteorologiche.

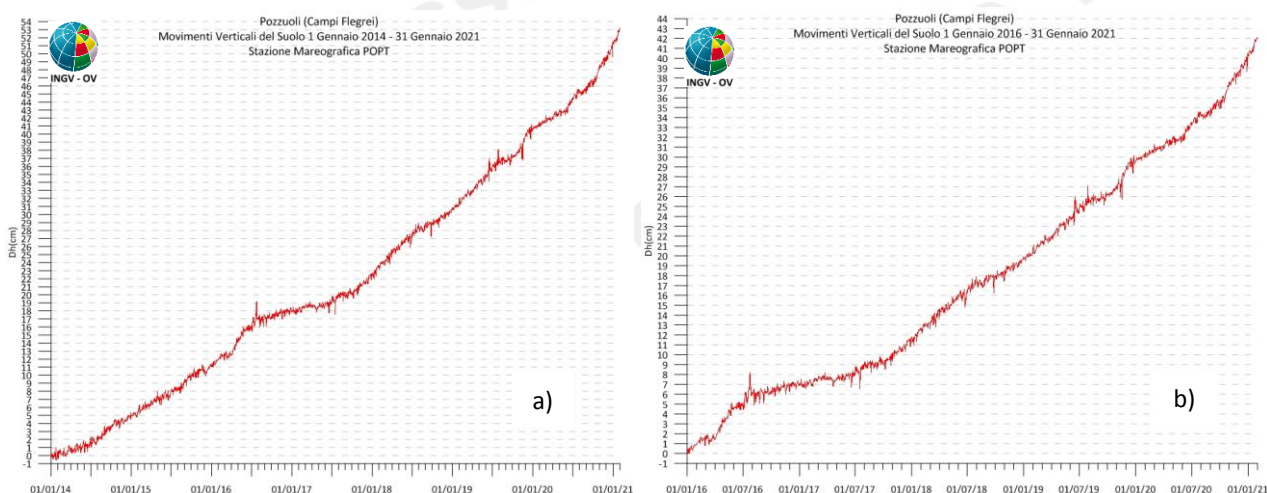


Figura 2.3.2 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 – gennaio 2021 (a) e gennaio 2016 – gennaio 2021 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea). Le variazioni riportate 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 2.3.3), sono stati raccordati con i dati riferiti alla ex stazione NAPT (dismessa a febbraio 2016), potendoli considerare omogenei all'interno degli errori di misura.

Dal 2006 a oggi si registra un sollevamento prossimo ai 72 cm alla stazione di Pozzuoli Porto.

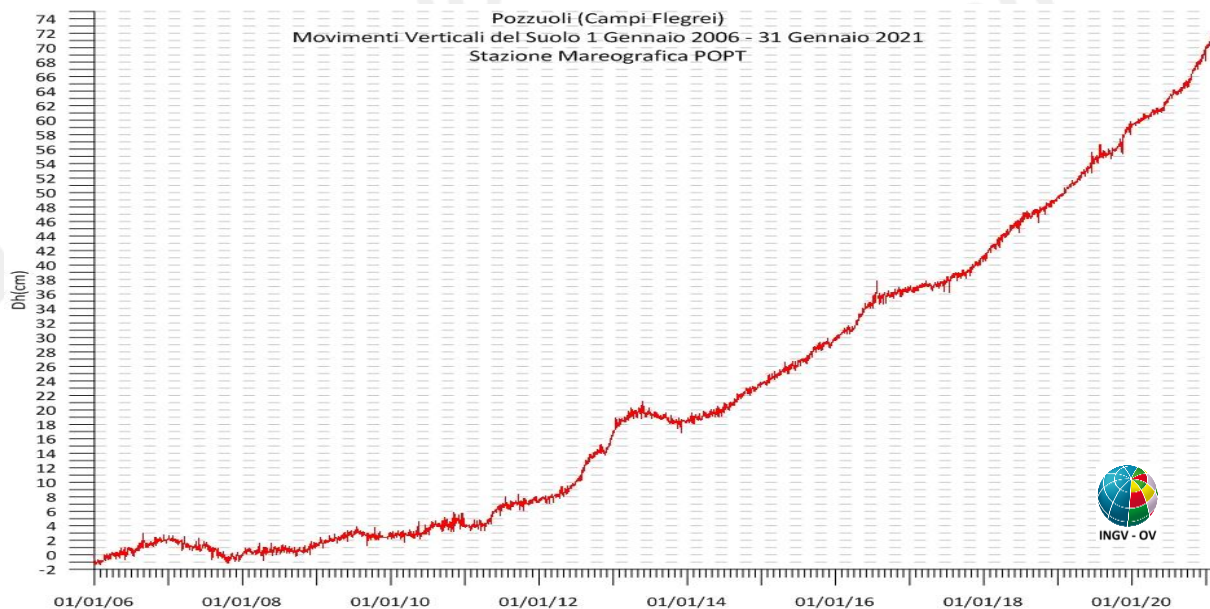


Figura 2.3.3 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2006 – gennaio 2021, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli molo S.Vincenzo (NAMM).

3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

3.1 Rete Permanente Monitoraggio Termico ad Immagine

La stazione SF2 della Rete Permanente di Monitoraggio Termico (TIRNet) dei Campi Flegrei acquisisce immagini all'infrarosso termico del settore settentrionale del versante interno del cratere della Solfatara, mentre la stazione PS1 acquisisce immagini all'infrarosso termico della parte alta del versante ad ovest della fumarola principale in località Pisciarelli (Fig. 3.1.1; Silvestri et al., 2017; Vilardo et al., 2015).

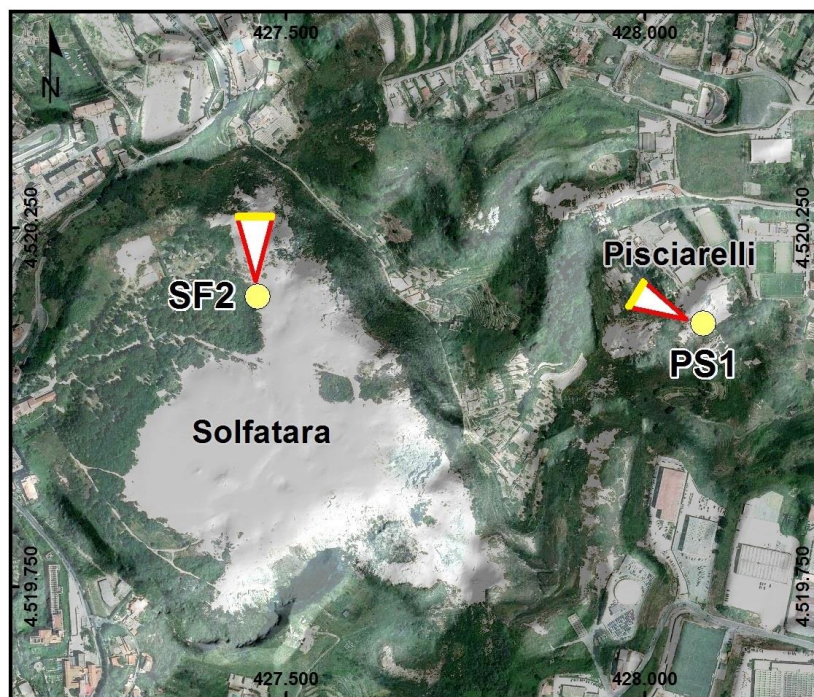


Figura 3.1.1 - Mappa della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine (TIRNet) con l'ubicazione delle stazioni SF2 e PS1. Punto giallo: posizione della stazione; base del triangolo: area campionata.

Le figure seguenti mostrano l'elaborazione delle serie temporali dei valori di temperatura massima delle immagini IR acquisite dalle stazioni SF2 (Fig. 3.1.2) e PS1 (Fig. 3.1.3), processati mediante l'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition).

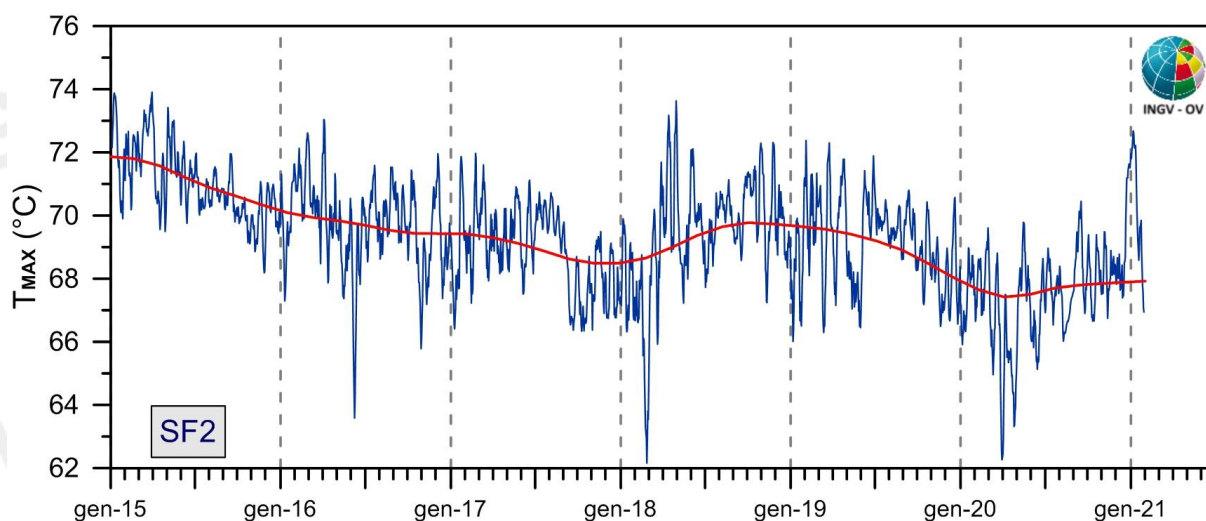


Figura 3.1.2 - Stazione SF2: Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo STL [medie settimanali (blu); trend a lungo termine (rosso)].

I cronogrammi delle temperature massime (Fig. 3.1.2 e 3.1.3) evidenziano il perdurare dei trend pluriannuali già identificati in precedenza, caratterizzati da un andamento sostanzialmente stabile seppure in presenza di oscillazioni di varia ampiezza e periodo.

