ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

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

COMUNICATO STRAORDINARIO CAMPI FLEGREI

Data 16/10/2019 Ora 16:45 UTC Ora 18:45 Locale

Aggiornamento sul fenomeno in corso

Durante la giornata di oggi 16.10.2019 sono state registrate variazioni nei parametri del monitoraggio e osservati fenomeni macroscopici principalmente legati ad attività idrotermale.
La sismicità è stata caratterizzata da eventi di bassa energia (M_{max}=2.7), localizzati nell'area Solfatara/Pisciarelli, intorno ai 2 Km di profondità durante la mattinata, mentre nel pomeriggio è stato registrato uno sciame sismico nell'area Solfatara-Pisciarelli di 10 eventi di magnitudo massima pari a 1.9 e profondità 2.3 km.
Nella tarda mattinata i parametri geochimici misurati al sito di Pisciarelli e alla Solfatara mostrano alcuni incrementi rilevanti negli indicatori di geo-temperatura e del contributo di gas magmatici. I flussi di CO_2 in area Solfatara e Pisciarelli mostrano lievi aumenti. L'anomalia termica in area Pisciarelli, mostra trascurabili estensioni areali ma continuano gli incrementi di temperatura (fino a 5°C/anno a Pisciarelli). Nuove variazioni dei parametri geochimici alla Solfatara sono state registrate nel pomeriggio. Si è verificato un incremento dei contributi di fluidi magmatici (un aumento dei rapporti CO_2/CH_4) e un aumento delle temperature nel sistema idrotermale, chiaramente rimarcati dal trend in crescita di CO. Alcuni indicatori di degassamento magmatico per risalita e decompressione mostrano variazioni modeste (i.e. decrementi di N_2/He).
L'analisi delle deformazioni del suolo, da terra e da satellite, ha confermato il costante trend di sollevamento dell'area centrale della caldera e la rete di tiltmetri continua a rilevare un quadro di sostanziale stabilità, con una deformazione radiale centrata nell'area di Pozzuoli.
Nel tardo pomeriggio si è registrato un aumento delle deformazioni del suolo, soprattutto nell'area di Pozzuoli e sismicità legata ad attività idrotermale. Incrementi di tale attività sono inoltre rimarcati dall'apertura di nuovi vent fumarolici, di polle bollenti e da emissione di fango. Continua l'aumento del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura di emissione dei gas nel sito 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).

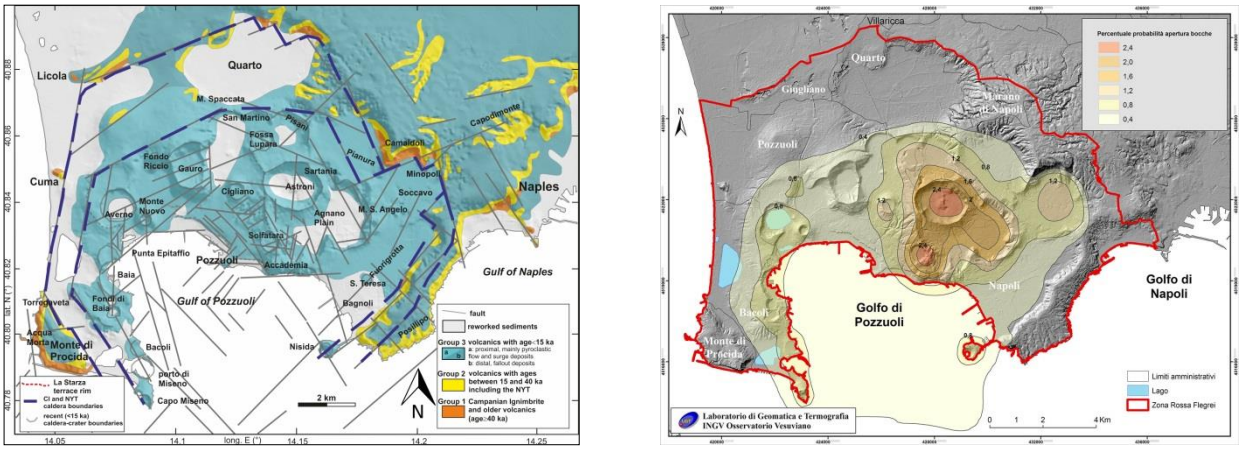

Figura 1 - a) Carta geologica-strutturale della caldera dei Campi Flegrei; b) mappa della probabilità di apertura di nuove bocche eruttive nella caldera dei Campi Flegrei

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, ad oggi, di circa 60 cm.

