ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

ESERCITAZIONE NAZIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
"*Campi Flegrei 2019*"

COMUNICATO STRAORDINARIO CAMPI FLEGREI

Data 17/10/2019 Ora 06:15 UTC Ora 08:15 Locale

Aggiornamento sul fenomeno in corso

Oggi 17.10.2019 nelle prime ore della mattina è stato registrato un consistente incremento dei tassi di deformazione che hanno raggiunto i 24 cm/anno. Il sollevamento è ancora centrato su Pozzuoli con una simmetria radiale. E' stato registrato inoltre un incremento della sismicità e la comparsa di fratture superficiale nella zona limitrofa al settore di massimo sollevamento. La sismicità registrata è di origine vulcano-tettonica ed è stata avvertita dalla popolazione (circa 300 terremoti con M_{max}=4.0).
I parametri geochimici, confermano l'incremento dei contributi di fluidi magmatici ed un aumento delle temperature nel sistema idrotermale, rimarcato chiaramente dal trend in crescita di CO. S'inizia a delineare un trend in diminuzione di H_2 alla Solfatara. Gli indicatori di degassamento magmatico per risalita e decompressione mostrano un trend ormai significativo (i.e. decrementi di N_2/He). In area Pisciarelli le campagne di misura di temperatura mostrano una significativa estensione dell'anomalia termica ed un netto incremento del flusso di CO_2, con valori praticamente raddoppiati. I rilievi mostrano come l'attività idrotermale di *boiling* e fumarolizzazione appare visibilmente sostenuta.
La prospezione eseguita sugli acquiferi non mostra variazioni significative in tutte le BGW. Significativi decrementi di pH ed aumenti di livello freatico sono invece osservati in alcune CGW e SGW vicine a Solfatara.
I sistemi di videosorveglianza hanno registrato un'esplosione freatica di modesta energia nell'area di Pisciarelli.

Inquadramento dell'attività storica

I Campi Flegrei sono un vulcano attivo e potenzialmente pericoloso sia in relazione alla generazione e dispersione dei flussi piroclastici sia per la dispersione e caduta di ceneri, nelle aree circostanti. Le eruzioni avvenute nel passato hanno mostrato una variabilità di scala e di area di emissione, suggerendo la possibilità che diversi scenari sono possibili in caso di ripresa dell'attività vulcanica. L'attività eruttiva piu recente si è verificata nel settore centro-orientale della caldera (Fig. 1a) tra 5.500 e 3.800 anni fa circa, ed è stata poi seguita dall'evento che ha formato il Monte Nuovo ad ovest di Pozzuoli nel 1538. L'area compresa tra Astroni, Solfatara e Agnano è stata stimata come il settore della caldera a più alta probabilità di apertura di una nuova bocca eruttiva ai Campi Flegrei (Fig. 1b).

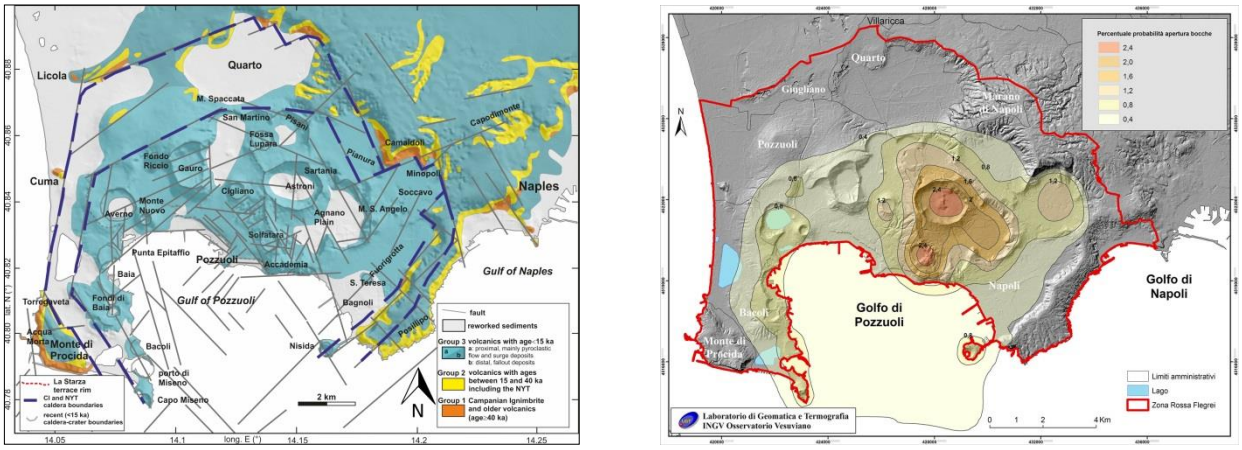

Figura 1 - a) Carta geologica-strutturale della caldera dei Campi Flegrei; b) mappa della probabilità di apertura di nuove bocche eruttive nella caldera dei Campi Flegrei.

In particolare l'area tra Solfatara e Agnano, comprende le manifestazioni idrotermali più importanti della caldera ed è il settore, dove si sono verificati principalmente i fenomeni sismici negli ultimi 15 anni. Il settore che comprende l'area Solfatara-Pisciarelli è stato sede di piccole eruzioni freatiche e freatomagmatiche ed eruzioni effusive con messa in posto di duomi e cripto-duomi. Di particolare rilevanza è l'attività vulcanica avvenuta nell'area del vulcano Solfatara che si è verificata contemporaneamente a quella di Averno, nel settore occidentale della caldera, e comprende diverse fasi eruttive di tipo freatico verificatesi durante la formazione dell'attuale edificio vulcanico.