Nella prima metà del mese di gennaio 2021, i valori di temperatura al suolo rilevati dalla stazione SF2 mostrano un ulteriore incremento rispetto a quanto osservato nel mese di dicembre 2020. Tale aumento, a cui nella seconda metà del mese di gennaio segue una rapida diminuzione, rientra

comunque nell'intervallo di variazione dei valori già osservato in anni precedenti.

Le temperature massime dell'area target misurate nell'ultimo mese dalla stazione PS1 non hanno mostrato variazioni significative dopo il repentino e significativo incremento dei valori registrato nel mese di dicembre 2020.

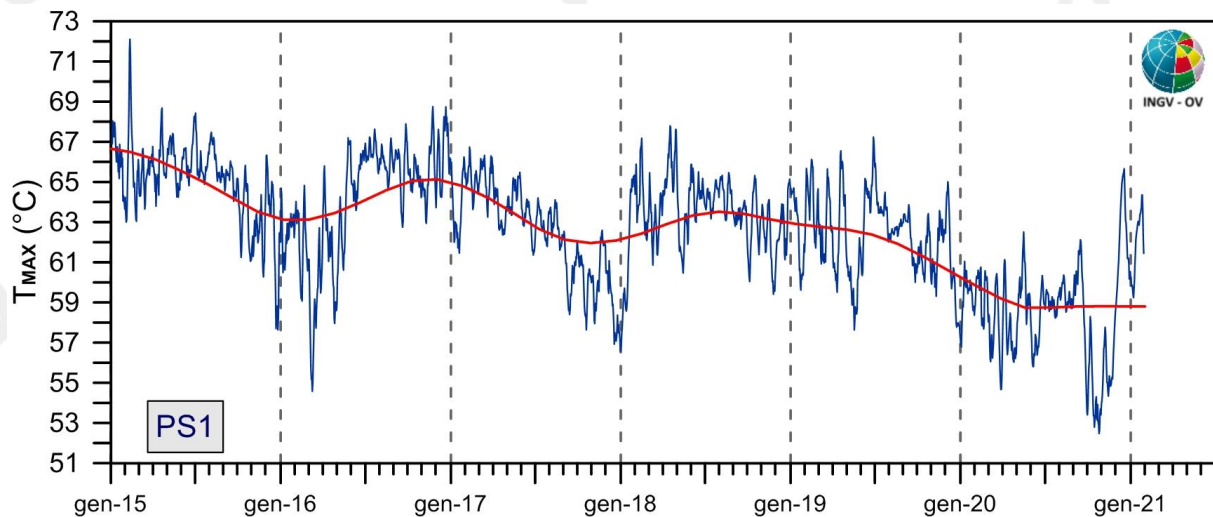


Figura 3.1.3 - Stazione PS1. Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo STL [medie settimanali (blu); trend a lungo termine (rosso)].

Nel cronogramma in Figura 3.1.4 è riportato il trend a lungo termine (ottobre 2007 – gennaio 2021) delle temperature massime superficiali rilevate dalla stazione PS1 ottenuto mediante applicazione dell'algoritmo STL.

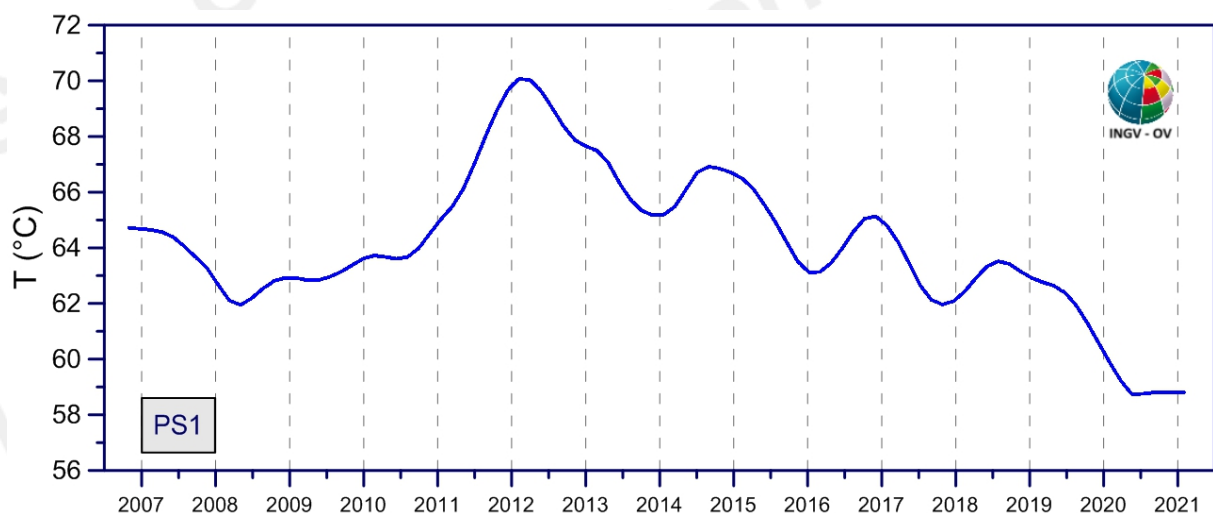


Figura 3.1.4 - Stazione PS1: Trend a lungo termine dei valori di temperatura massima rilevati nelle immagini IR ottenuto mediante applicazione dell'algoritmo STL.

Dopo il raggiungimento del picco massimo dei valori di temperatura nella prima metà del 2012 (Fig. 3.1.4), si rileva la presenza un trend in costante diminuzione seppure caratterizzato da ampie oscillazioni a lungo periodo.

Tale trend si attenua completamente negli ultimi mesi e le temperature massime dell'area target mostrano un andamento del tutto stazionario.

3.2 Monitoraggio Termico con Termocamera Mobile e Termocoppia

La sorveglianza vulcanologica tramite Telecamere Termiche Mobili (TTM) e termocoppie rigide ha come principale obiettivo l'individuazione di eventuali variazioni nel tempo dei valori di temperatura misurati al suolo in punti discreti e/o di aree a temperatura maggiore in modo da evidenziare eventuali modifiche nella distribuzione areale del campo fumarolico.

I rilievi sono eseguiti mensilmente in condizioni di non irraggiamento solare (essenzialmente di notte), utilizzando una termocamera portatile FLIR SC640 ad alta risoluzione (640 x 480 pixel) e sensibilità ($<0.06 \div +30$ °C).

La termocoppia utilizzata è di tipo K, con errore strumentale di circa 0.1°C nell'intervallo $-200 \div 1260$ °C. Le misure ottenute con la termocamera sono confrontate, quando possibile, con quelle eseguite con termocoppia rigida. Da dicembre 2020 è stata utilizzata, contemporaneamente alla termocamera FLIR SC640, una nuova termocamera FLIR T1020 con una maggiore risoluzione (1024 x 768 pixel). La doppia misura consente di calibrare i valori rilevati con la nuova termocamera e nei grafici vengono riportati i valori acquisiti da entrambe le termocamere.

Ubicazione dei punti di misura ai Campi Flegrei

Le aree e i punti in cui sono effettuate le misure termiche nella caldera dei Campi Flegrei sono distribuite in varie zone del fondo della caldera (Fig. 3.2.1).

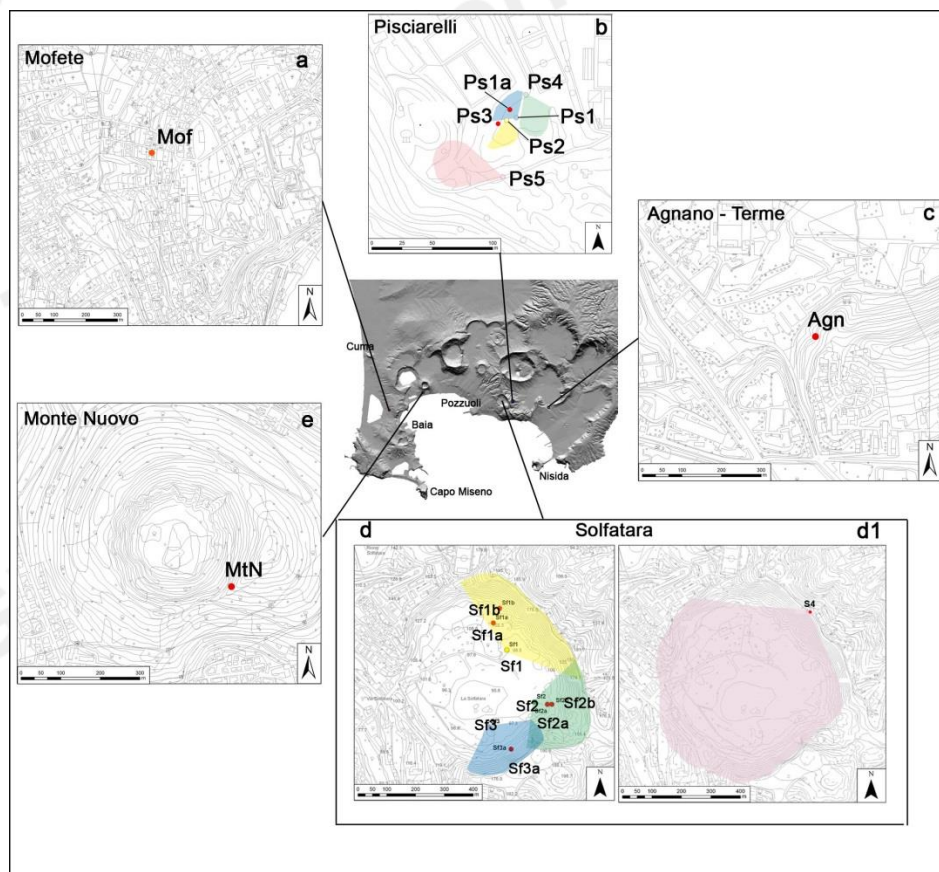


Figura 3.2.1 – Ubicazione dei punti di misura e dei settori indagati ai Campi Flegrei. I pallini rossi indicano i punti stazione dove sono stati effettuati rilievi con termocoppia rigida e telecamera termica. Nel riquadro b, le aree colorate celeste, verde e rosa indicano i versanti rilevati con termocamera rispettivamente dalle stazioni Ps1, Ps4 e Ps5. Nel riquadro d, le aree in giallo, verde e rosa indicano i versanti rilevati con termocamera rispettivamente dalle stazioni Sf1, Sf2 e Sf3; Sf2a e Sf1b sono misure puntuali effettuate con termocamere e termocoppia; nel riquadro d1, in rosa l'area rilevata con termocamera dalla stazione S4.