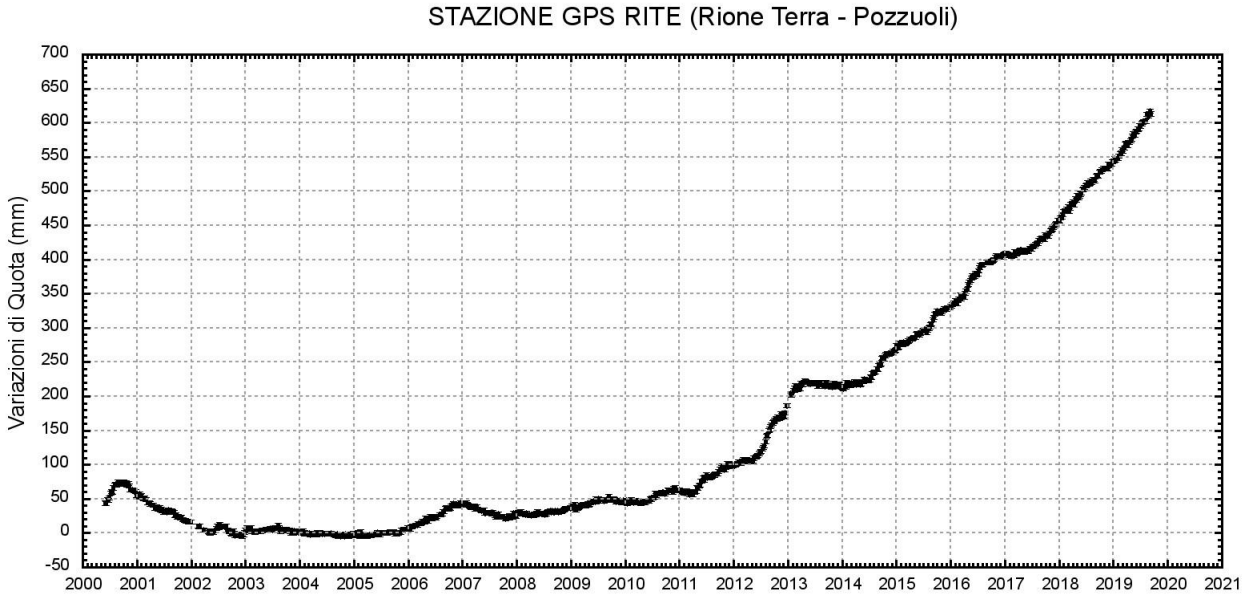

Figura 2 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione cGPS di RITE (Pozzuoli) dal 2000.

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, molto raramente, 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.

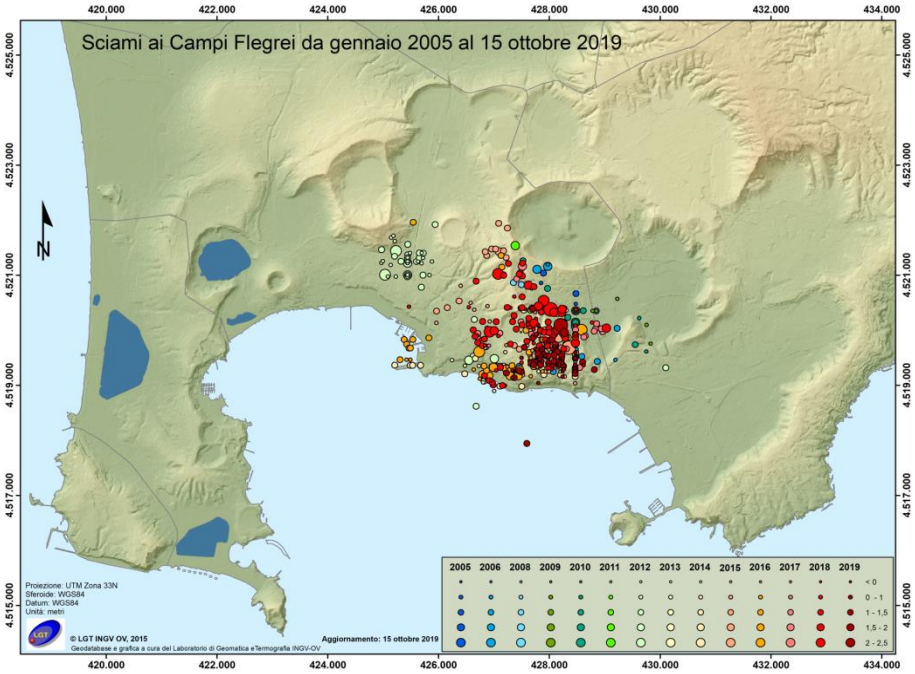

Figura 3 – Localizzazioni degli sciami sismici registrati dal 2005 ad oggi.

ANDAMENTO TEMPORALE E SPAZIALE DEI PARAMETRI DEL MONITORAGGIO

Sismologia

Nella mattinata è stato registrato uno sciame sismico costituito da 18 eventi vulcano-tettonici (VT) di bassa energia (Mmax=2.7) localizzati nell'area della Solfatara ad una profondità di circa 2 km (Fig.4). Lo sciame VT è stato seguito da uno sciame di 30 eventi long-period (LP) con una magnitudo equivalente massima di 0.5 e localizzati nell'area ad est della Solfatara ad una profondità di circa 0.5 km (Fig.5). La sequenza temporale che vede lo sciame di eventi LP accadere dopo lo sciame di eventi VT, la superficialità della sorgente degli eventi LP (500 mt) e la localizzazione in area molto prossima a quella degli eventi VT, nonché la bassa energia associata allo sciame LP, suggeriscono che tali eventi abbiano avuto origine da vibrazioni di fluidi fratture nel sistema idrotermale. Tali oscillazioni potrebbero essere state indotte da una rapida pressurizzazione del sistema (a circa 3 km di profondità) la cui risposta fragile è rappresentata dallo sciame contenente l'evento di magnitudo 2.7.
Nel pomeriggio è stato registrato un breve sciame di 10 eventi VT di bassa energia (Mmax=1.9) localizzato in area Solfatara ad una profondità poco più di 2 km (Fig.6).

