ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

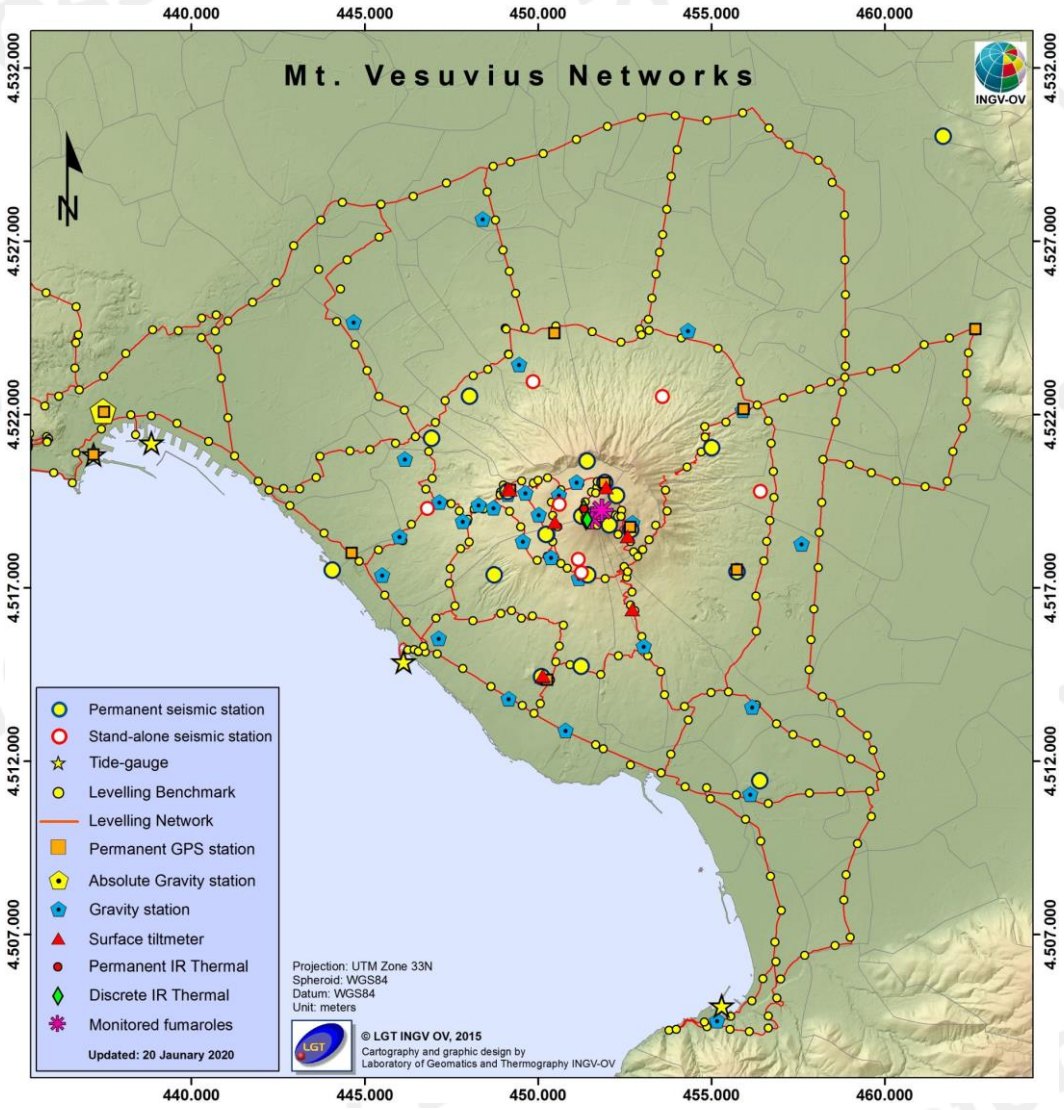
PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

SETTEMBRE 2022

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



SEZIONE DI NAPOLI
OSSERVATORIO
VESUVIANO

Via Diocleziano, 328 | 80124 Napoli | Italia | tel. +39.0816108483 | fax +39.0816100811
www.ov.ingv.it | aoo.napoli@pec.ingv.it | www.ingv.it

1. SISMOLOGIA

La Rete Sismica Permanente del Vesuvio è mostrata in Figura 1.1 ed è costituita da 18 stazioni.