In generale, non si osservano significative variazioni di temperatura massima e modifiche nella distribuzione areale del campo fumarolico nei diversi punti di misura. Di seguito si riportano le osservazioni e i dati di tre siti di misura selezionati (Pisciarelli, Monte Nuovo e Agnano Terme).

Pisciarelli

A Pisciarelli l'allargamento dell'area della polla, che già dal mese di agosto 2018 non aveva consentito di rilevare la temperatura al punto Ps3 (Fig. 3.2.1b), è aumentato tanto da impedire l'accesso a tutti i siti di misura (Fig. 3.2.1b). Inoltre, il rispetto delle procedure di sicurezza non consente di effettuare le misure strumentali nell'area più prossima alla polla. Pertanto dal mese di aprile 2019 i rilievi vengono effettuati prevalentemente con l'ausilio di un drone. Il drone utilizzato è un quadricottero (SR-T4 S/N:03) equipaggiato da una termocamera FLIR VUEPRO ad alta risoluzione (640x512 pixel) e precisione $\pm 5^\circ\text{C}$.

La fotocomposizione termica evidenzia due aree con maggiore anomalia termica, denominate PsD1 e PsD2 (Fig. 3.2.2). L'area PsD1 racchiude i versanti che in passato venivano rilevati con termocamera a mano dalle stazioni Ps1 e Ps4 mentre l'area PsD2 include il versante rilevato in passato dalla stazione Ps5 (Fig. 3.2.1d), in corrispondenza della telecamera termica fissa della Rete TIRNet dell'OV.

I valori di temperatura massima rilevati nel mese di gennaio 2021 non presentano significative variazioni rispetto ai mesi precedenti.

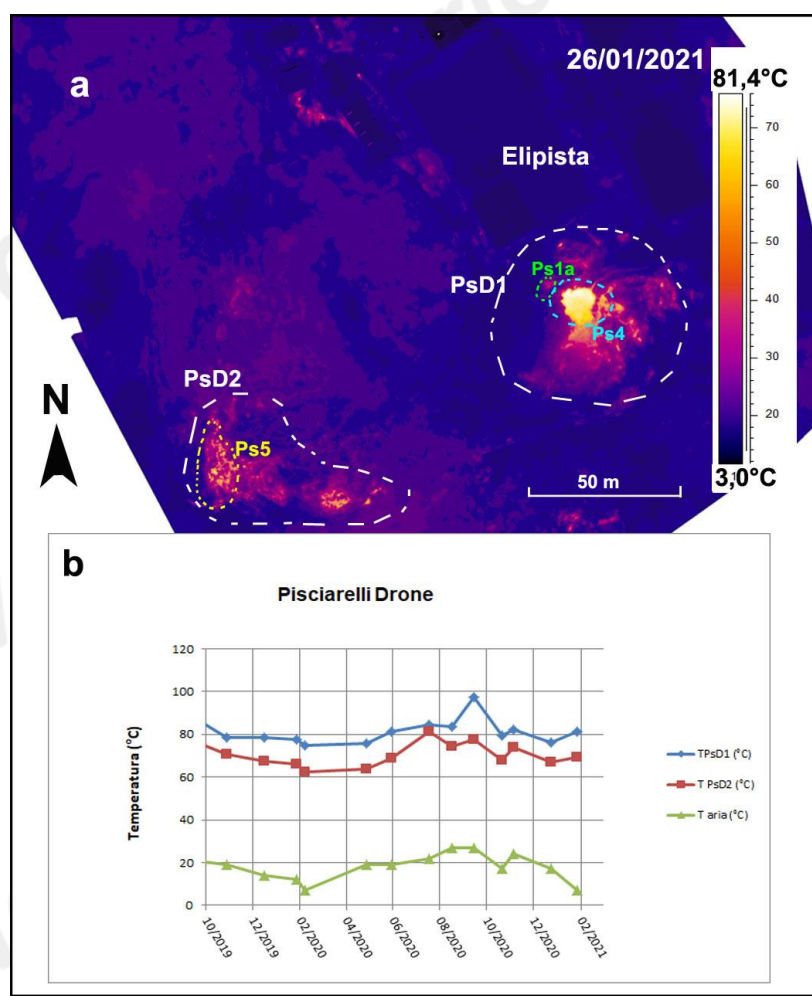


Figura 3.2.2 – Fotocomposizione di immagini termiche rilevate da drone nel mese di gennaio 2021 (a) e valori massimi di temperatura (T) delle aree a maggiore anomalia termica (PsD1 e PsD2) confrontati con la temperatura dell'aria misurata nel momento del rilievo termico da agosto 2019 a gennaio 2021 (b).

Monte Nuovo

I valori di temperatura rilevati a gennaio 2021 con telecamera termica e termocoppia rigida, lungo il versante meridionale dell'edificio di Monte Nuovo (MtN, figura 3.2.1e), sono stabili nell'ultimo anno come nei precedenti, a meno di variazioni stagionali (Fig. 3.2.3).

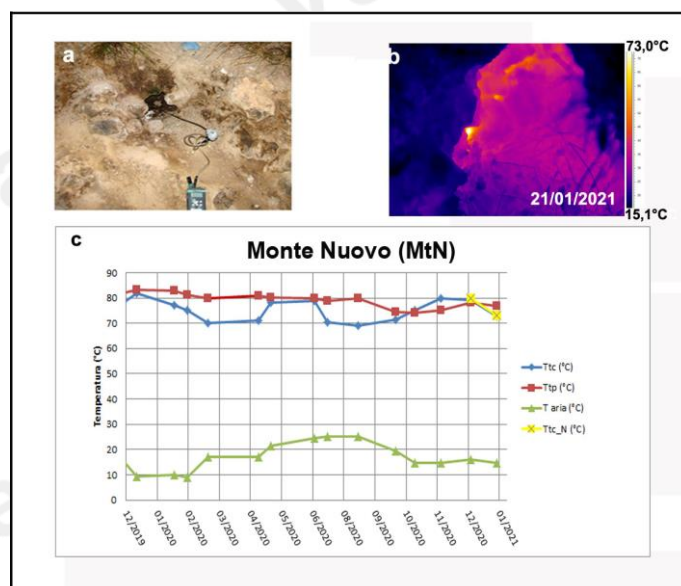


Figura 3.2.3 – Fumarola lungo il versante meridionale di Monte Nuovo. Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese dal punto MtN di figura 3.2.1e. Valori massimi di temperatura con termocamera FLIR SC640 (Ttc), valori massimi di temperatura con termocamera FLIR T1020 (Ttc_N) e valori di temperatura dalla termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria misurata nel momento del rilievo termico, da novembre 2019 a gennaio 2021 (c).

Agnano Terme

I valori di temperatura rilevati a gennaio 2021 con telecamera termica e termocoppia rigida in corrispondenza di una fumarola non captata presso le “Terme di Agnano” (Agn, figura 3.2.1c), sono stabili nell'ultimo anno come nei precedenti a meno di variazioni stagionali (Fig. 3.2.4).

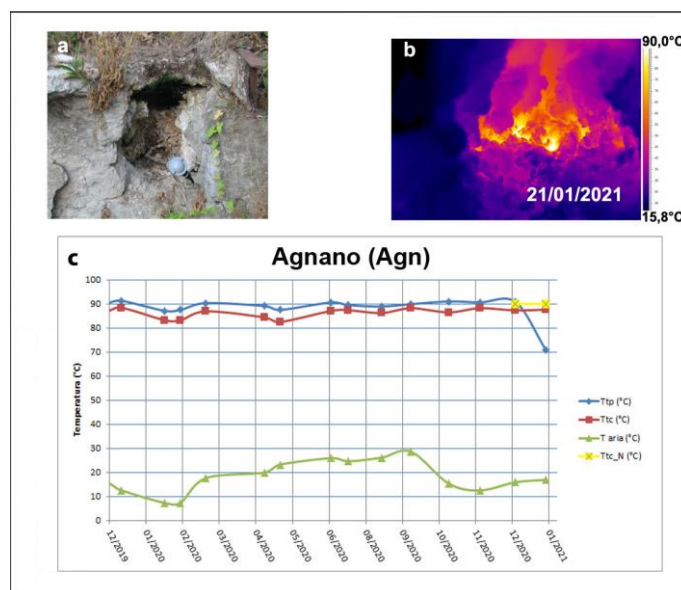


Figura 3.2.4 – Fumarola all'interno dello stabilimento termale delle “Terme di Agnano”. Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese dal punto stazione Agn di figura 3.2.1c. Valori massimi di temperatura con termocamera FLIR SC640 (Ttc), valori massimi di temperatura con termocamera FLIR T1020 (Ttc_N) e valori di temperatura dalla termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria misurata nel momento del rilievo termico, da novembre 2019 a gennaio 2021 (c).

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di gennaio 2021 ai Campi Flegrei (Fig. 4.1) ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo del flusso di CO₂ dal suolo e del gradiente termico nel cratere della Solfatara (stazioni FLXOV1, FLXOV5 e GTS1);
- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola tramite la stazione multiparametrica FLXOV8 installata a Pisciarelli;
- il campionamento delle fumarole principali Bocca Grande e Bocca Nuova nel cratere della Solfatara e di una fumarola nell'area di Pisciarelli;
- misure di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nell'area della Solfatara e di Pisciarelli.