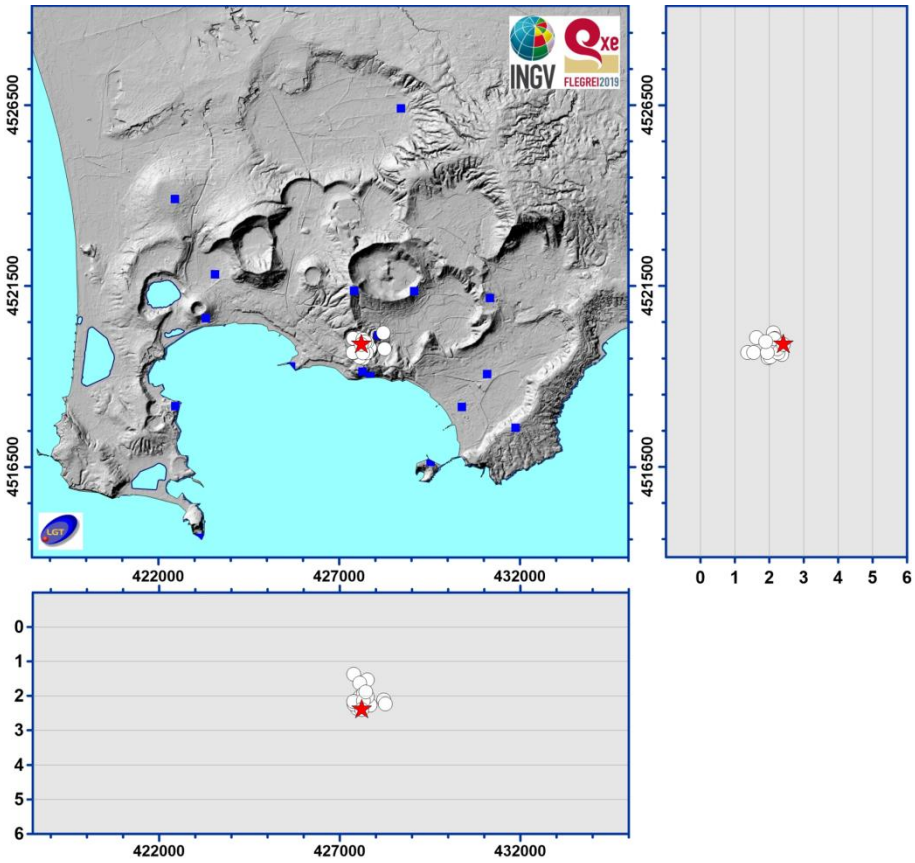

Figura 4 – Localizzazioni dello sciame VT delle ore 06:00 UTC.

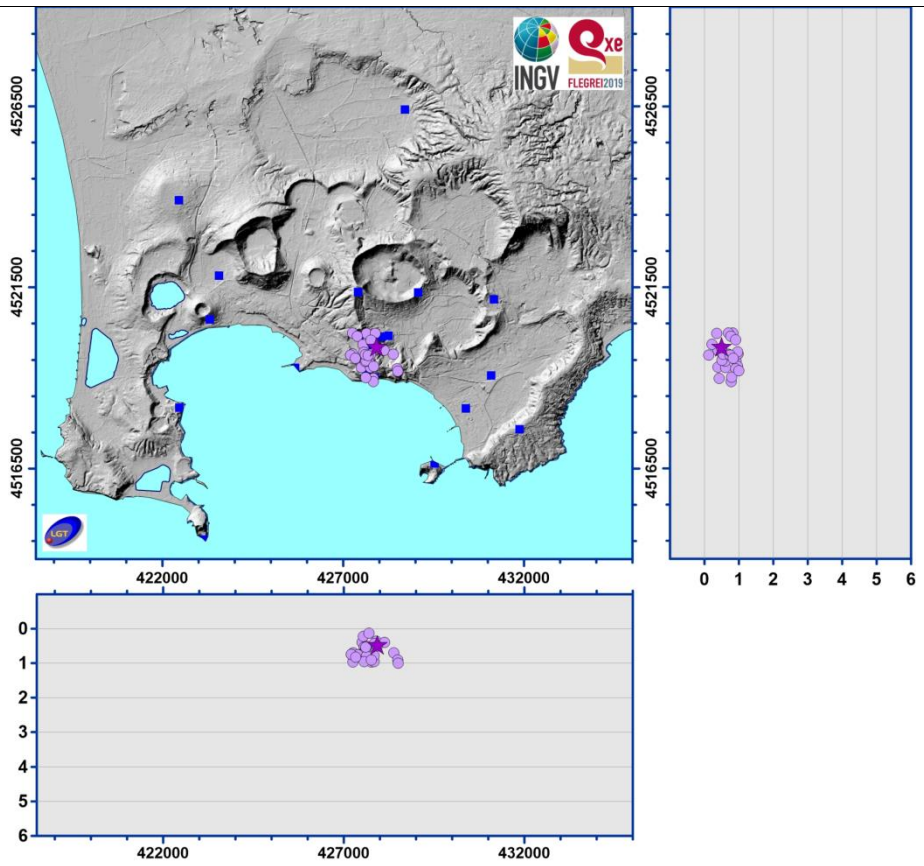

Figura 5 – Localizzazioni dello sciame LP delle ore 06:30 UTC.