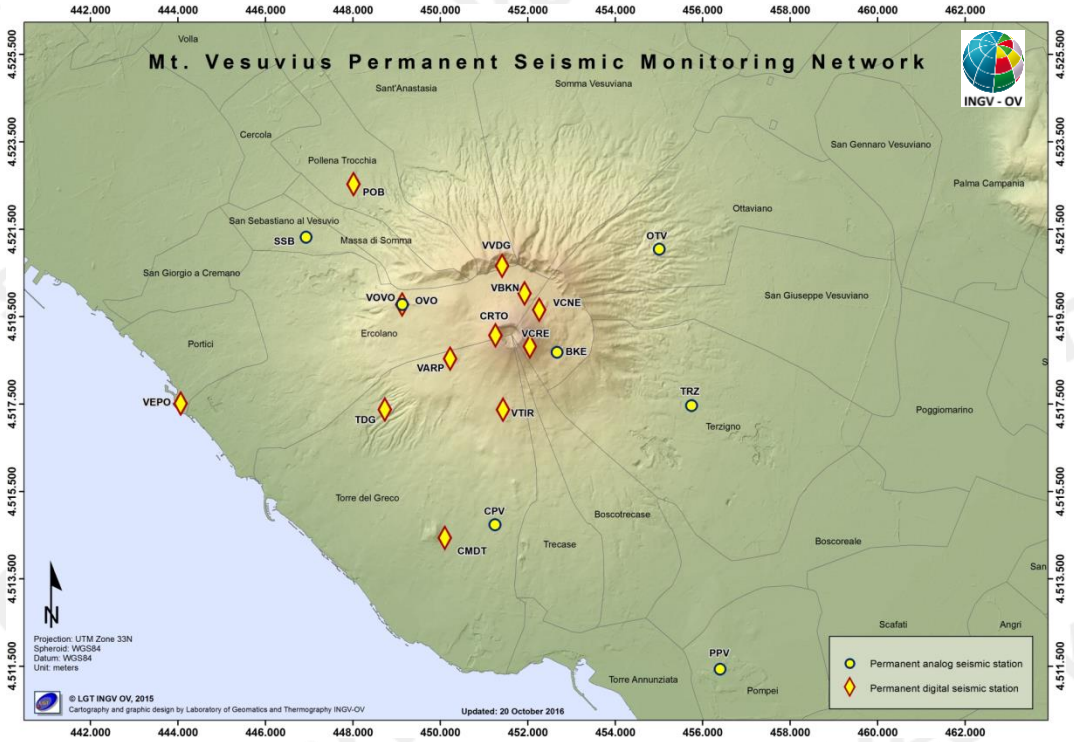


Figura 1.1 *- Mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

Nel corso del mese di settembre 2022, al Vesuvio, sono stati registrati 65 terremoti (Mdmax=2.3±0.3; evento del 02/09/2022 alle ore 12:39 UTC) (Fig. 1.2).
E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 56 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.3.

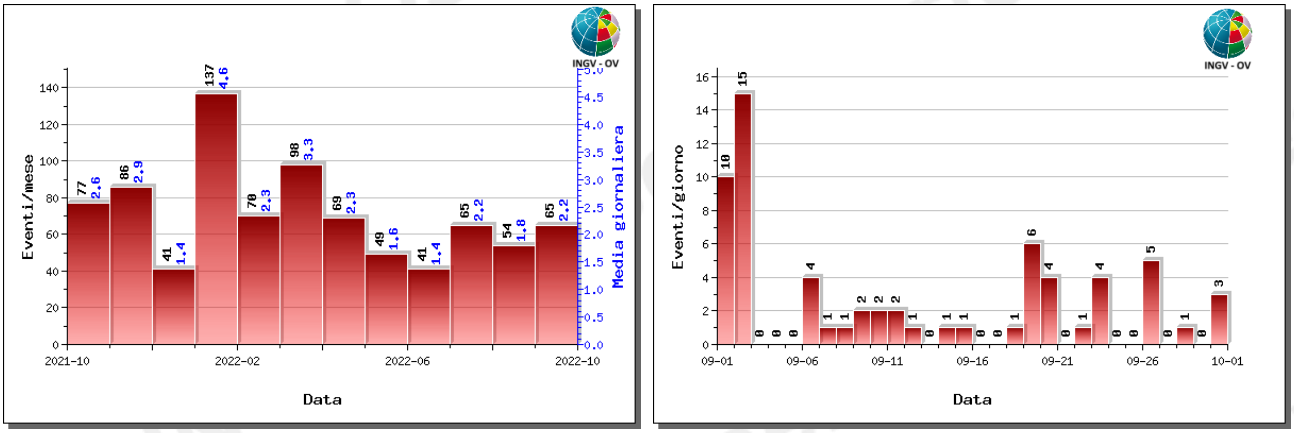


Figura 1.2 *- A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 892), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 54).*