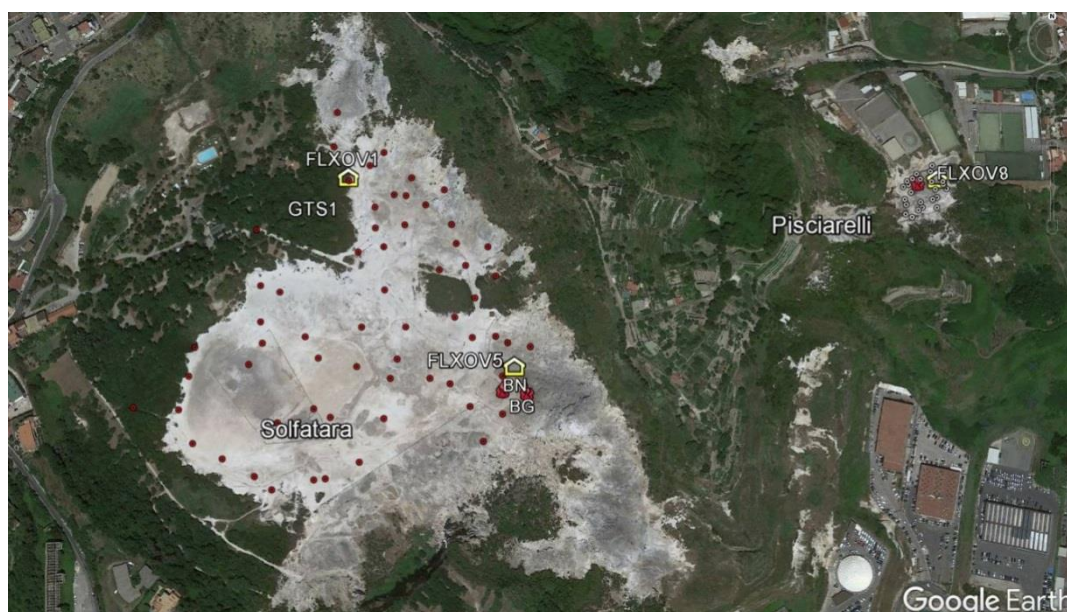


Figura 4.1 - Ubicazione delle stazioni della rete geochimica ai Campi Flegrei e dei siti dove sono eseguite le attività di monitoraggio geochimico. In particolare sono riportate le quattro stazioni geochimiche ubicate in area Solfatara-Pisciarelli, le principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli, sono inoltre riportati i punti fissi per la misura del flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura del suolo in area Solfatara (simboli rossi) e in area Pisciarelli (simboli bianchi).

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

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati evidenziano il perdurare dei trend già identificati in precedenza (vedi Bollettini di Sorveglianza precedenti; Figg. 4.2 - 4.5).

Il rapporto CO₂/H₂O delle fumarole (Fig. 4.2) nei campioni di gennaio 2021 continua a mostrare valori elevati (~0.41 per la fumarola BG e ~0.40 per la fumarola BN) che in generale testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici (Caliro et al., 2007; Chiodini et al., 2010). In particolare, l'interpretazione di queste variazioni risulta più complessa alla luce di recenti studi che 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) e allo stato termico del sistema, possano influenzare il rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ misurato alle fumarole (Chiodini et al., 2015a; 2016). Inoltre è possibile che una frazione della CO_2 emessa dalle fumarole sia prodotta, in seguito all'aumento di temperatura del sistema, da reazioni che coinvolgono la calcite di origine idrotermale presente nel sistema (Chiodini et al., 2015b).

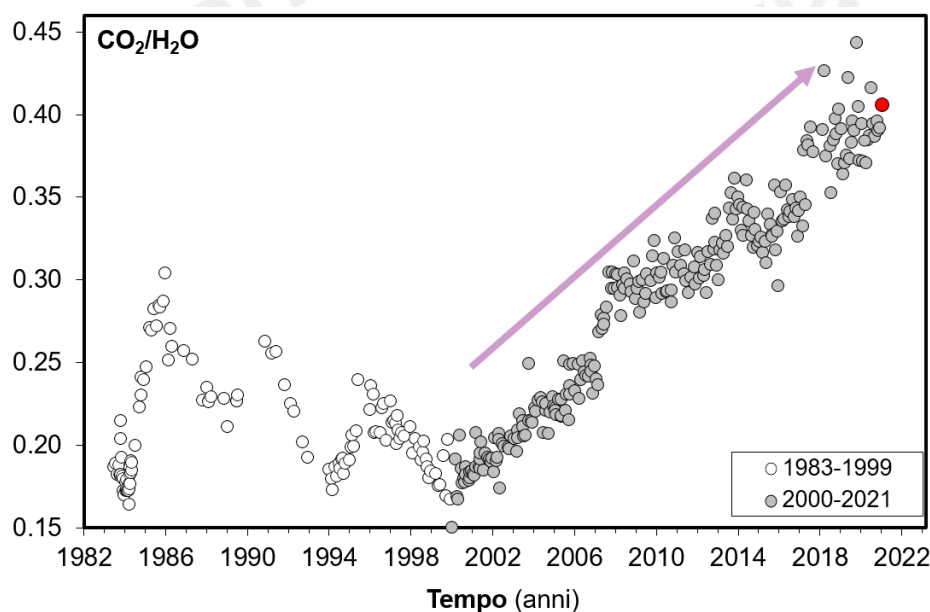


Figura 4.2 - Cronogramma del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di gennaio 2021.

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indica il progressivo riscaldamento delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare, le concentrazioni di monossido di carbonio (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 particolarmente marcato a partire dai campioni del 2018, trend che sembra rallentare per i campioni degli ultimi mesi (fumarola BG, Fig. 4.3).

Tale crescita è rilevante poiché il CO è fra le specie fumaroliche analizzate quella più sensibile alla temperatura. Assumendo come buffer delle condizioni redox del sistema idrotermale la funzione di D'Amore and Panichi (1980), che in generale ben descrive la $f\text{O}_2$ in molti dei sistemi idrotermali del mondo, il trend del CO corrisponderebbe ad un aumento di temperatura di circa 45 °C fra gli inizi degli anni 2000 (T circa 215 °C) a oggi (T circa 260 °C, Fig. 4.4). Tale processo di riscaldamento del sistema flegreo e le possibili cause sono trattate nei lavori scientifici di Chiodini et al. (2015a; 2016) a cui si rimanda per approfondimento.

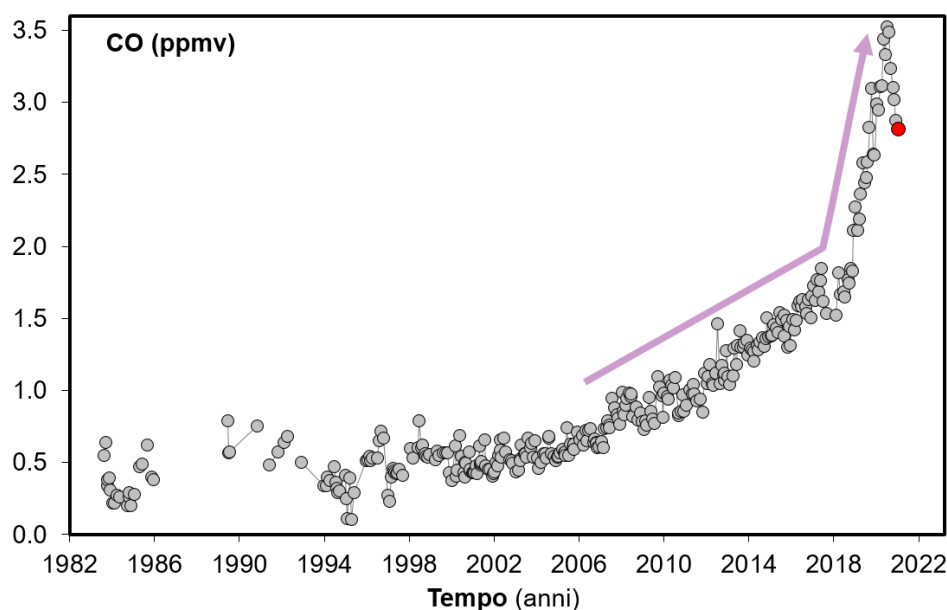


Figura 4.3 – Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di gennaio 2021. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate 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.

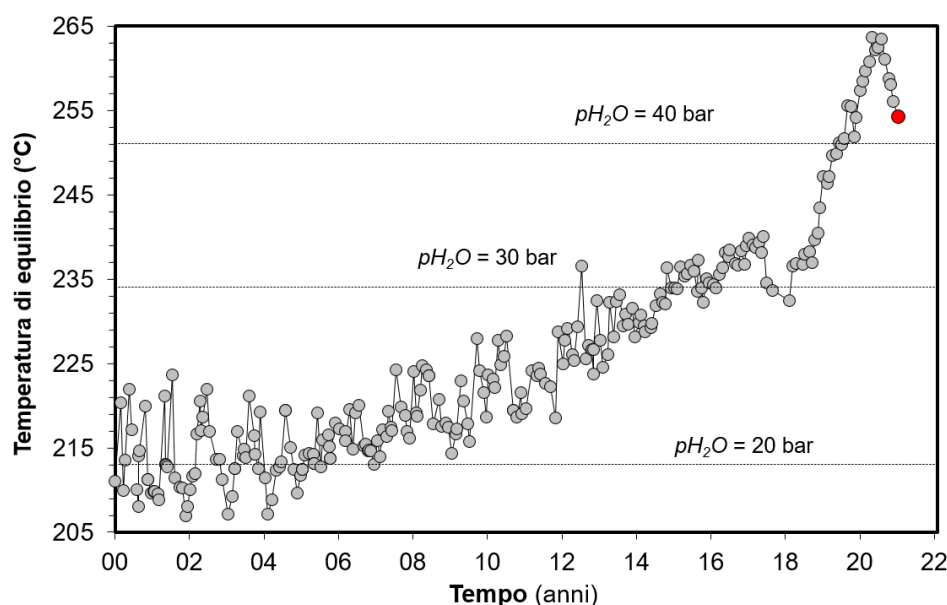


Figura 4.4 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO₂, relativo alla fumarola BG, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend d'aumento a partire dai primi anni del 2000. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di gennaio 2021.