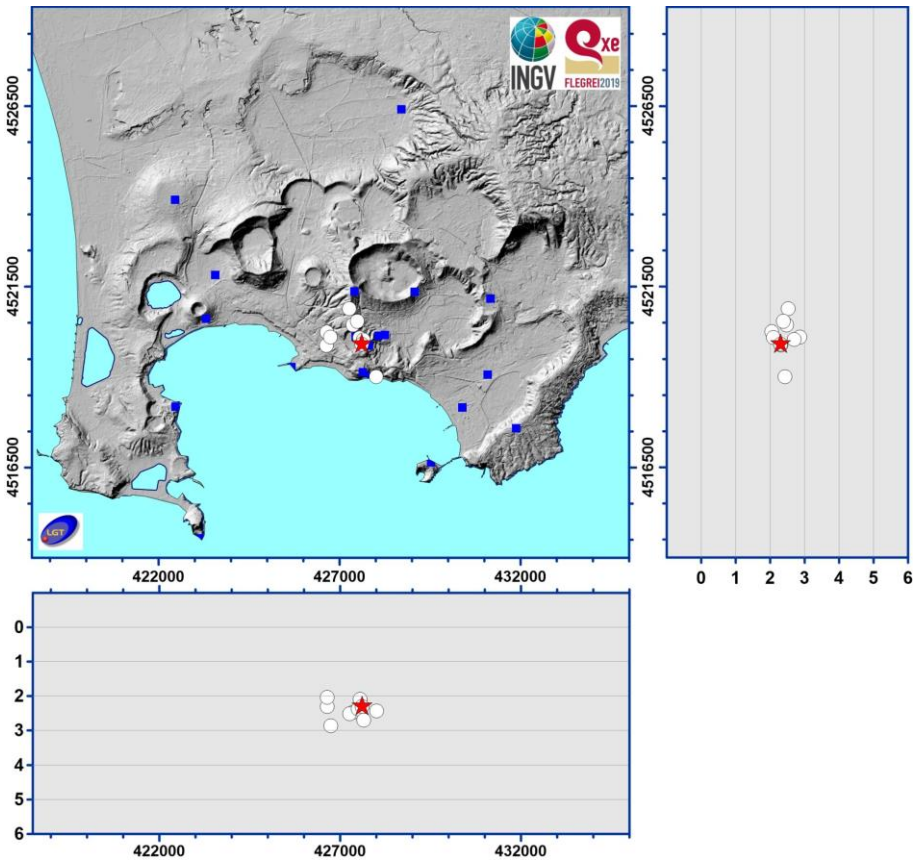

Figura 6 – Localizzazioni dello sciame VT delle ore 13:30 UTC.

Deformazioni del suolo

Si registra un incremento delle velocità dei parametri delle deformazioni del suolo misurate nell'area flegrea.
Nell'area in prossimità di Pozzuoli si apprezzano modeste ma significative variazioni delle velocità delle deformazioni verticali, con valori di circa 2 cm maggiori rispetto alle velocità massime dell'ultimo periodo (4-6 cm/anno) (Figg. 7 e 8). Anche le stazioni tiltmetriche dell'area misurano significative variazioni dell'inclinazione del suolo di circa 5-10 microrad (Fig.9).
Le variazioni misurate suggeriscono l'azione di una sorgente di pressurizzazione localizzabile sotto l'area di Pozzuoli.

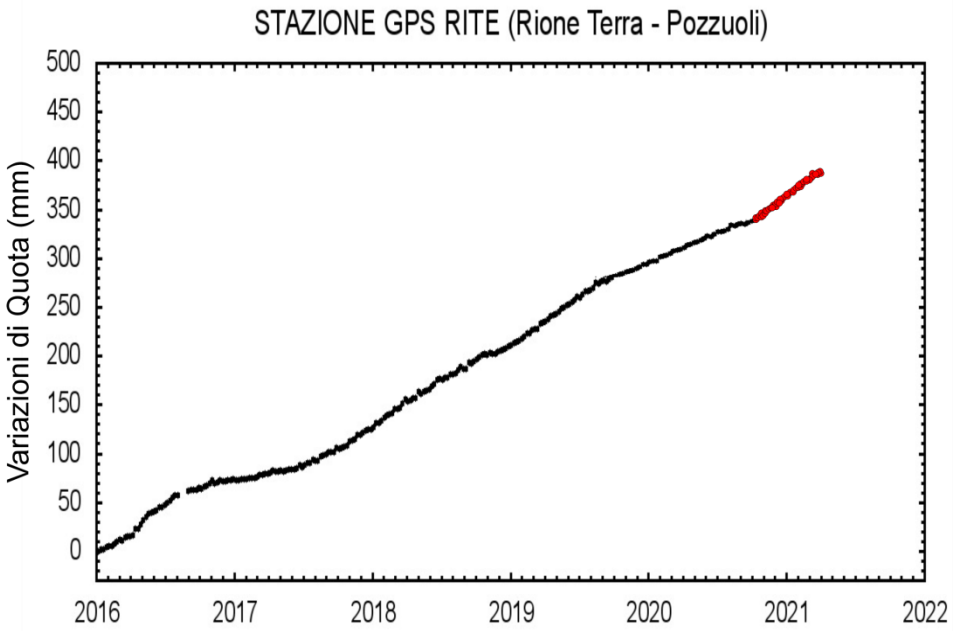

Figura 7 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione GPS di RITE (Pozzuoli)