I Campi Flegrei rilasciano energia principalmente attraverso l'espulsione di fluidi in area Solfatara- Pisciarelli. Studi geochimici di dettaglio, la misura del processo di degassamento diffuso alla Solfatara insieme ai risultati di simulazioni fisico-numeriche del sistema idrotermale hanno evidenziato come episodi di degassamento magmatico abbiano un ruolo centrale nelle crisi di 'unrest' vulcanico che periodicamente interessano l'area flegrea. Il ruolo centrale dei fluidi nella genesi delle crisi dei Campi Flegrei è supportato dall'elevato flusso d'energia associato con il processo di degassamento, che alla Solfatara è stato stimato in ~ 100 MW (~ 5000 t/d di fluidi; 2000-3000 t/d di CO_2,). Questo rappresenta il termine più importante nel bilancio energetico dell'intero sistema vulcanico flegreo, che risulta ordini di grandezza più elevato dell'energia elastica rilasciata durante le crisi sismiche, e dell'energia associata alle deformazioni del suolo, ed è circa 10 volte maggiore del flusso di calore rilasciato per conduzione dall'intera caldera (90 km2). Rilasci improvvisi di fluidi ricchi in CO_2 dal magma, causano variazione della composizione delle fumarole e aumenti repentini nella pressione e nella temperatura del sistema idrotermale. Lo studio dei geo-indicatori gassosi suggerisce, a partire dal 2007, un significativo aumento della temperatura e della pressione delle parti più superficiali del sistema idrotermale. Tale processo tuttora in corso, è testimoniato dalle variazioni macroscopiche osservate nell'area di Pisciarelli, che negli ultimi anni sono consistite nell'apertura di nuove bocche fumaroliche e di polle bollenti, nell'emissione di fango, in attività sismica localizzata, nell'aumento della temperatura della fumarola principale, nell'aumento del flusso di gas misurato.

Dal punto di vista deformativo l'area è caratterizzata dalla presenza di un lento e continuo movimento del suolo chiamato Bradisismo. Nel periodo 1969-1972 e 1982-1984 l'area ha presentato due intensi fenomeni di sollevamento, con uno spostamento verticale massimo totale di circa 3.5 m.
Dal 1985 in poi l'area è stata interessata da un fenomeno di bradisismo discendente con sovrapposte minori e più veloci fasi di sollevamento (mini-uplift). Nel 2005 è iniziata una nuova fase di unrest dell'area con un sollevamento di circa 60 cm alla fine del 2019 (Fig. 2).

Figura 2 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione cGPS di RITE (Pozzuoli) dal 2000.

La sismicità dei Campi Flegrei è strettamente correlata con le fasi di sollevamento del suolo (inversione del bradisismo). Tra il 1968 e il 1972) è stata registrata una sismicità di moderata energia. Durante la successiva crisi bradisismica (1982-1984) sono stati registrati più di 15.000 terremoti che hanno raggiunto una magnitudo massima di 4.0 (evento del 4 ottobre 1983).
La recente fase di ripresa dell'inversione del bradisismo, osservata a partire dal 2005, è caratterizzata da una deformazione del suolo di minore entità rispetto alle precedenti ma comunque accompagnata da fenomenologie sismiche come eventi vulcano-tettonici (VT) e long-period (LP).
Come per altre aree vulcaniche, la sismicità dei Campi Flegrei è caratterizzata dall'occorrenza di sciami sismici anche con un notevole numero di eventi. A partire dal 2005 sono stati registrati diversi sciami prevalentemente di bassa energia (Fig. 3) e per lo più concentrati nell'area tra la Solfatara-Pisciarelli e Agnano.

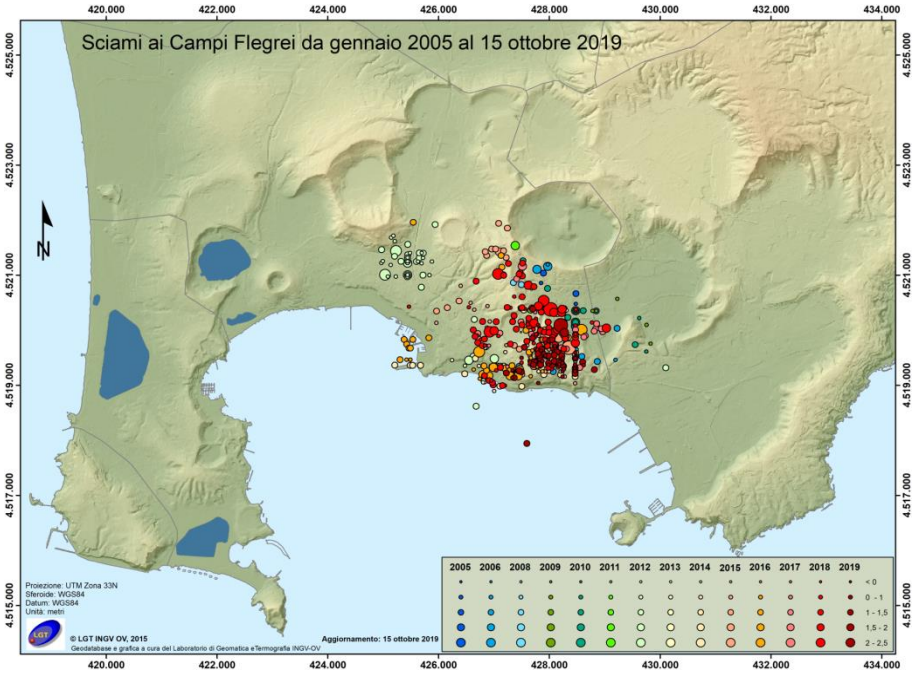

Figura 3 – Localizzazioni degli sciami sismici registrati dal 2005 ad oggi.