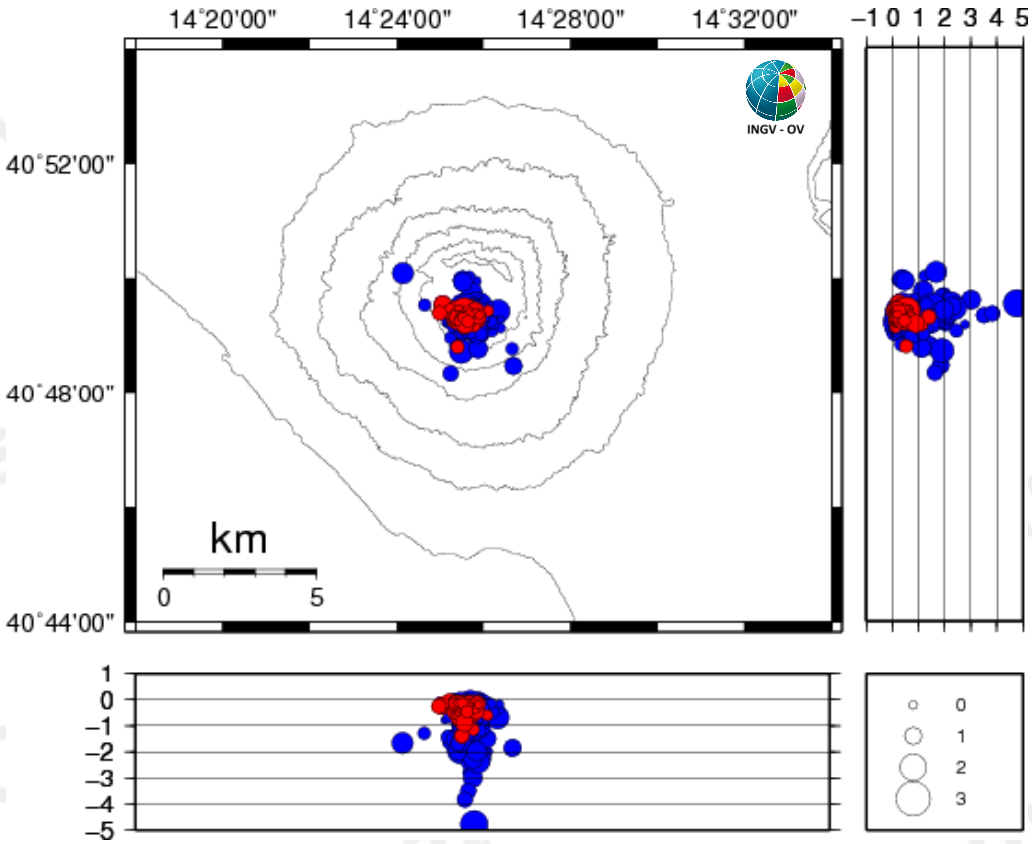


Figura 1.3 *- Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.*

L'analisi dei dati non evidenzia variazioni significative nei parametri sismologici (Figg. 1.2-1.6).