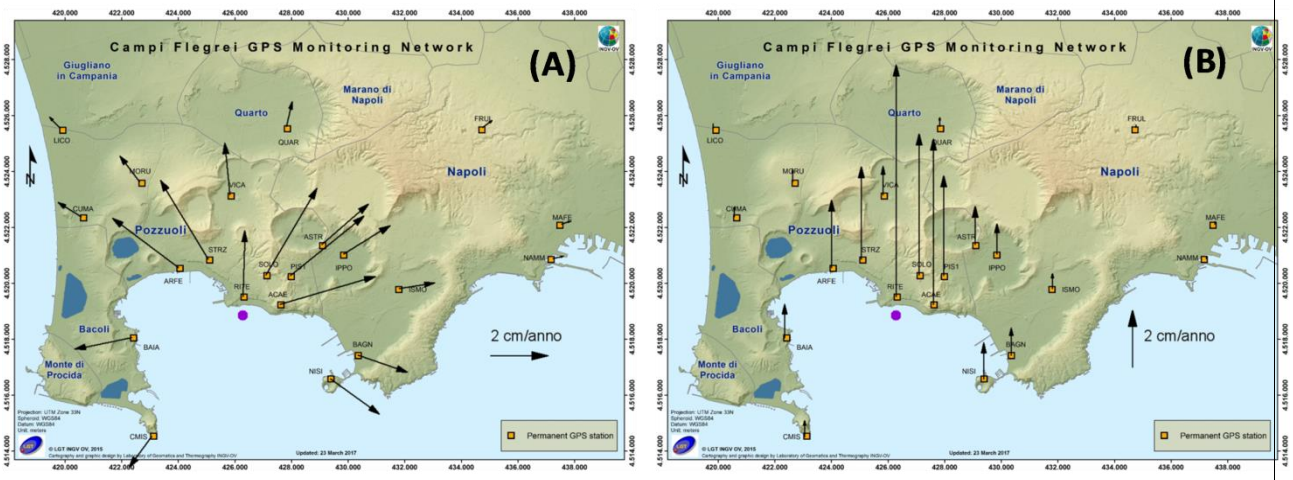

Figura 8 - Campo di velocità (in cm/anno) delle deformazioni orizzontali (A) e verticali (B) ai Campi Flegrei.

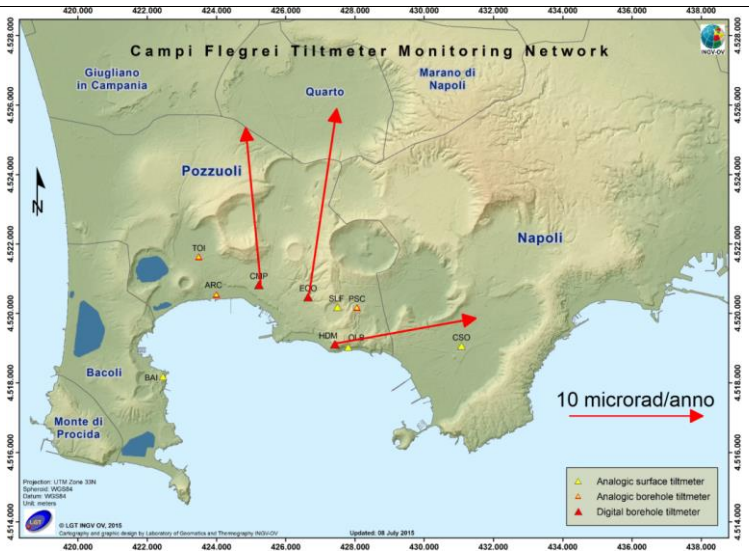

Figura 9 - Pattern tiltmetrico osservato ai Campi Flegrei. Per comodità di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le 3 stazioni “borehole” con sensori ubicati a 25 m di profondità. Le frecce rosse indicano la direzione di abbassamento del suolo.

Geochimica

Sono state registrate variazioni 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 mostra un incremento fino a valori di 0.42-0.44 (Fig. 10), 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 trend di crescita particolarmente marcato nei campioni relativi al periodo di interesse raggiungendo concentrazioni di 3.5 ppmm (Fig. 11). Il trend del CO corrisponderebbe, assumendo come buffer redox la funzione di D'Amore and Panichi (1980), a un aumento di temperatura di ~ 45 °C dagli inizi degli anni 2000 (T circa 215 °C) a oggi (T circa 260 °C, Fig. 12).
Il cronogramma del rapporto CO_2/CH_4 (Fig. 13) mostra picchi positivi, interpretati come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in CH_4, nel sistema idrotermale. Il rapporto CO_2/CH_4 dei gas fumarolici nel periodo di interesse ha mostrato un nuovo trend d’aumento, che suggerisce un nuovo evento di degassamento magmatico con conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara.
Inoltre, va segnalato una modesta diminuzione del rapporto N_2/He (180-190), che suggerisce l’esistenza di un processo di degassamento magmatico a pressioni decrescenti.
Il processo di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale è evidenziato da misure, di flusso di CO_2 dal suolo e temperatura del suolo, eseguite periodicamente su 25 punti fissi nell’area di Pisciarelli. Le misure eseguite nel periodo di interesse hanno evidenziato un’estensione areale dell’anomalia termica, visibile nella mappa di Figura 14, dove è riportata la distribuzione areale dell’incremento annuo di temperatura,. La temperatura e i flussi misurati dalla stazione FLXOV8 di Pisciarelli, mostrano significativi aumenti dei valori di temperatura che ha raggiunto i 120 °C e del flusso di CO_2 con valori misurati di circa 30000 g m^{-2} d^{-1} (Figg. 15 e 16).
Si segnalano nell’area l’apertura di nuovi vent fumarolici e di polle gorgoglianti con emissione di fango. Non si registrano variazioni apprezzabili nei parametri geochimici della falda dell’area flegrea.