ANDAMENTO TEMPORALE E SPAZIALE DEI PARAMETRI DEL MONITORAGGIO

Sismologia

Nella mattinata è stato registrato uno sciame sismico costituito da 300 eventi vulcano-tettonici (VT) anche di elevata energia (Mmax=4.0) localizzati nell'area di Pisciarelli ad una profondità compresa tra 1.5 km 3.5 km (Fig. 4).
Diversi eventi dello sciame sono stati avvertiti dalla popolazione.

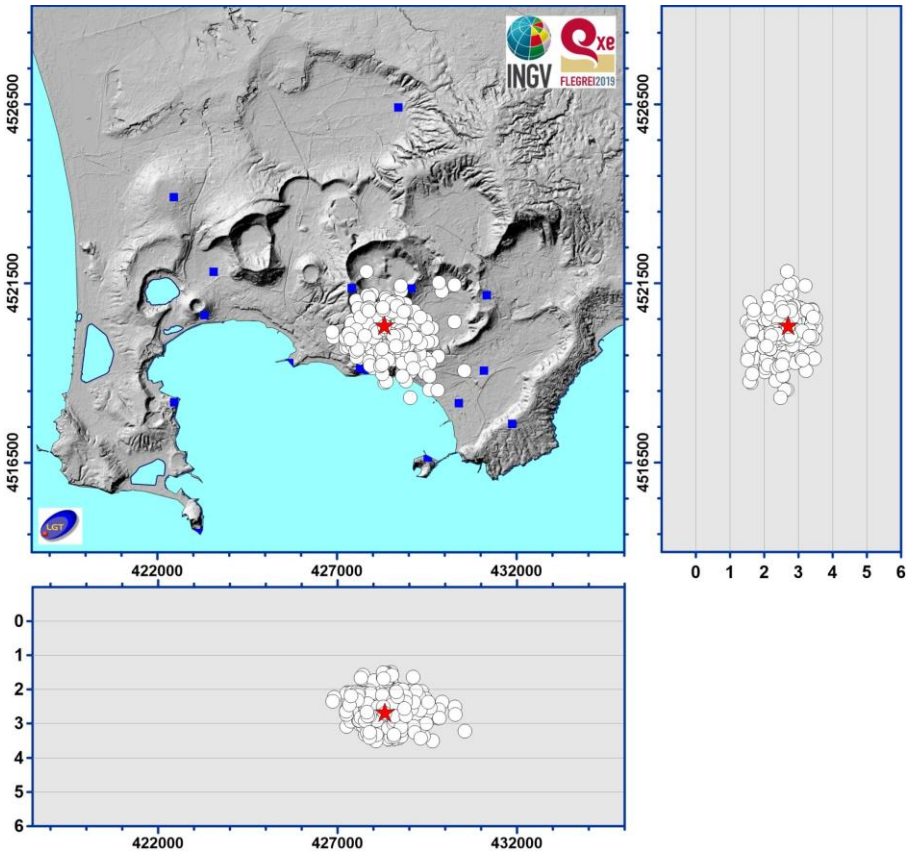

Figura 4 – Localizzazioni dello sciame VT iniziato alle ore 05:30 UTC.

Deformazioni del suolo

Si registra un sensibile incremento delle velocità dei parametri delle deformazioni del suolo misurate nell'area flegrea. Il sollevamento, ancora centrato su Pozzuoli e a simmetria radiale, ha raggiunto una velocità di circa 24 cm/anno (4 cm negli ultimi 2 mesi) (Figg. 5 e 6). Anche i segnali tiltmetrici evidenziano variazioni di circa 10-20 microrad (Fig. 7), con valori superiori alle stazioni nell'area prossimale a Pisciarelli (freccia blu in Fig. 7) in concomitanza con la modesta esplosione freatica avvenuta nell'area nelle prime ore del mattino.
Sebbene il pattern di deformazione conservi la tipica simmetria radiale, il centroide della sorgente di pressione mostra uno spostamento verso l'alto attestandosi ad una profondità di circa 3 km.