Il cronogramma del rapporto CO_2/CH_4 (Fig. 4.5) mostra picchi positivi, interpretati come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti e a basso contenuto in CH_4 , nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010; 2011; 2012). Nei campioni di gennaio 2021, il rapporto CO_2/CH_4 mostra valori in linea a quelli che hanno caratterizzato i periodi precedenti, indicativi della fine di un picco che ha raggiunto i valori massimi nel 2017. I vari picchi corrisponderebbero, quindi, a eventi di degassamento magmatico, occorsi in precedenza, e con conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda a specifici lavori scientifici (Chiodini et al., 2012; 2016). Inoltre, in Figura 4.5 è possibile riconoscere un trend d'aumento del rapporto a partire dal 2000, interrotto dalla fase discendente dell'ultimo picco che caratterizza gli ultimi periodi. La persistenza di questo basso valore del rapporto CO_2/CH_4 (i.e. elevate concentrazioni di CH_4) contemporaneamente all'aumento della concentrazione del monossido di carbonio e dell'idrogeno evidenzia una variazione del comportamento del sistema idrotermale in risposta ad una iniezione di fluidi magmatici, rispetto a quanto mostrato nei periodi precedenti. I fluidi emessi in questo periodo dal sistema idrotermale mostrano caratteristiche più riducenti; differenti processi possono essere considerati responsabili delle variazioni osservate, ma al momento non è possibile fornire un'interpretazione univoca.

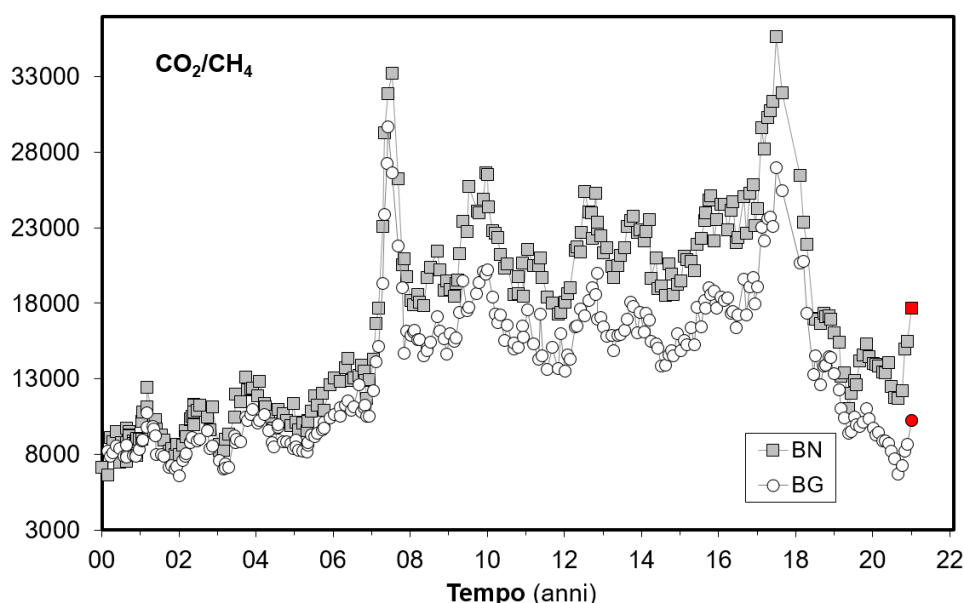


Figura 4.5 – Variazioni del rapporto CO_2/CH_4 per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). Con i simboli rossi sono evidenziati i campioni di gennaio 2021.

Il processo di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale è supportato dalle misure periodiche, su punti fissi nel cratere della Solfatara, del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura del suolo che mostrano trend di aumento pluriennali (Fig. 4.6). In particolare, i valori di flusso di CO_2 dal suolo relativi alle campagne mensili di misura mostrano un andamento caratterizzato da una periodicità annuale, rientrando in un trend di aumento dei valori a partire dal 2006 (Fig. 4.6).

Queste misure (~60 punti, Target area in Fig 4.6a), sono stati confrontati con i dati di flusso totale emesso dall'area di degassamento, misurato nelle campagne estese eseguite fino al 2016 (~400 misure per campagna, Cardellini et al., 2017), successivamente sospese per le note difficoltà di accesso all'area del cratere della Solfatara. La correlazione mostrata tra i valori di flusso misurati nell'area target e l'area estesa, ha permesso di stimare un valore medio del flusso dell'intera area di degassamento in ~3200 t/d nel 2020 (Chiodini et al., sottomesso), valori paragonabili al flusso medio di CO_2 nel *plume* di vulcani attivi a degassamento persistente.

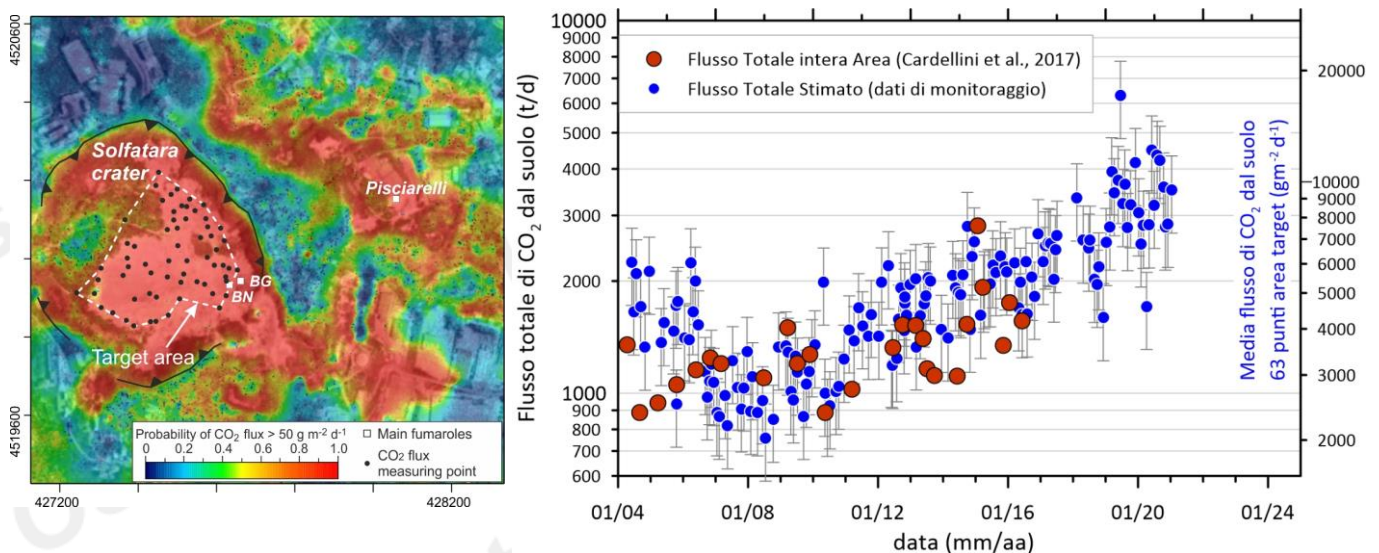


Figura 4.6 – a) Mappa dell'area di degassamento diffuso della Solfatara-Pisciarelli (Cardellini et al., 2017), con l'ubicazione dell'area target; b) Cronogramma dei flussi di CO_2 , i punti blu si riferiscono all'emissione dall'area target scalati sull'intera DDS, ottenuta dal confronto con i dati delle 30 campagne estese (simboli rossi) in Cardellini et al. (2017).

La media delle temperature del suolo, misurate a 10 cm di profondità, mostra un chiaro andamento stagionale sovrapposto a un trend d'aumento (Fig. 4.7), con un incremento del valore medio delle temperature misurate di oltre 6 °C nel periodo 2002-2020. Nella mappa di Figura 4.8a è riportato l'incremento di temperatura espresso in °C/anno calcolato per ogni punto di misura 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. 4.8b).

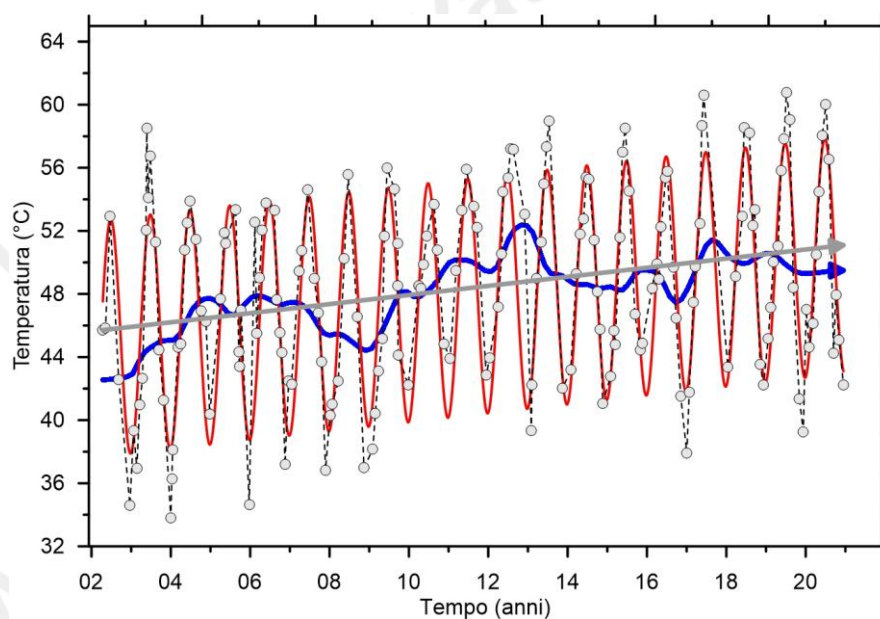


Figura 4.7 – Cronogramma della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 61 punti fissi nell'area craterica della Solfatara. Va evidenziato l'incremento del valore medio nel periodo 2002-2020 di oltre 6 °C. Il trend depurato dalla componente stagionale, mediante l'utilizzo dell'algoritmo di destagionalizzazione STL (Seasonal-Trend decomposition based on Loess, Cleveland et al., 1990), è riportato con la linea blu.