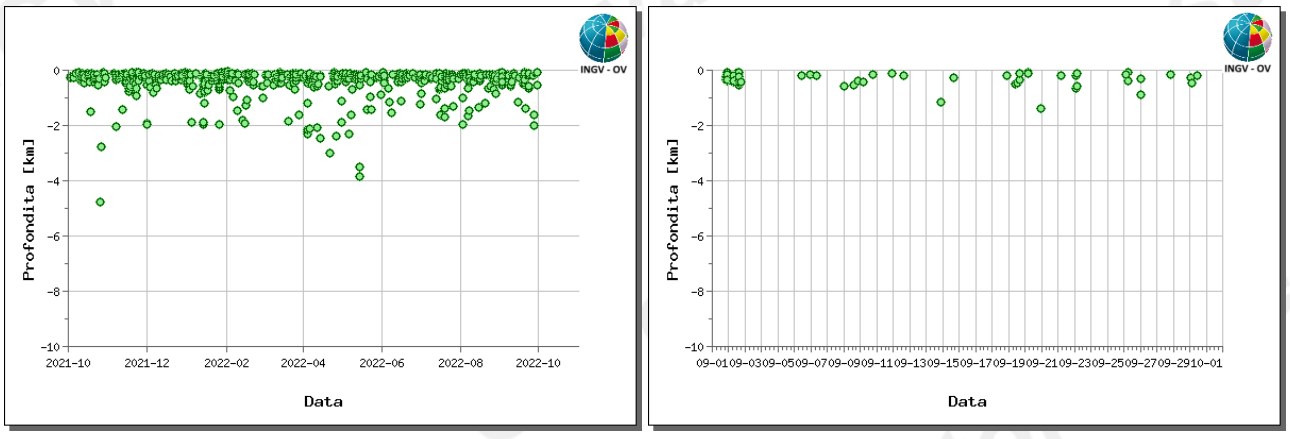


Figura 1.4 *- Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

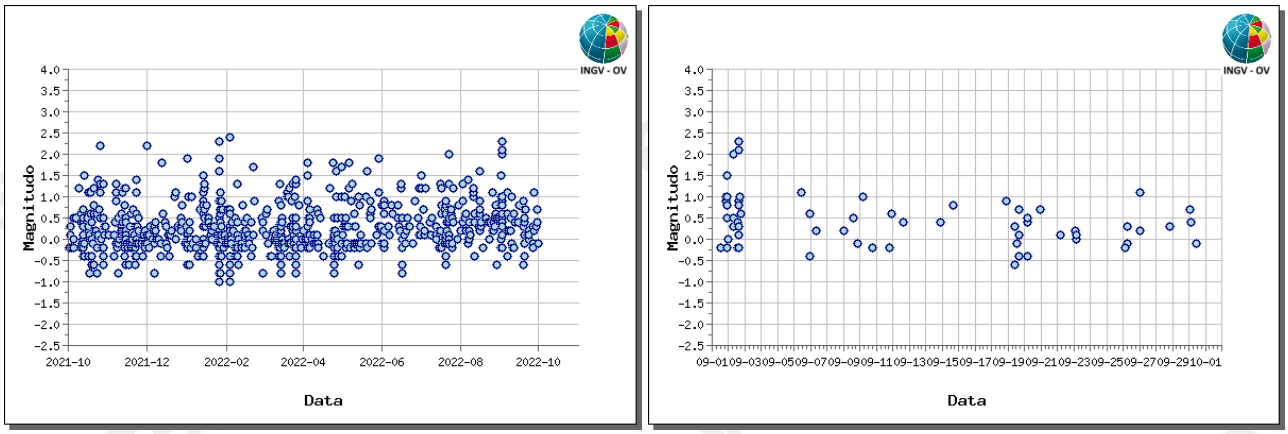


Figura 1.5 *- Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

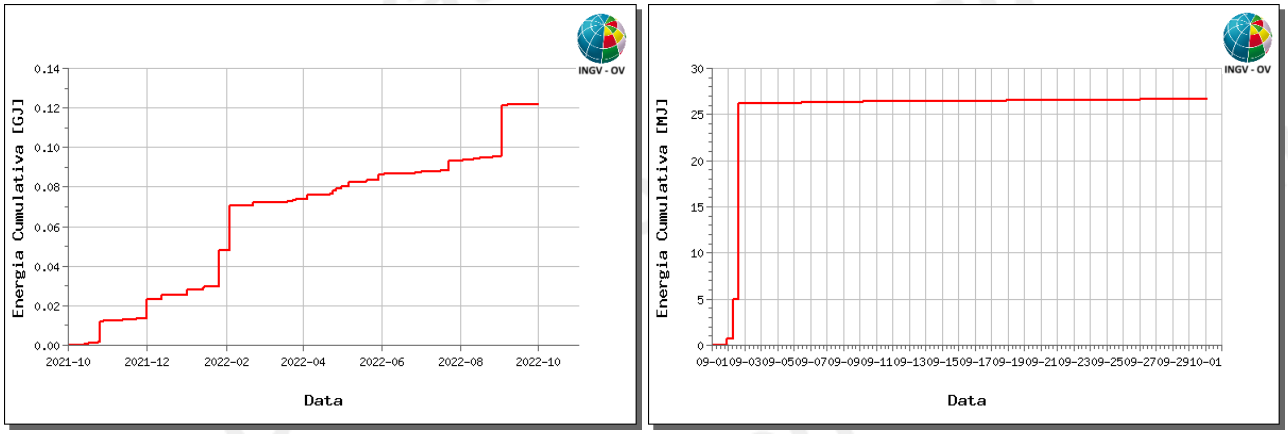


Figura 1.6 *- Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

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

Tabella 1.1 – *Riepilogo mensile della sismicità registrata al Vesuvio, suddivisa per classi di magnitudo, e relative percentuali.*