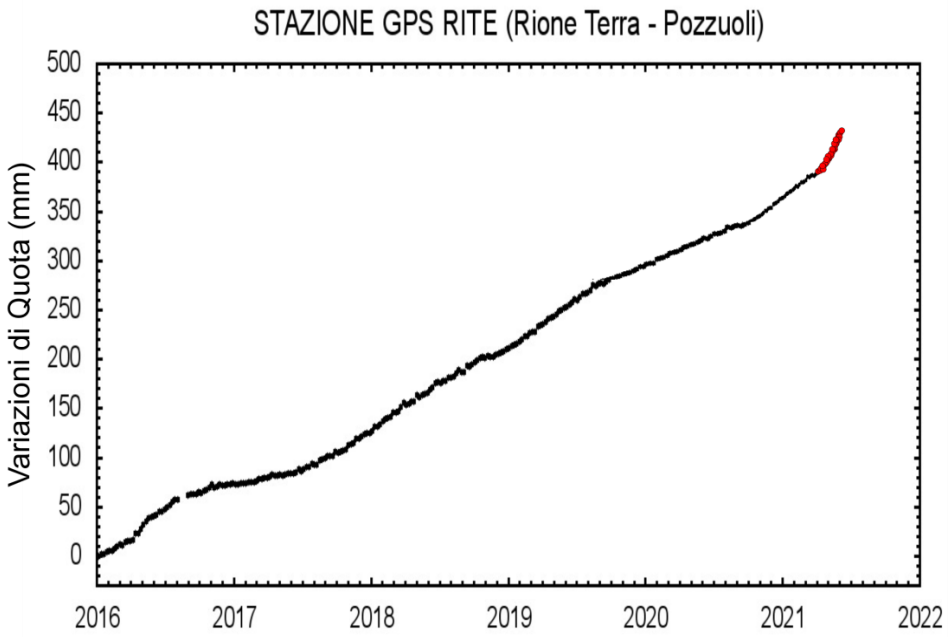

Figura 5 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione GPS di RITE (Pozzuoli).

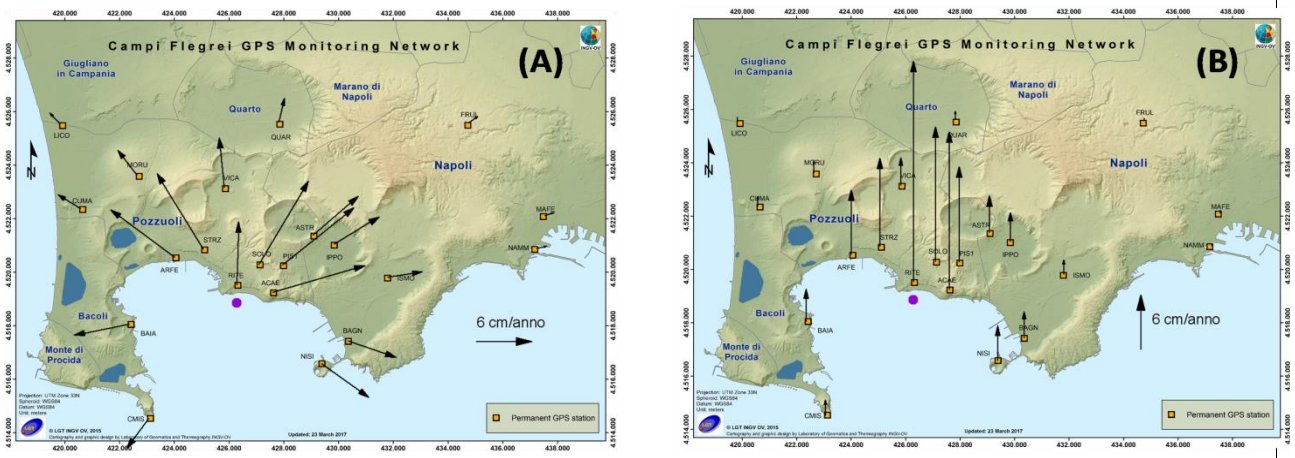

Figura 6 - Campo di velocità (in cm/anno) delle deformazioni GPS orizzontali (A) e verticali (B) ai Campi Flegrei.

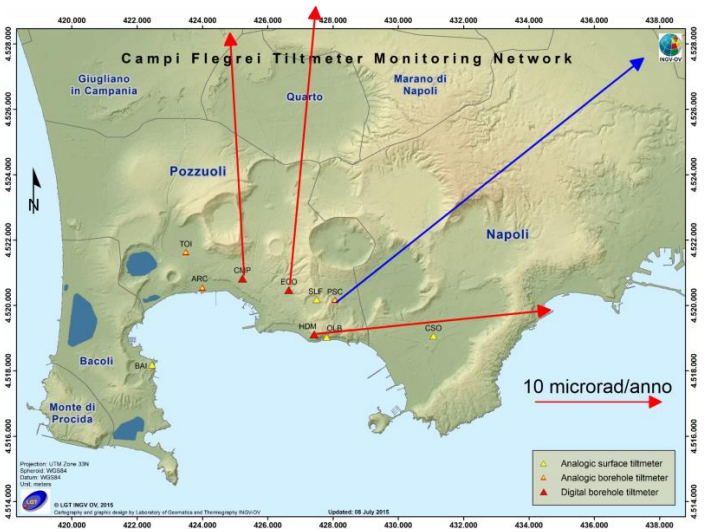

Figura 7 - Pattern tiltmetrico osservato ai Campi Flegrei. Le frecce rosse e blu indicano la direzione di abbassamento del suolo.

Geochimica

Sono state registrate variazioni marcate dei parametri geochimici misurati in area Solfatara- Pisciarelli, che suggeriscono un incremento del contributo di fluidi magmatici nel sistema idrotermale.

Le analisi di laboratorio dei campioni di gas fumarolici (fumarola Bocca Grande) evidenziano un incremento dei trend già in precedenza identificati.

Il rapporto CO_2/H_2O nei campioni del periodo d'interesse mostra un incremento fino a valori di 0.47-0.48 (Fig. 8), che in generale testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici e/o 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.