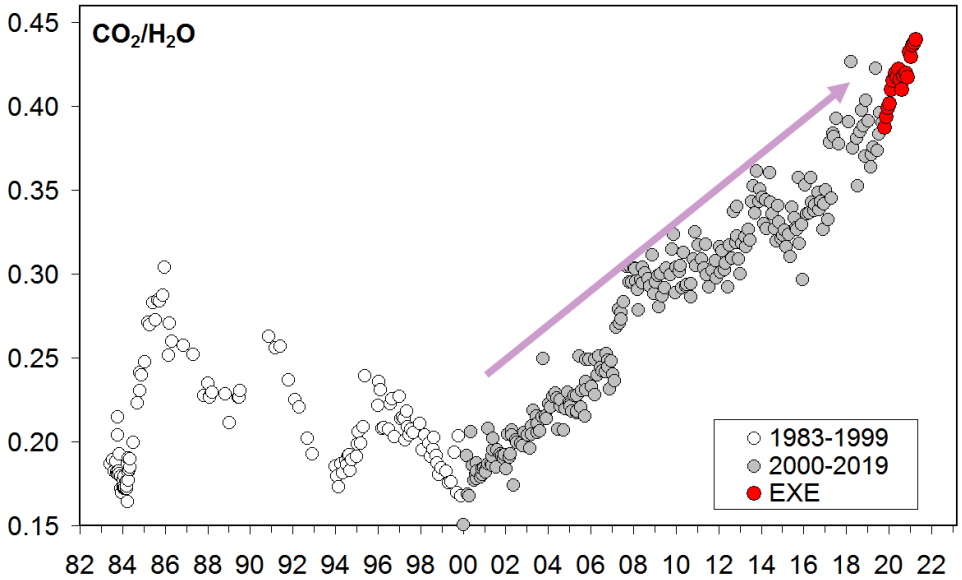

Figura 10 - Cronogramma del rapporto CO_2/H_2O per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto CO_2/H_2O, in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

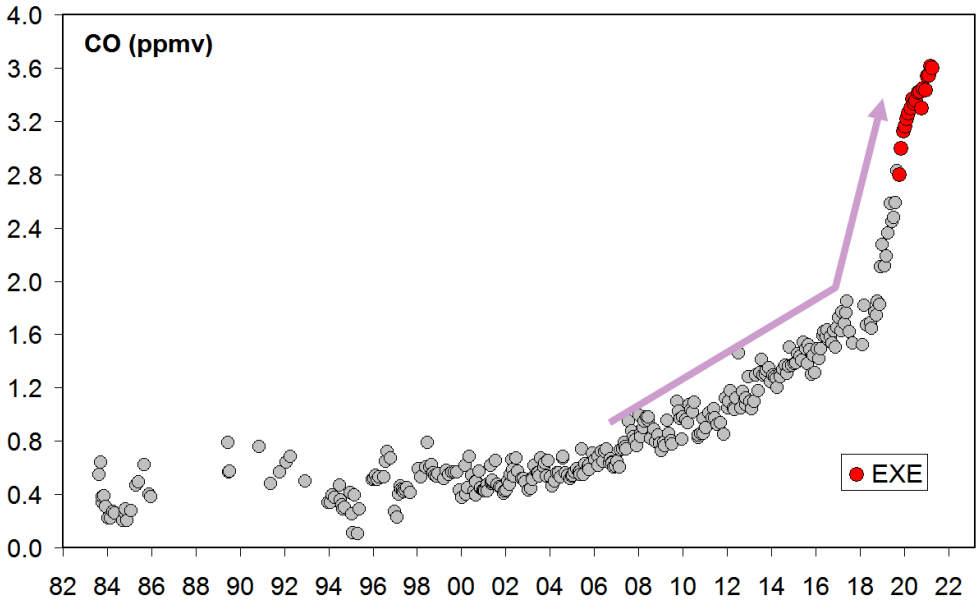

Figura 11 – Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate da sistemi idrotermali mostrano concentrazioni più basse, in tali 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.