Numero totale terremoti: 65		**M_{dmax}=2.3±0.3**
Numero terremoti con **Md < 0.0**	16	(24.62%)
Numero terremoti con **0.0 ≤Md< 1.0**	39	(60.00%)
Numero terremoti con **1.0 ≤Md< 2.0**	7	(10.77%)
Numero terremoti con **Md ≥ 2.0**	3	(4.62%)

In Figura 1.7 è rappresentata la frequenza di accadimento dei terremoti registrati al Vesuvio dal 1972 e la relativa energia cumulativa.

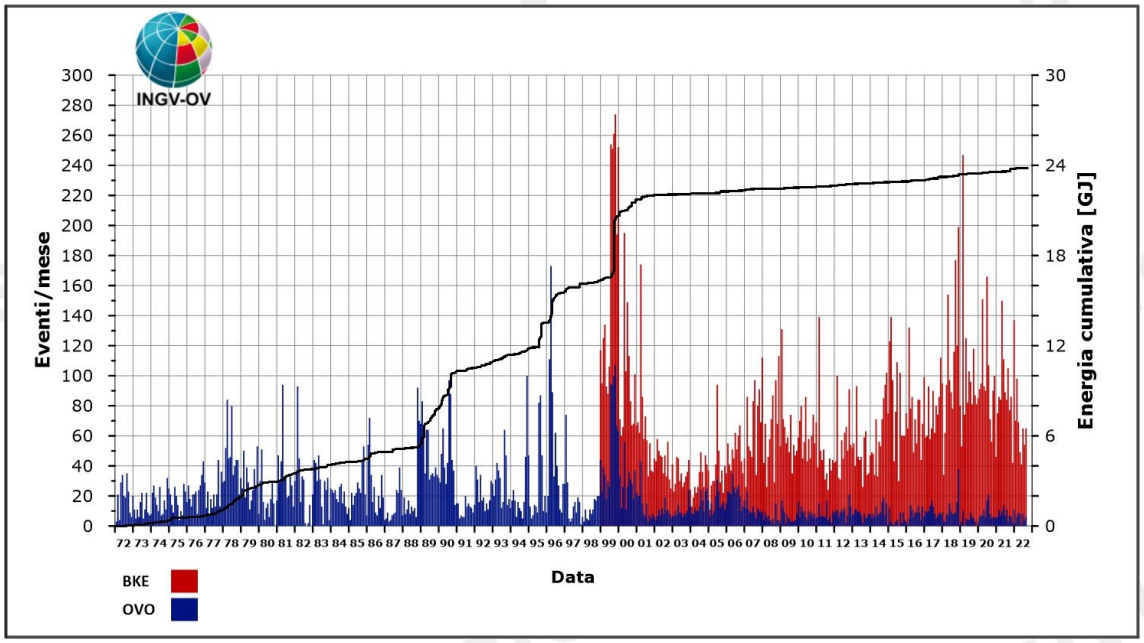


Figura 1.7 *– Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.*

Da questa figura si può osservare come l'incremento del numero di eventi registrato negli ultimi anni sia legato essenzialmente ad una sismicità di bassa energia confinata nell'area craterica e rilevabile alla stazione OVO (Sede Osservatorio Vesuviano) solo in alcune occasioni.

2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

2.1 GNSS

In Figura 2.1.1 è mostrata la Rete GNSS Permanente operativa al Vesuvio con 8 stazioni ubicate sull'edificio vulcanico.