Le concentrazioni di monossido di carbonio (CO) evidenziano un trend di crescita particolarmente marcato, nei campioni relativi al periodo di interesse, raggiungendo concentrazioni di 5.0 ppmm (Fig. 9) che corrisponde, assumendo come buffer redox la funzione di D'Amore and Panichi (1980), a un aumento di temperatura di ~ 15 °C negli ultimi mesi (da ~ 260 °C a ~ 275 °C, Fig. 10). Si rilevano aumenti di concentrazione del CO anche nei fluidi fumarolici di Pisciarelli, che da un valore medio di 0.1 ppmm hanno raggiunto 0.8 ppmm.

Il rapporto CO_2/CH_4 dei gas fumarolici nel periodo di interesse ha mostrato un nuovo trend d'aumento, raggiungendo valori di circa 26000 (Fig. 11 e 12), che suggerisce un aumento dell'input di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. La variazione del sistema verso condizioni redox più ossidanti è anche supportato dalla diminuzione nei contenuti di H_2 (da ~1100 a ~ 800 ppmm) nei gas fumarolici della Solfatara.

Si osserva inoltre una variazione del rapporto isotopico D/H nei vapori fumarolici che raggiunge valori δD di circa -20‰ (vs. V-SMOW) tipici di una origine magmatica del vapore (Fig. 12).

Inoltre, va segnalato una nuova diminuzione del rapporto N_2/He (140), che suggerisce l'evoluzione di un processo di degassamento a pressioni decrescenti nel tempo di un magma di composizione primitiva (Fig. 13).

Misure di temperatura nell'area di Pisciarelli hanno evidenziato una estensione areale della anomalia termica della zona ed un marcato incremento dei flussi di CO_2 dal suolo.

E' da segnalare una esplosione freatica di modesta energia nell'area di Pisciarelli, dove l'attività idrotermale è in evidente incremento.

La temperatura e i flussi misurati dalla stazione FLXOV8 di Pisciarelli, mostrano significativi aumenti dei valori di temperatura che ha raggiunto i 125 °C (Fig. 14) e del flusso di CO_2 con valori misurati di circa 60000 g m^{-2} d^{-1} (Fig. 15).

Sono stati misurati significativi decrementi nei valori di pH contestualmente a un aumento del livello freatico dell'acquifero nei dintorni della Solfatara.

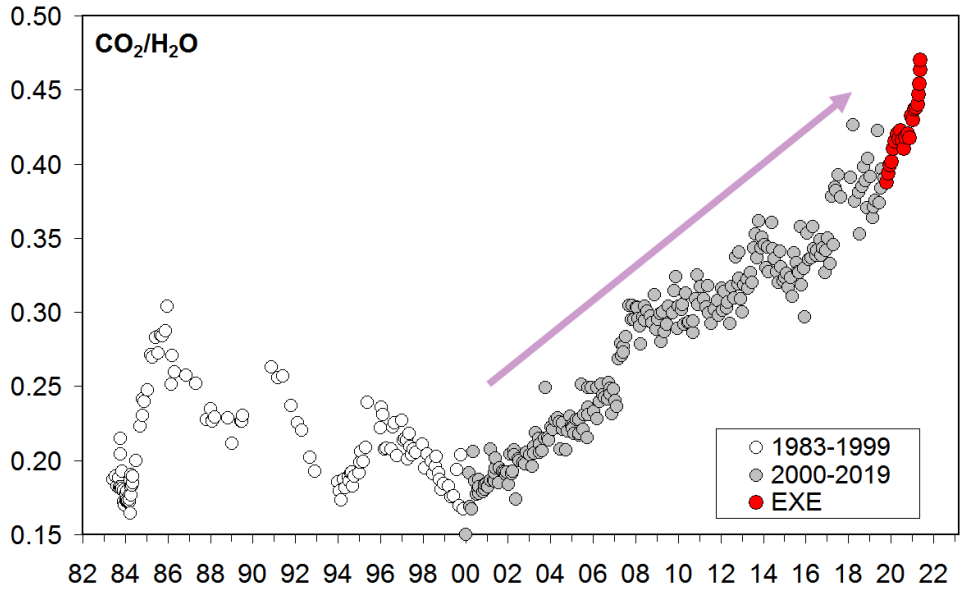

Figura 8 - Cronogramma del rapporto CO_2/H_2O per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto CO_2/H_2O, in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