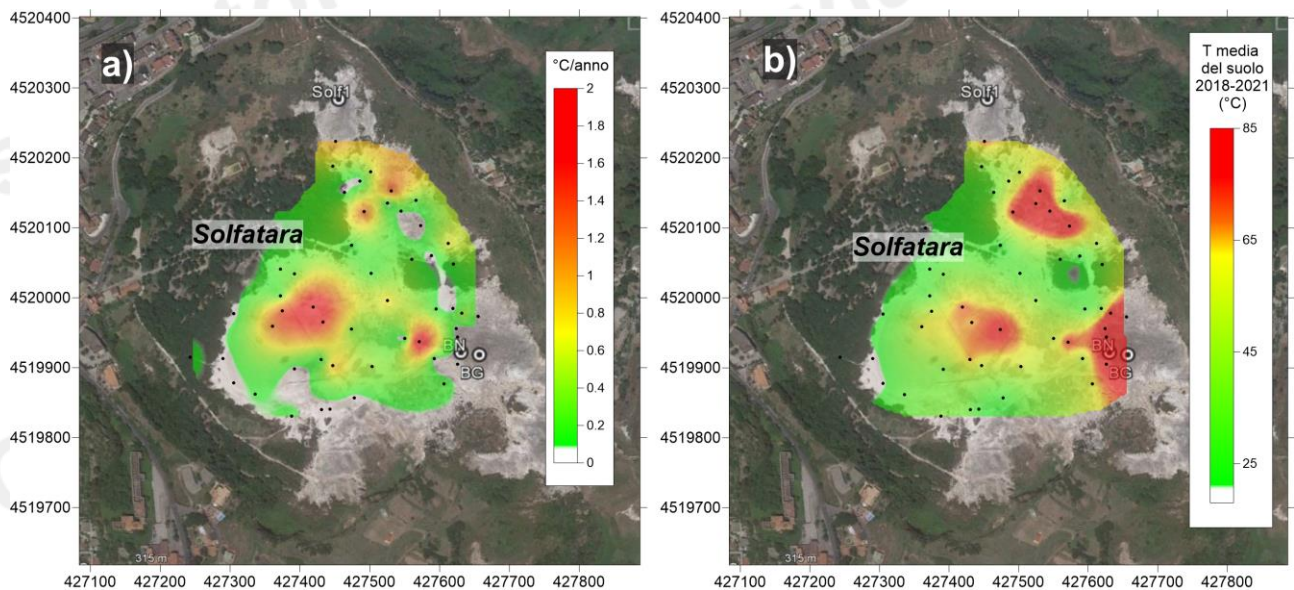


Figura 4.8 – a) Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ogni punto misurato a partire dal 2002. L'incremento di temperatura interessa diffusamente tutta l'area craterica con un massimo nella zona centrale. L'incremento di temperatura non interessa le aree delle fumarole e del bordo 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 2017 al 2021).

Tale processo di riscaldamento è evidenziato anche da misure analoghe, di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo, eseguite periodicamente su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli. In Figura 4.9 è riportata la media delle temperature del suolo, misurate a 10 cm di profondità, che dal 2009 mostra un rilevante trend d'aumento, con un incremento del valore medio di circa 5 °C. Nella mappa di Figura 4.10, 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.

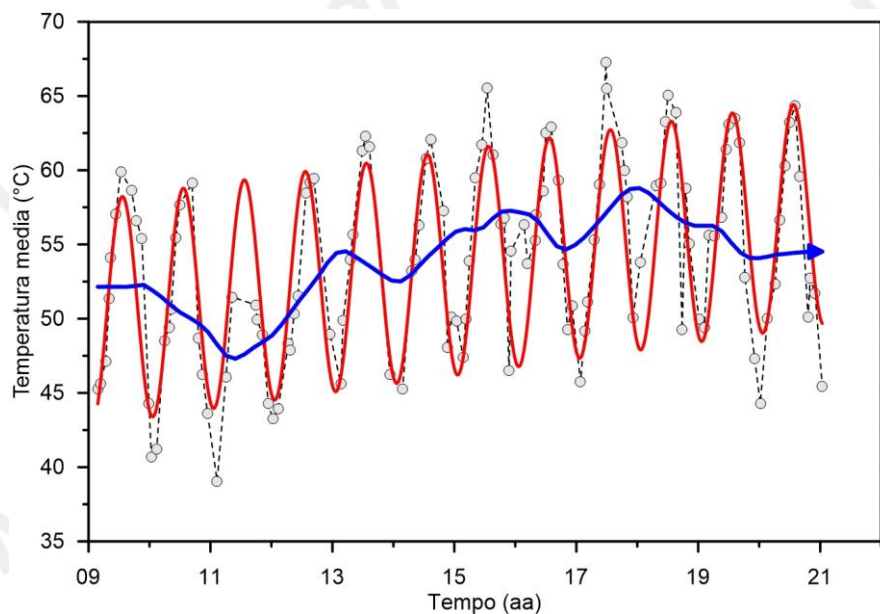


Figura 4.9 – Cronogramma della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli dal 2009. Il trend destagionalizzato, mediante l'utilizzo dell'algoritmo di destagionalizzazione STL (Seasonal-Trend decomposition based on Loess, Cleveland et al., 1990), è riportato con la linea blu.

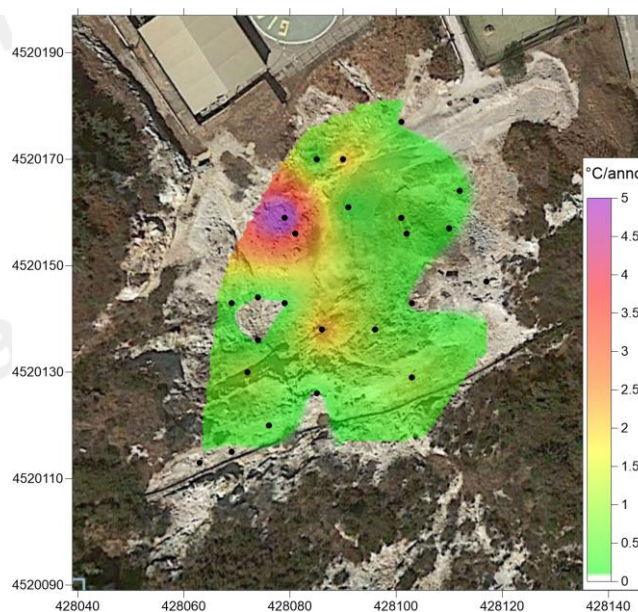


Figura 4.10 – Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ognuno dei 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli misurati a partire dal 2009. L'incremento di temperatura interessa tutta l'area indagata con le zone di maggiore riscaldamento legate a processi di fumarolizzazione locale.

La stazione multiparametrica FLXOV5, che era stata riportata in laboratorio per un intervento di manutenzione, è stata reinstallata nel cratere della Solfatara. Il flusso di CO₂ dal suolo misurato dalla stazione ha mostrato un significativo aumento, a partire dal febbraio 2016 (Fig. 4.11), tale aumento è da mettere in relazione all'evidente processo di fumarolizzazione che interessa l'intera area.

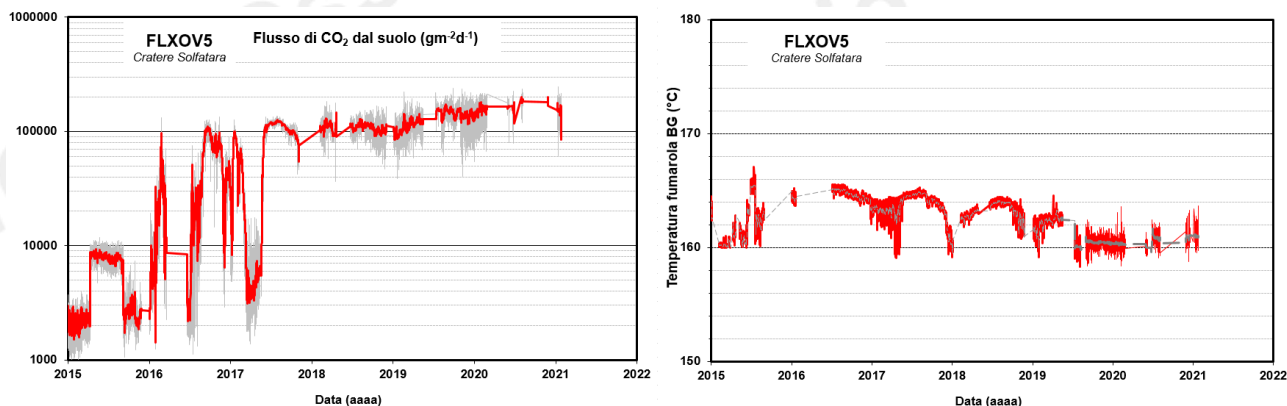


Figura 4.11 – Valori del flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola BG misurati dalla stazione FLXOV5 installata nel cratere della Solfatara a pochi metri dalla fumarola principale BG. I valori di flusso di CO₂ dal suolo mostrano, in generale, un significativo incremento a partire dal 2016 (la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere).

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, è presumibilmente la causa delle variazioni macroscopiche del processo di degassamento osservate nel sito di Pisciarelli (Fig 4.12) 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 4.13) e nell'aumento dei flussi di CO₂ dal suolo misurati in continuo dalla stazione geochimica (Fig 4.14). In particolare, il flusso di CO₂ dal suolo misurato dalla stazione FLXOV8 sin dagli ultimi giorni del mese di aprile 2020 ha mostrato una diminuzione dei valori. Tale condizione già verificatasi in passato, potrebbe

essere legata a variazioni locali del sito di emissione dove è installata la stazione. Contemporaneamente al flusso di CO₂ dal suolo misurato dalla stazione anche la concentrazione di CO₂ in aria ha mostrato una diminuzione a partire dal mese di aprile (Fig. 4.15).



Figura 4.12 - Variazioni macroscopiche dell'area di emissione di Pisciarelli dal 2005.