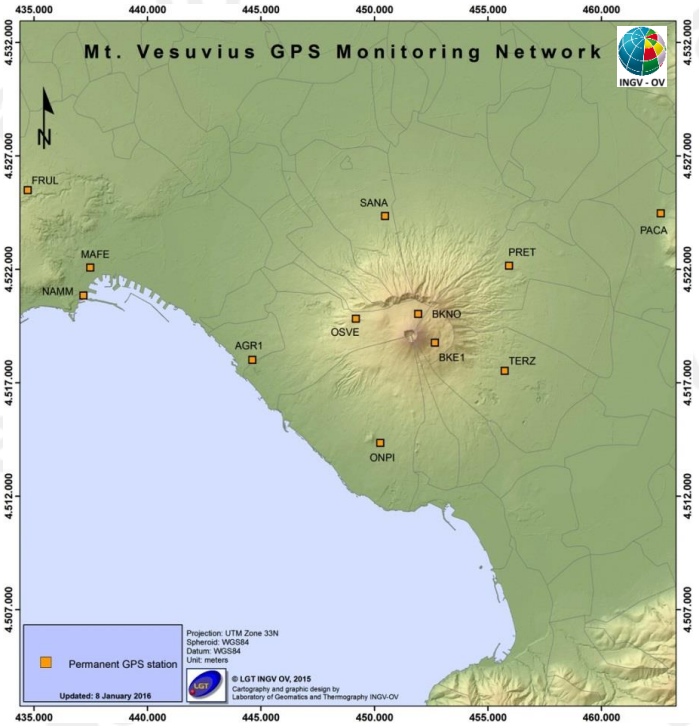


Figura 2.1.1 *- Rete GNSS Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

Dall'analisi dei dati GNSS non si evidenziano deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici. Le sole stazioni GNSS ubicate nella parte alta dell'edificio vulcanico mostrano una significativa subsidenza e spostamenti orizzontali coerenti con una fase di contrazione del Gran Cono (Figura 2.1.2), verosimilmente dovuta ad effetti gravitativi e processi di compattazione e/o scivolamento di terreni poco coerenti ed in forte pendenza.

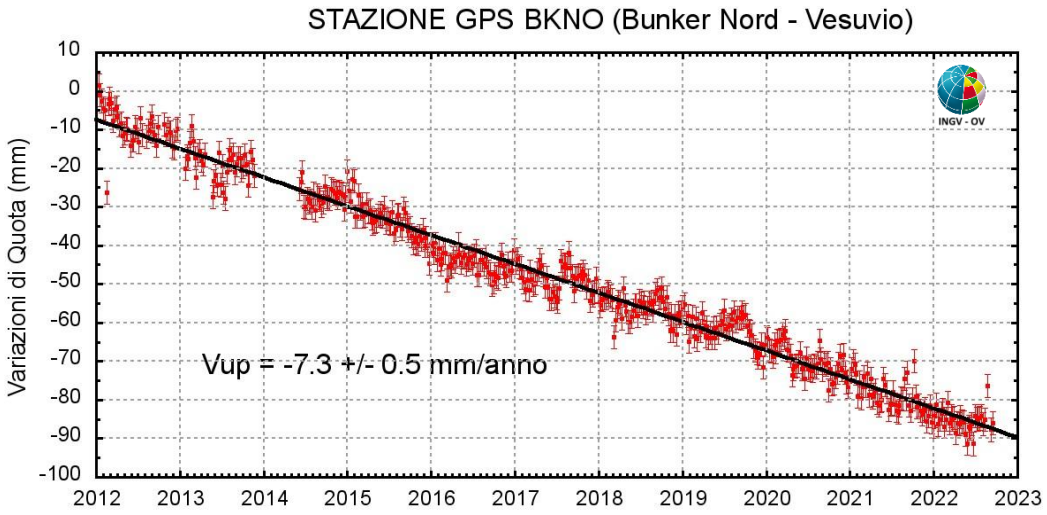


Figura 2.1.2 *- Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a settembre 2022.*

2.2 Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni (Fig. 2.2.1) di cui 3 equipaggiate con sensori analogici di superficie (OVO, CMD, ROV) e 4 con sensori digitali da pozzo (IMB, TRC, CMT, CMG installati a 25 m di profondità).