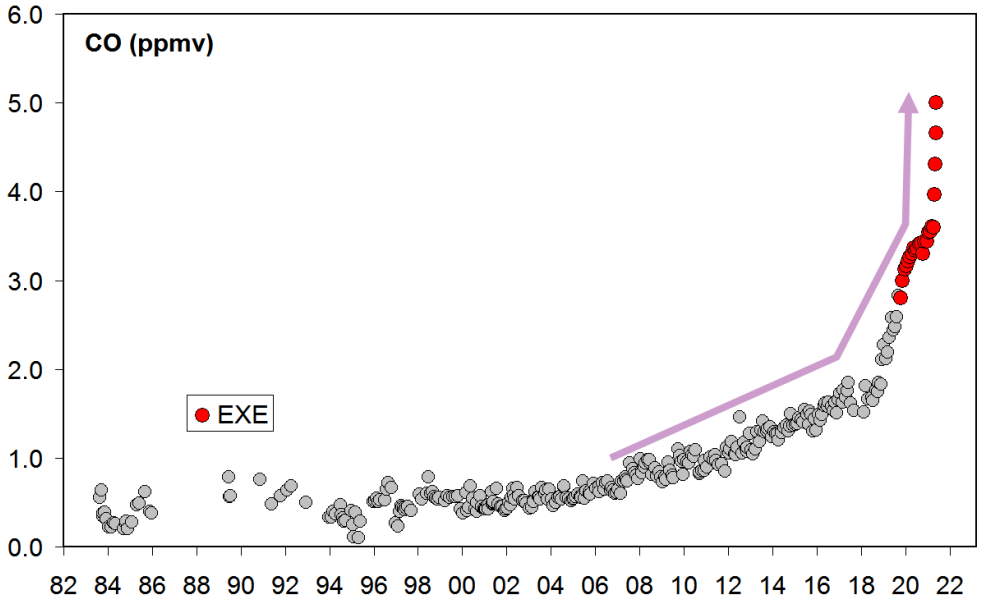

Figura 9 – Cronogramma delle variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate da sistemi idrotermali mostrano concentrazioni più basse, in tali sistemi un aumento delle concentrazioni di CO può riflettere un incremento delle condizioni di pressione e temperatura. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

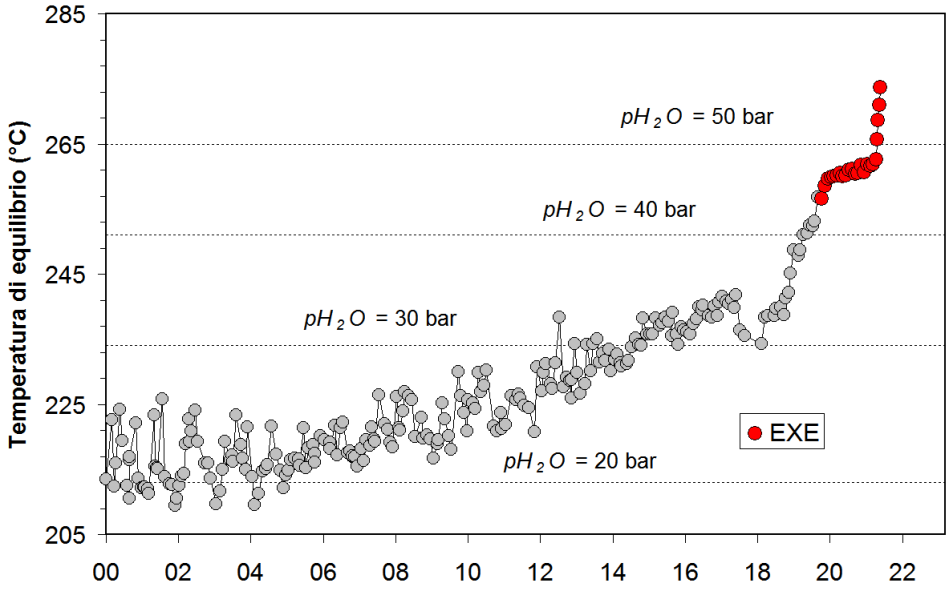

Figura 10 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO_2, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un sensibile aumento negli ultimi periodi. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

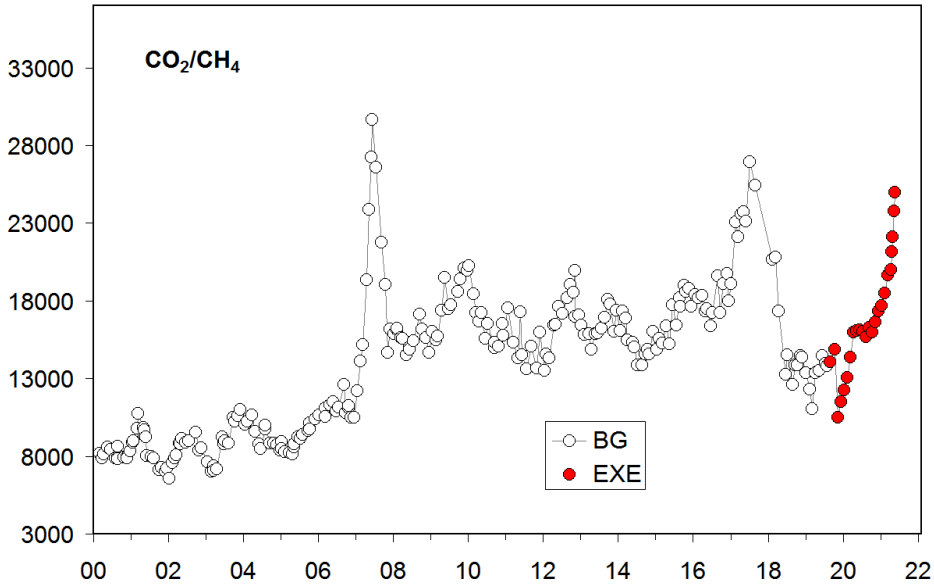

Figura 11 – Variazioni del rapporto CO_2/CH_4 per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