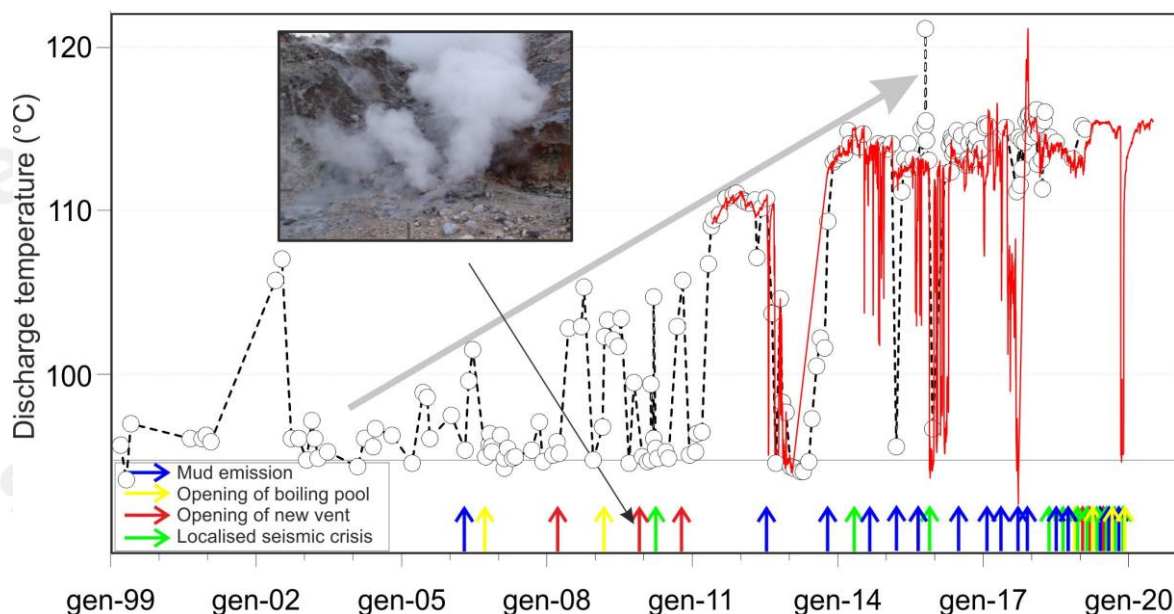


Figura 4.13 - Cronogramma delle temperature (°C) della fumarola di Pisciarelli e dei maggiori eventi occorsi legati all'aumento dell'attività idrotermale (i cerchi si riferiscono a misure discrete riferite al punto di maggior flusso dei gas, la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere delle misure in continuo della stazione FLXOV8). 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.

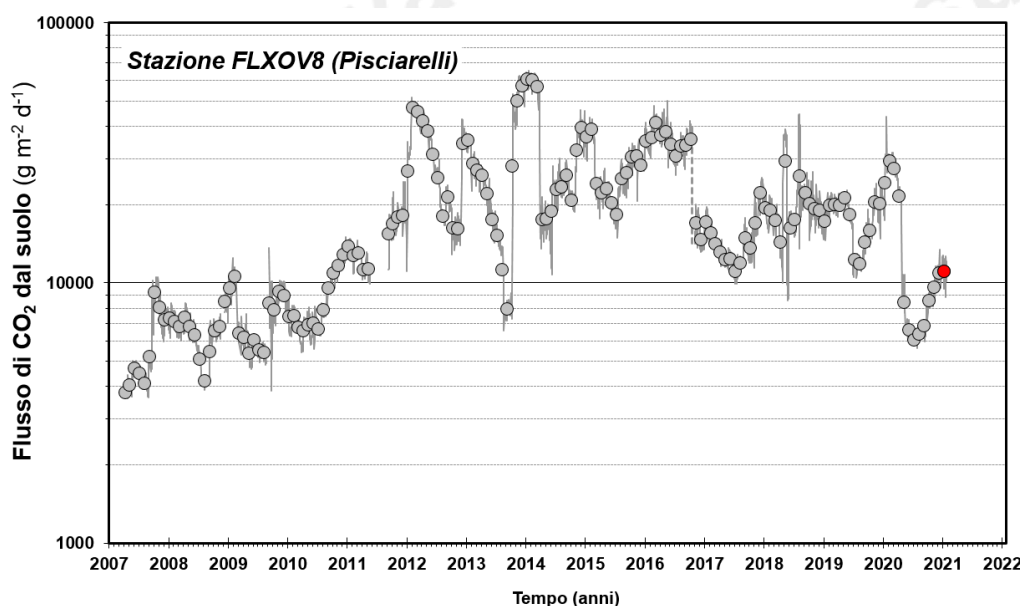


Figura 4.14 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO_2 misurati dalla stazione automatica a Pisciarelli. E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo a partire dal 2007 del flusso CO_2 . La media dei flussi relativa al mese di gennaio 2021 è riportata con il simbolo rosso. Il flusso di CO_2 dal suolo misurato dalla stazione dal mese di aprile 2020 ha mostrato una diminuzione dei valori. Tale condizione, già verificatasi in passato, potrebbe essere legata a variazioni locali del sito di emissione dove è installata la stazione.

Il sensore di temperatura installato nella fumarola principale di Pisciarelli a partire dal 10 novembre 2020 ha mostrato un malfunzionamento. Il sensore dovrà essere sostituito, ma a causa delle macroscopiche variazioni dell'area fumarolizzata e della stabilità del suolo, in osservanza al principio di precauzione e al fine di operare in sicurezza, sono attualmente sospese le attività di manutenzione nell'area.

In Figura 4.15 (linea blu) sono riportati i valori di temperatura misurati in continuo a partire dal mese di ottobre 2018 in un'altra emissione fumarolica nell'area di Pisciarelli, caratterizzata da una minore temperatura di emissione e sita a pochi metri di distanza dalla fumarola principale. I valori misurati hanno mostrato oscillazioni, da ~100 °C fino al valore di ebollizione per il fluido emesso di ~95 °C, da mettersi in relazione agli eventi piovosi verificatisi.

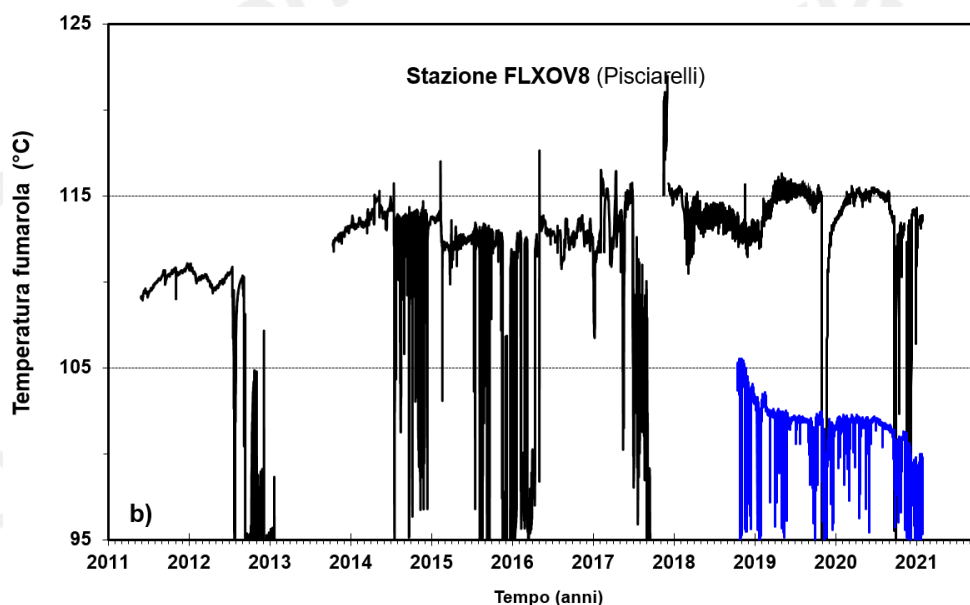


Figura 4.15 – Cronogramma dal 2017 della temperatura della fumarola principale di Pisciarelli. Con la linea blu sono riportati i valori di temperatura misurati in continuo, a partire dal mese di ottobre 2018, in un'altra emissione fumarolica nell'area di Pisciarelli sita a pochi metri di distanza dalla fumarola principale e caratterizzata da una minore temperatura di emissione.

L'incremento del processo di degassamento nell'area è supportato dalle misure del flusso di CO₂ delle fumarole (Tamburello et al., 2019). Inoltre, l'aumento dell'attività di degassamento nell'area di Pisciarelli è anche indicato dalla misura in continuo della concentrazione di CO₂ in aria e dal tremore fumarolico (RSAM, Real-time Seismic Amplitude Measurement) misurato dalla stazione sismica CPIS (Fig. 4.16) e generato dall'attività fumarolica, parametri che risultano strettamente correlati all'intensità dell'attività idrotermale (Chiodini et al., 2017, Giudicepietro et al., 2019; 2020).

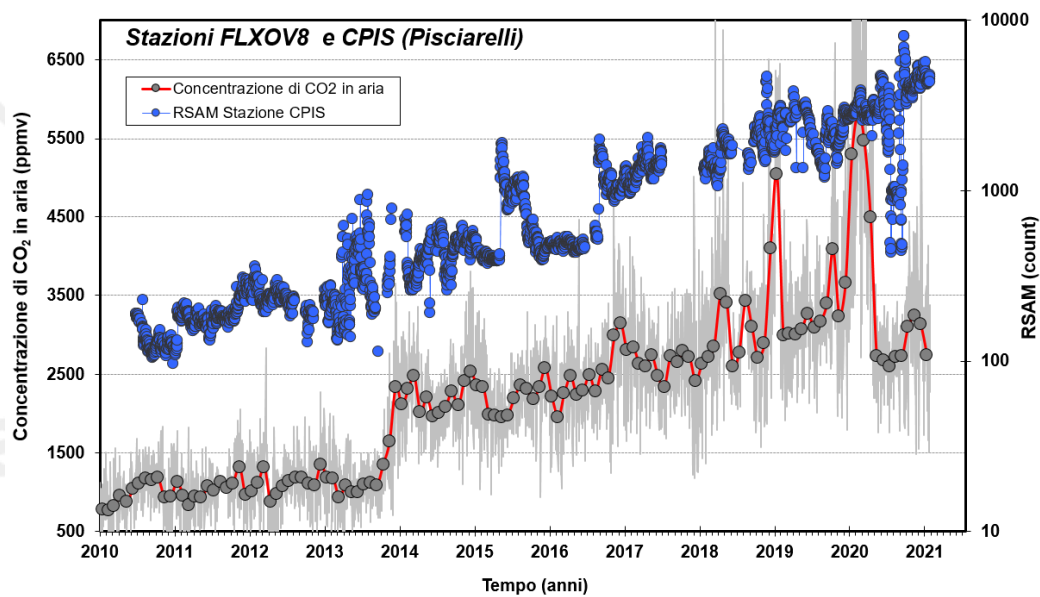


Figura 4.16 - Cronogramma delle medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) della concentrazione di CO_2 registrata in aria con frequenza bioraria dalla stazione geochimica per la misura del flusso di CO_2 dal suolo di Pisciarelli (FLXOV8). Nel cronogramma è riportata anche la serie temporale dell'ampiezza del tremore fumarolico su base giornaliera registrata dalla stazione sismica CPIS, installata a pochi metri dalla fumarola principale. Questi parametri risultano strettamente correlati tra di loro e all'intensità dell'attività idrotermale (Chiodini et al., 2017, Giudicepietro et al., 2019). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo delle concentrazioni di CO_2 in aria e dell'ampiezza del tremore fumarolico sin dal 2013.