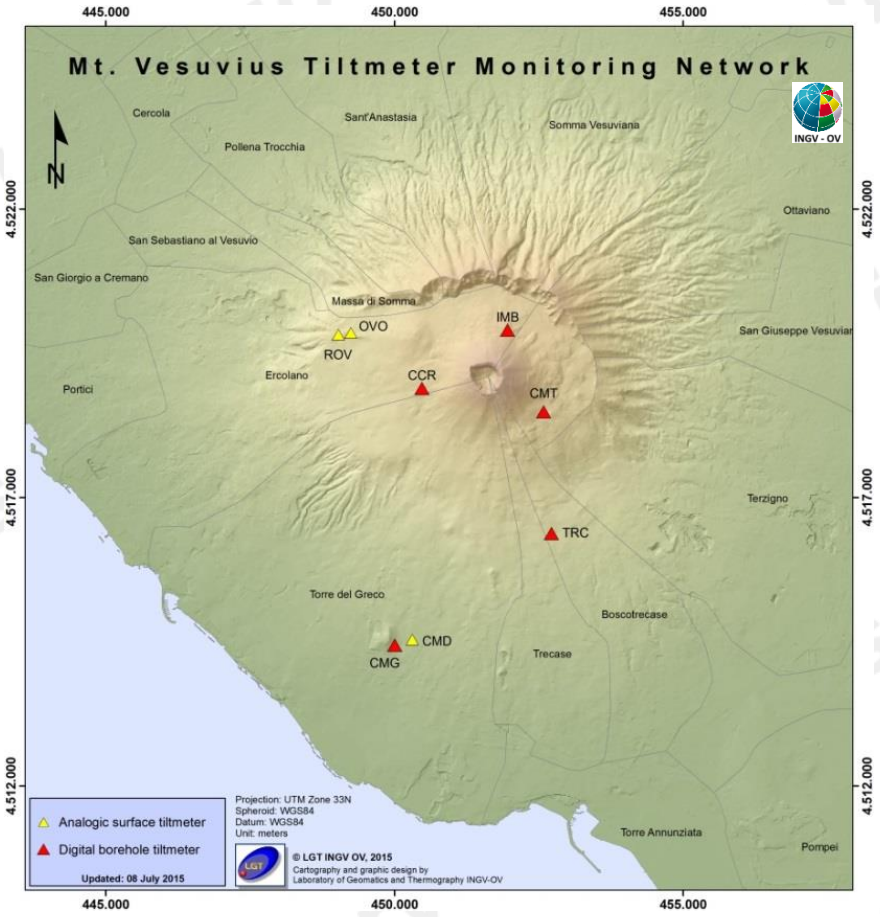


Figura 2.2.1 *– Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

La variazione tiltmetrica osservata al Vesuvio nel 2022 avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni (Figura 2.2.2).

Le 3 direzioni prevalenti di tilting registrate nel mese di settembre sono WNW a CMG, NNW a TRC, WSW a CMT. I trend tiltmetrici di lungo periodo indicano una generalizzata subsidenza dell'edificio vulcanico ma ad essi si aggiungono periodicamente degli scostamenti delle direzioni di tilt dovuti in parte ad effetti locali.

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.