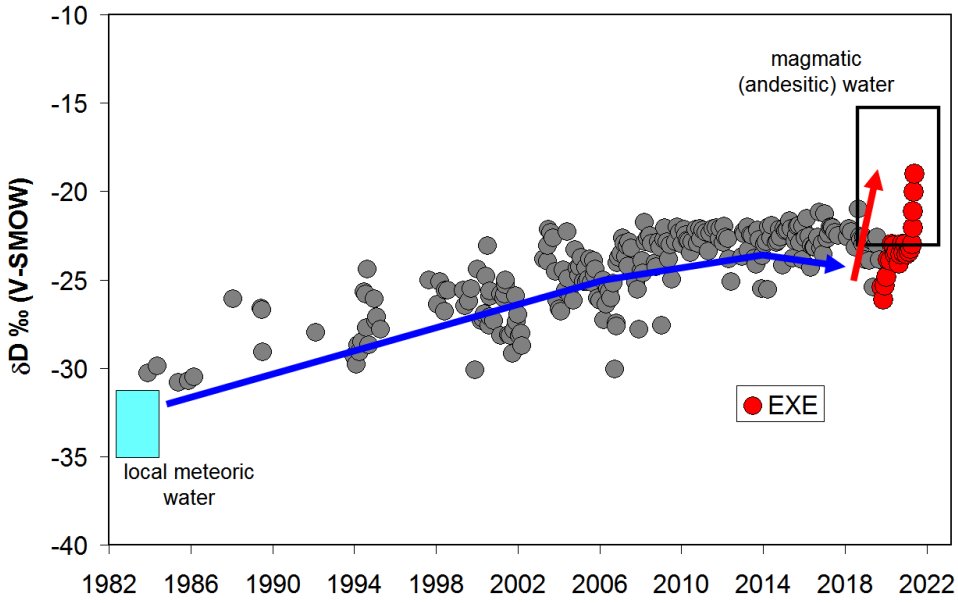

Figura 12 - Variazioni della composizione isotopica dell'Idrogeno nei vapori della Fumarola BG. Le composizioni relative al periodo di riferimento evidenziano una variazione della composizione che raggiunge valori aspettati per una sorgente magmatica di tipo "andesitico". Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

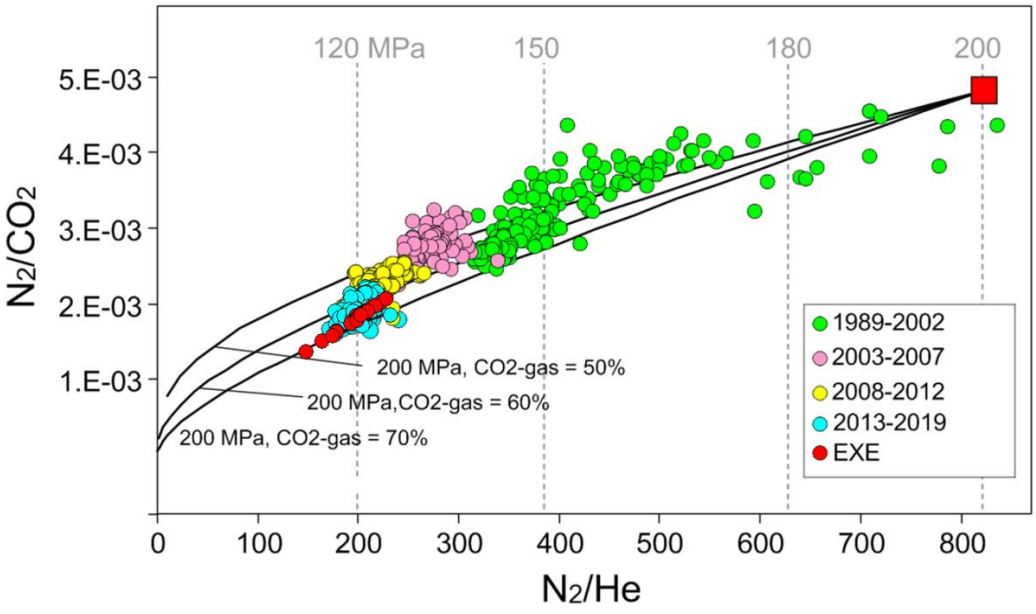

Figura 13 - Variazione dei rapporti N_2/He e N_2/CO_2 della fumarola BG. I dati raggruppati per periodi temporali sono confrontati con i pattern simulati di degassamento per decompressione di un magma trachibasaltico per differenti condizioni iniziali (Caliro et al., 2014). I dati relativi al periodo di interesse suggeriscono l'evoluzione di un processo di degassamento magmatico a pressioni decrescenti nel tempo. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

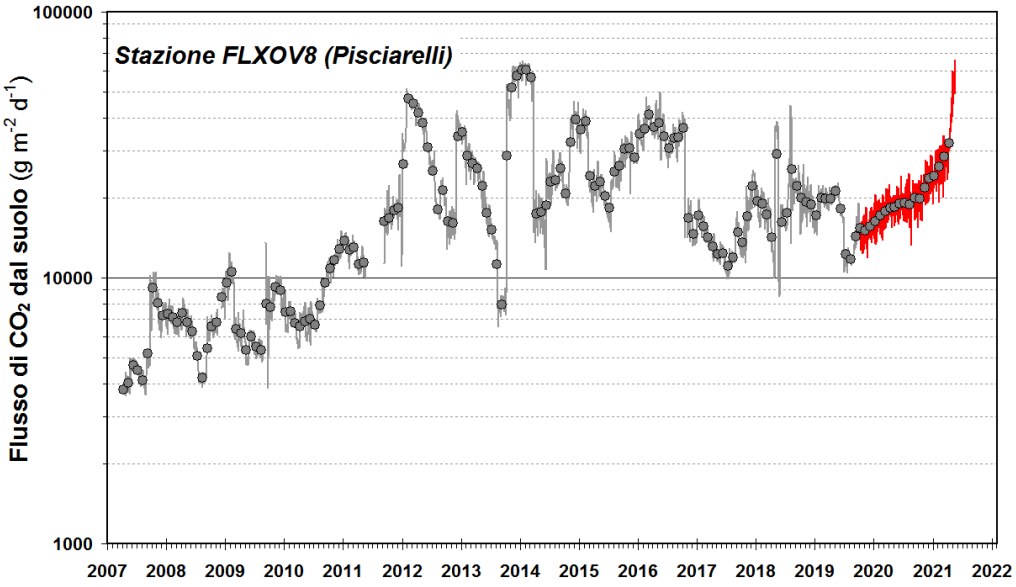

Figura 14 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO_2 misurati dalla stazione automatica a Pisciarelli. E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo a partire dal 2007 del flusso CO_2., che nel periodo di interesse ha raggiunto valori di circo 60000 $gm^{-2}d^{-1}$. Con la linea rossa sono evidenziati i dati relativi all'esercitazione EXE-2019.