La serie temporale di concentrazione di CO_2 in aria (registrata con frequenza bioraria dalla stazione geochimica FLXOV8) mostra un significativo aumento nel tempo delle concentrazioni, (come medie mensili) da ~1000 ppm nel 2012, fino a ~3000 ppm negli ultimi periodi, con un massimo di ~5000 ppm registrato nei periodi gennaio-marzo 2019 e gennaio-marzo 2020. Analogamente, l'ampiezza del tremore fumarolico (RSAM) mostra a partire dal 2013 un rilevante aumento nel tempo. Nel mese di gennaio 2021 il tremore fumarolico non ha mostrato variazioni dei valori misurati rispetto al periodo precedente (Fig. 4.16).

In considerazione di tali evidenti variazioni, in osservanza al principio di precauzione e al fine di operare in sicurezza nel sito di emissione sono al momento sospese le attività di campionamento dei fluidi della fumarola principale di Pisciarelli oltre a quelle di manutenzione del sensore di temperatura installato nella medesima fumarola.

5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI GENNAIO 2021 E VALUTAZIONI

1) **SISMOLOGIA:** Nell'area dei Campi Flegrei sono stati registrati 239 terremoti ($M_{dmax}=1.8\pm0.3$) di cui 95 localizzati prevalentemente tra Pozzuoli e l'area Solfatara-Pisciarelli. Alcuni eventi sono stati localizzati nell'area del Golfo di Pozzuoli.

2) **DEFORMAZIONI:** La velocità media del sollevamento a partire da settembre 2020 è stata ricalcolata avendo a disposizione un maggior numero di dati settimanali e il valore stimato risulta essere 13 ± 2 mm/mese. Il sollevamento registrato alla stazione GPS di RITE è di circa 42 cm a partire da gennaio 2016.

I dati tiltmetrici evidenziano l'accelerazione dell'inclinazione del suolo negli ultimi 5 mesi. L'orientazione dei vettori tilt per le stazioni in pozzo mostra un pattern coerente con la fase di sollevamento del suolo a simmetria radiale centrato nell'area della città di Pozzuoli, anche se la stazione ECO mostra una rotazione dell'inclinazione verso ovest.

3) **TERMOGRAFIA:** L'analisi delle serie temporali dell'area campionata della Solfatara, seppur in presenza di ampie oscillazioni a breve periodo, mostra un andamento sostanzialmente stabile.

Le misure con termocamere mobili effettuate in diversi punti nell'area dei Campi Flegrei mostrano andamenti stabili.

4) **GEOCHIMICA:** La composizione delle fumarole e i parametri monitorati indicano il perdurare dei trend pluriennali di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale. Il flusso di CO_2 delle fumarole, dopo alcune oscillazioni da mettersi in relazione con le forti piogge avvenute nel periodo, mostra valori in linea con i periodi precedenti. Il valore dal tremore sismico (RSAM, Real-time Seismic Amplitude Measurement) generato dall'attività fumarolica ha mostrato un lieve aumento dei valori misurati rispetto al periodo precedente. Il sensore di temperatura installato nella fumarola principale di Pisciarelli a partire dal 10 novembre ha mostrato un malfunzionamento e per motivi di sicurezza non è al momento riparabile. I valori di temperatura misurati in continuo in un'altra emissione fumarolica nell'area di Pisciarelli, caratterizzata da una minore temperatura di emissione e collocata a pochi metri di distanza dalla fumarola principale hanno mostrato oscillazioni, da ~ 100 °C fino al valore di ebollizione per il fluido emesso di ~ 95 °C, da mettersi in relazione agli eventi piovosi verificatisi.

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

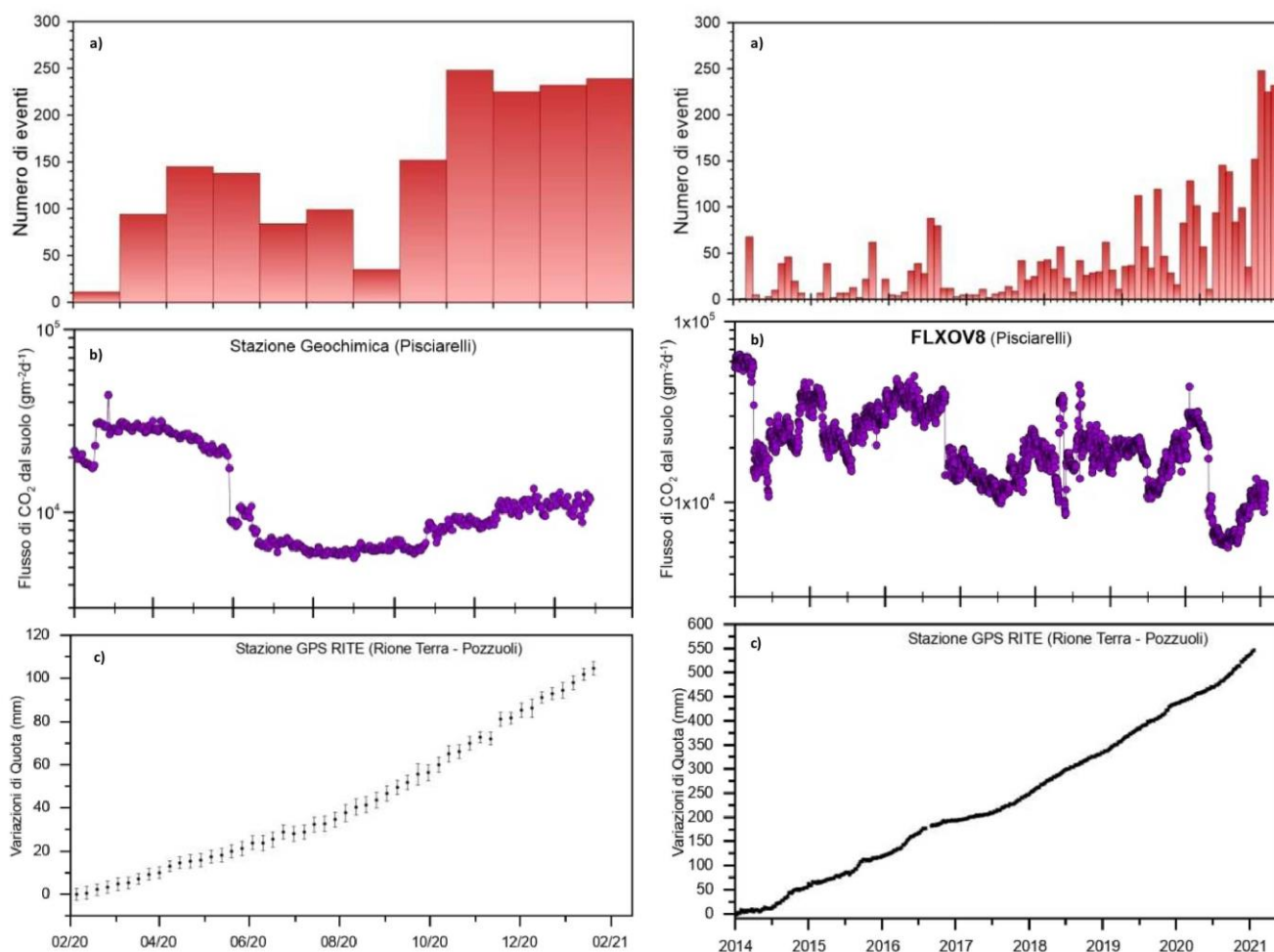


Figura 5.1 – Frequenza di accadimento degli eventi sismici (a), variazioni del flusso di CO₂ alla stazione geochimica di Pisciarelli (b) e andamento delle deformazioni del suolo alla stazione GPS di RITE (c) negli ultimi dodici mesi (a sinistra) e dal 2014 (a destra).

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), CO₂/CH₄ 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 ge indicators 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 CO₂ 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.
- Giudicepietro F., Chiodini G., Caliro S., De Cesare W., Esposito A. M., Galluzzo D., D. Lo Bascio, G. Macedonio, M. Orazi, P. Ricciolino, and J. Vandemeulebrouck. (2019). Insight into Campi Flegrei Caldera Unrest through seismic tremor measurements at Pisciarelli Fumarolic Field. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5544–5555. <https://doi.org/10.1029/2019GC008610>.
- Giudicepietro, F., Chiodini G., Avino R., Brandi G., Caliro S., De Cesare W., Galluzzo D., Esposito A., La Rocca A., Lo Bascio D., Obrizzo F., Pinto S., Ricci T., Ricciolino P., Siniscalchi A., Tramelli A., Vandemeulebrouck J. and Macedonio G. (2020). Tracking Episodes of Seismicity and Gas Transport in Campi Flegrei Caldera Through Seismic, Geophysical, and Geochemical Measurements, *Seismol. Res. Lett.* XX, 1–11, doi: 10.1785/022020022
- Ricco, C., Aquino, I., Borgstrom, S.E. and Del Gaudio, C. (2013) 19 years of tilt data on Mt. Vesuvius: State of the art and future perspectives. *Ann. Geophys.* 2013, Vol. 56 n. 4.
- Ricco, C., Petrosino, S., Aquino, I., Del Gaudio, C. and Falanga, M. (2019) Some Investigations on a Possible Relationship between Ground Deformation and Seismic Activity at Campi Flegrei and Ischia Volcanic Areas (Southern Italy). *Geosciences*. 2019, Vol. 9 Pag. 1-24. ISSN:2076-3263.
- 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.
- Tamburello G., S. Caliro, G. Chiodini, et al. (2019). Escalating CO₂ degassing at the Pisciarelli fumarolic system, and implications for the ongoing Campi Flegrei unrest, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.07.005>

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.