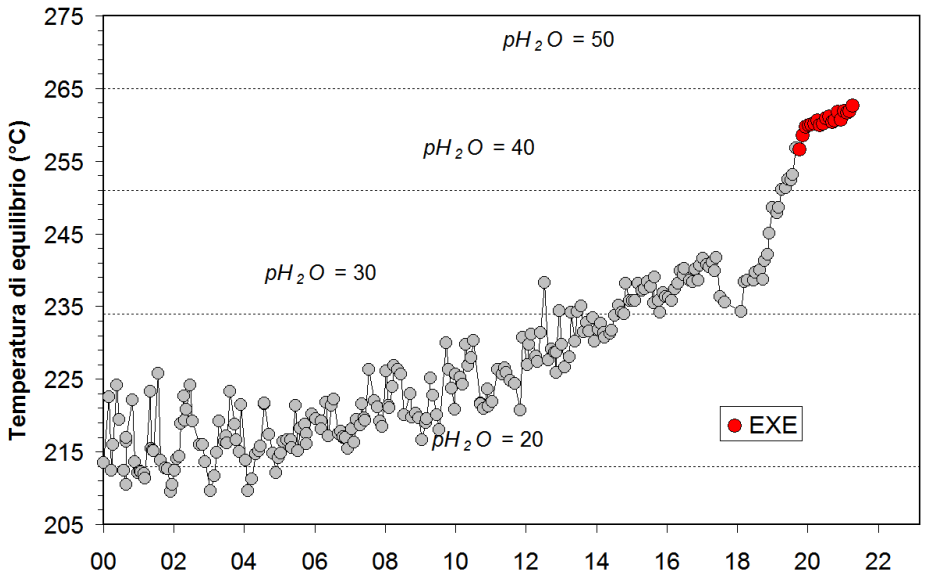

Figura 12 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO_2, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend d'aumento a partire dai primi anni del 2000. Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

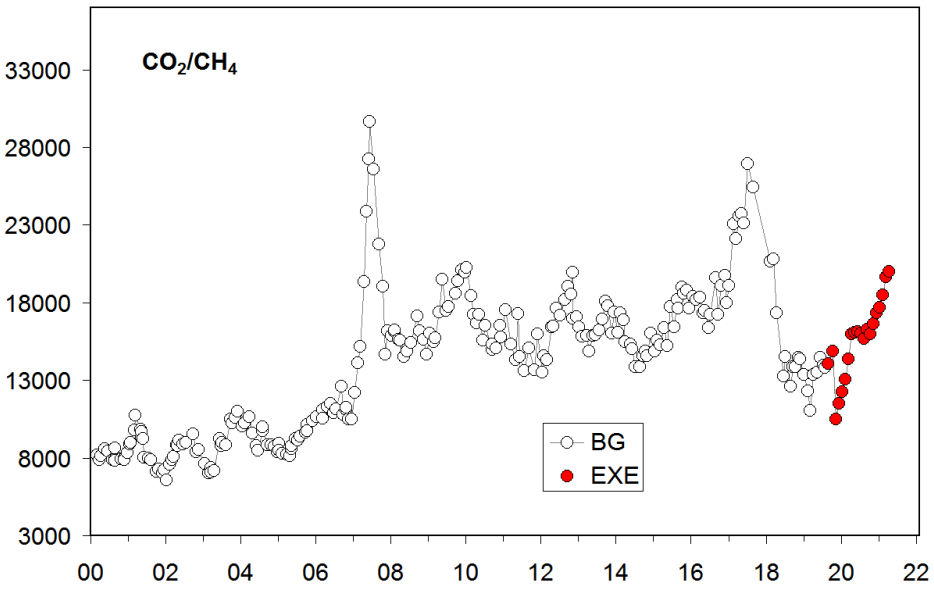

Figura 13 – Variazioni del rapporto CO_2/CH_4 per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni relativi all'esercitazione EXE-2019.

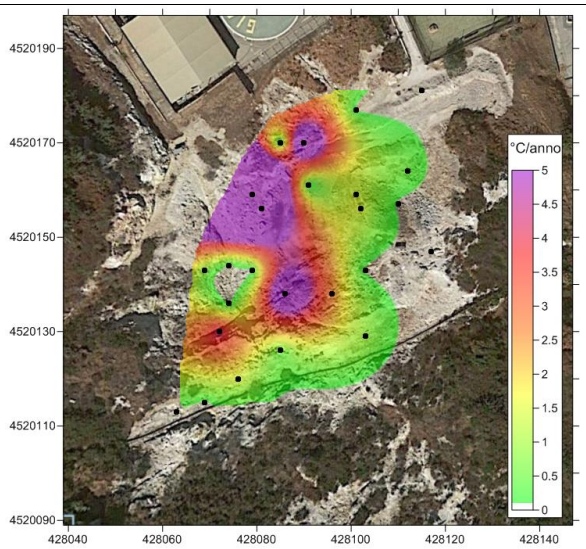

Figura 14 - Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ognuno dei 25 punti misurati a partire dal 2009. Va evidenziata l'estensione dell'anomalia termica nel periodo di interesse.