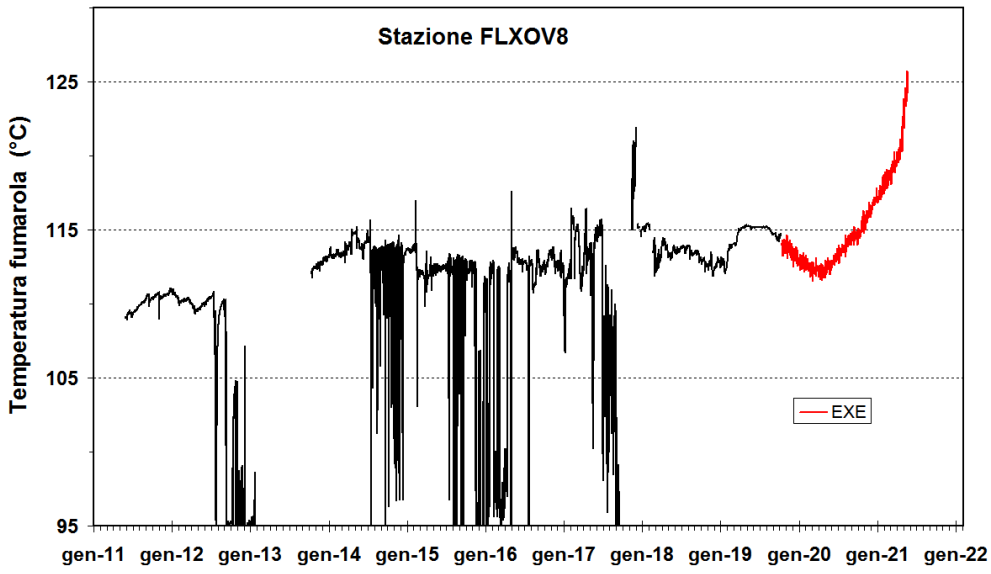

Figura 15 - Cronogramma delle temperature della fumarola principale di Pisciarelli registrate in continuo dal 2011. Va segnalato l'incremento di temperatura che ha raggiunto i 125 °C nel periodo di interesse. Con la linea rossa sono evidenziati i dati relativi all'esercitazione EXE-2019.

Vulcanologia

Rilievi di terreno, nell'area di maggiore deformazione registrata nella città di Pozzuoli, hanno evidenziato l'apertura di nuove fratture. I rilievi mostrano inoltre che l'attività idrotermale di boiling e di emissioni fumaroliche continua in maniera sostenuta. I sistemi di sorveglianza presenti nell'area di Pisciarelli hanno evidenziato l'occorrenza di una esplosione freatica di modesta energia. A seguito di questa registrazione vengono effettuati rilievi per la caratterizzazione dell'evento. I dati raccolti durante i rilievi sono stati inseriti in una piattaforma webgis.

Figura 16 – Emissioni fumaroliche, polle bollenti e zone di emissione di fango nell'area di Pisciarelli.

Attività tecnico-scientifiche

Ordinaria attività di sorveglianza e monitoraggio vulcanologico. Osservazioni anche con ausilio di telecamera termica, droni e sopralluoghi di terreno di personale INGV. In area Solfatara - Pisciarelli viene aumentata la frequenza di campionamento dei fluidi fumarolici.

Valutazioni di pericolosità

Incremento dei tassi di deformazione e un incremento della sismicità con la comparsa di fratture superficiali nella zona vicino al settore di massimo sollevamento. E' stato registrato uno sciame di circa 300 eventi VT con una magnitudo massima M=4.0, avvertito dalla popolazione. I parametri geochimici, confermano l'incremento dei contributi di fluidi magmatici ed un aumento delle temperature nel sistema idrotermale. L'attività idrotermale di *boiling* e fumarolizzazione appare visibilmente sostenuta. Registrata un'esplosione freatica di modesta energia nell'area di Pisciarelli.

Non si può escludere l'accadimento di ulteriori eventi sismici di magnitudo tale da essere avvertiti dalla popolazione. Inoltre sono possibili incrementi dei parametri geochimici e della attività idrotermale nell'area Solfatara-Pisciarelli, dove potrebbero anche verificarsi fenomeni di disequilibrio superficiale del sistema.

N.B. Eventuali variazioni dei parametri monitorati possono comportare una diversa evoluzione degli scenari d'evento sopra descritti. Si sottolinea che le intrinseche e peculiari caratteristiche di alcune fenomenologie, proprie di un vulcano in stato di potenziale disequilibrio come i Campi Flegrei, possono verificarsi senza preannuncio o evolvere in maniera imprevista e rapida, implicando quindi un livello di pericolosità mai nullo.

Disclaimer

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.

Il Direttore
Dott.ssa Francesca Bianco