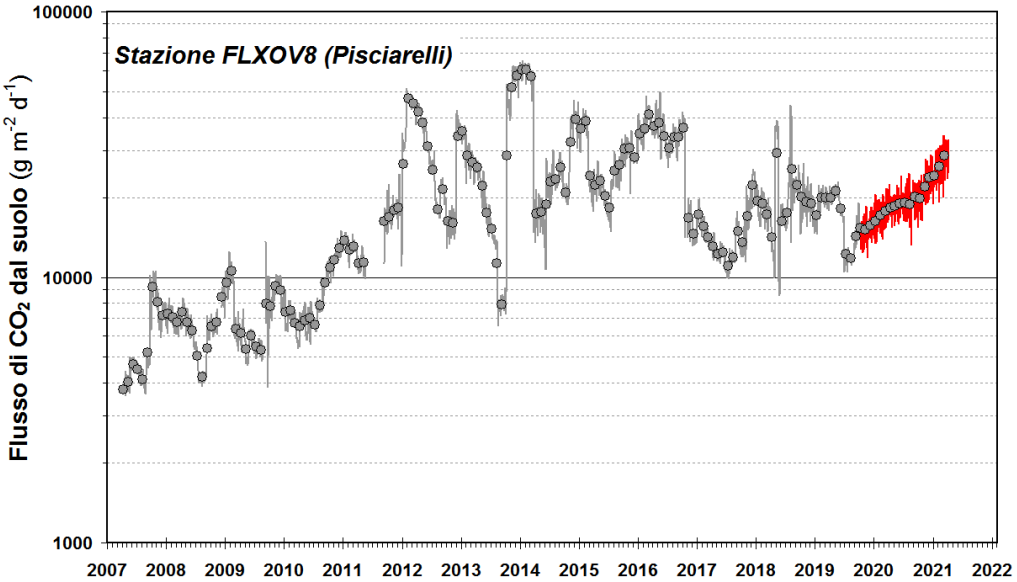

Figura 15 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO_2 misurati dalla stazione automatica a Pisciarelli. E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo a partire dal 2007 del flusso CO_2., che nel periodo di interesse ha raggiunto valori di circo 30000 $gm^{-2}d^{-1}$. Con la linea rossa sono evidenziati i dati relativi all'esercitazione EXE-2019.

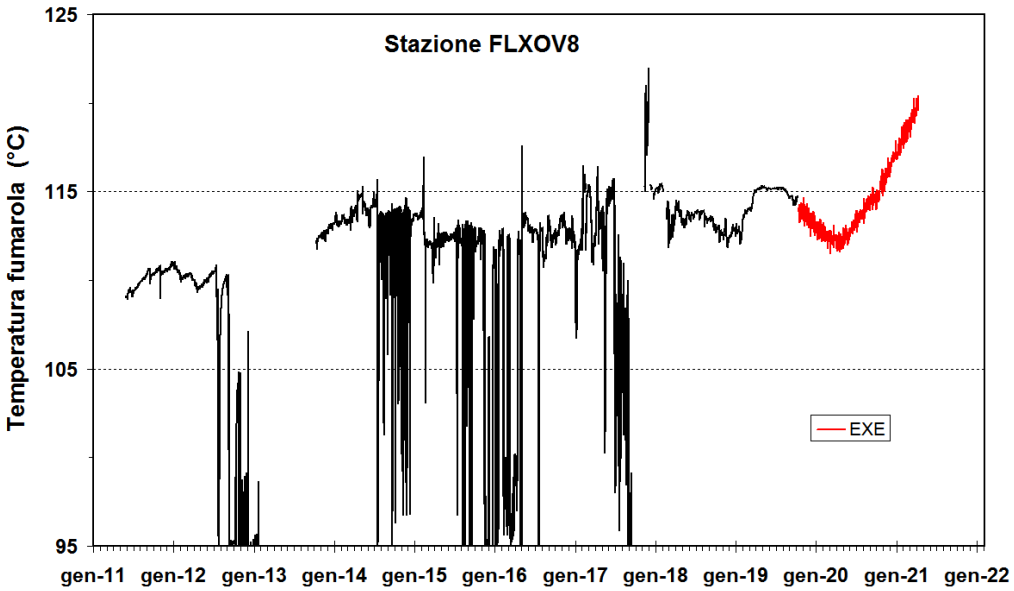

Figura 16 - Cronogramma delle temperature della fumarola principale di Pisciarelli registrate in continuo dal 2011. Va segnalato l'incremento di temperatura che ha raggiunto i 120 °C nel periodo di interesse. Con la linea rossa sono evidenziati i dati relativi all'esercitazione EXE-2019.

Vulcanologia

Rilievi di terreno, nell'area della Solfatara, hanno evidenziato l'apertura di nuovi vent fumarolici, di polle bollenti e di episodi di emissione di fango. I nuovi punti di emissione sono stati caratterizzati, cartografati ed i dati relativi inseriti in una piattaforma webgis.

Figura 17 - Polle bollenti e zone di emissione di fango all'interno del cratere della Solfatara; foto scattata dal bordo orientale del cratere.

Attività tecnico-scientifiche

Ordinaria attività di sorveglianza e monitoraggio vulcanologico. Osservazioni anche con ausilio di telecamera termica mobile, 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 delle deformazioni del suolo, soprattutto nell'area di Pozzuoli, e sismicità legata ad attività idrotermale. Aumento del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura di emissione dei gas nel settore Solfatara-Pisciarelli e aperture di nuovi vent fumarolici e polle bollenti.
Non si possono escludere aumenti del tasso di deformazione ed eventi sismici di magnitudo avvertibile dalla popolazione. Inoltre sono possibili incrementi di indicatori geochimici magmatici nel sistema idrotermale, nonché del flusso di CO_2 e della temperatura nell'area Solfatara-Pisciarelli, dove non si può escludere l'innescarsi fenomeni esplosivi freatici-idrotermali.

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