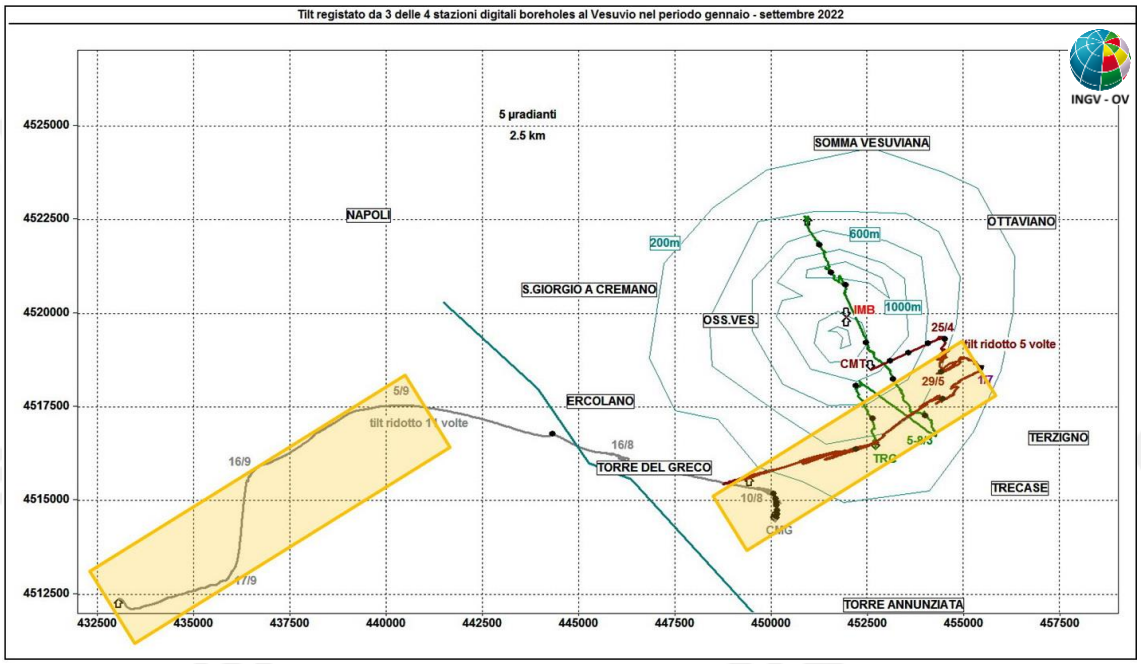


Figura 2.2.2 *– Pattern tiltmetrico osservato al Vesuvio. Per comodità di rappresentazione grafica e per una interpretazione più agevole, sono state selezionate in tale figura solo le 4 stazioni "borehole" con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 5 µradianti o 2.5 km ed i pallini neri sovrapposti sui vettori tilt marcano intervalli di 1 mese. Le date riportate sui segnali indicano le variazioni tiltmetriche più significative osservate nel corso dell'anno. Data la notevole ampiezza delle oscillazioni registrate a CMT fino al 25/4, queste ultime sono state sostituite con una linea continua che ne rappresenta il tilt totale, mentre da tale data il plot rappresenta la reale deformazione tiltmetrica. Il plot complessivo di CMT è stato inoltre ridotto graficamente di 5 volte per una migliore visualizzazione. Poiché CMG registra anch'essa una variazione tiltmetrica notevole dal 10 agosto, si è provveduto a ridurne il plot di 11 volte. Le aree colorate indicano le maggiori variazioni di tilt osservate a CMT e CMG.*

Nella Tabella seguente sono riportati i valori di inclinazione del suolo, le rispettive direzioni del tilting e la variazione di temperatura registrata a fondo pozzo (≈ -25 m dal p.c.) acquisiti nel mese in corso. Il sensore della stazione IMB è attualmente in manutenzione.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	12.9 µradianti a NNW	0.07 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	*(sensore in manutenzione)*	*(sensore in manutenzione)*
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	378 µradianti a WSW	-0.04 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	42.5 µradianti a WSW	0.00 °C

Nella figura successiva (2.2.3) viene riproposto il Plot di Fig. 2.2.2 nelle sue dimensioni reali, pertanto il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 50 µradianti o 2.5 km. Le frecce colorate, traslate in corrispondenza dei 2 punti stazione e corrispondenti alle aree del Plot di Fig. 2.2.2 evidenziano i periodi in cui sia CMT che CMG si inclinano entrambe a WSW. E' evidente come sia già presente un tilt notevole in direzione WSW dal 1 luglio alla stazione CMT, seguito 2 mesi dopo (5/9) a CMG da un tilt sempre verso WSW ma ancora maggiore.
In realtà l'anomalia osservata a CMG inizia già dal 10/8 e si manifesta con una forte inclinazione a WNW che successivamente prosegue con un cambiamento di direzione prima il 5/9 e poi dal 16/9, con una entità tale da mandare fuori scala la componente NS del sensore (successivamente riequilibrata da remoto).

Il fenomeno, oggetto di studio, può essere spiegato o in termini di spostamento verticale con una subsidenza di decine di cm nel settore sudoccidentale del Vesuvio oppure, in generale, con una o più anomalie legate alle precipitazioni pomeridiane che hanno interessato il comprensorio vesuviano già dalla seconda decade di agosto, anche se in tal caso sia l'ampiezza che la direzione dei tilting osservati sembrano enormi qualora essi fossero dovuti e/o innescati da eventi piovosi.
E' inoltre di interesse scientifico la comparsa sul segnale di CMG di oscillazioni non mareali, ben visibili sulla componente NS ma presenti anche su quella EW, dal 13/6 al 10/9 e cioè quando l'anomalia tilmetrica tende a polarizzarsi in direzione WNW (Fig. 2.2.3).
Tali oscillazioni furono già riscontrate alla stessa stazione dal 23/5 al 11/7/2017 ma proseguirono in modo intermittente fino ad agosto di quell'anno.

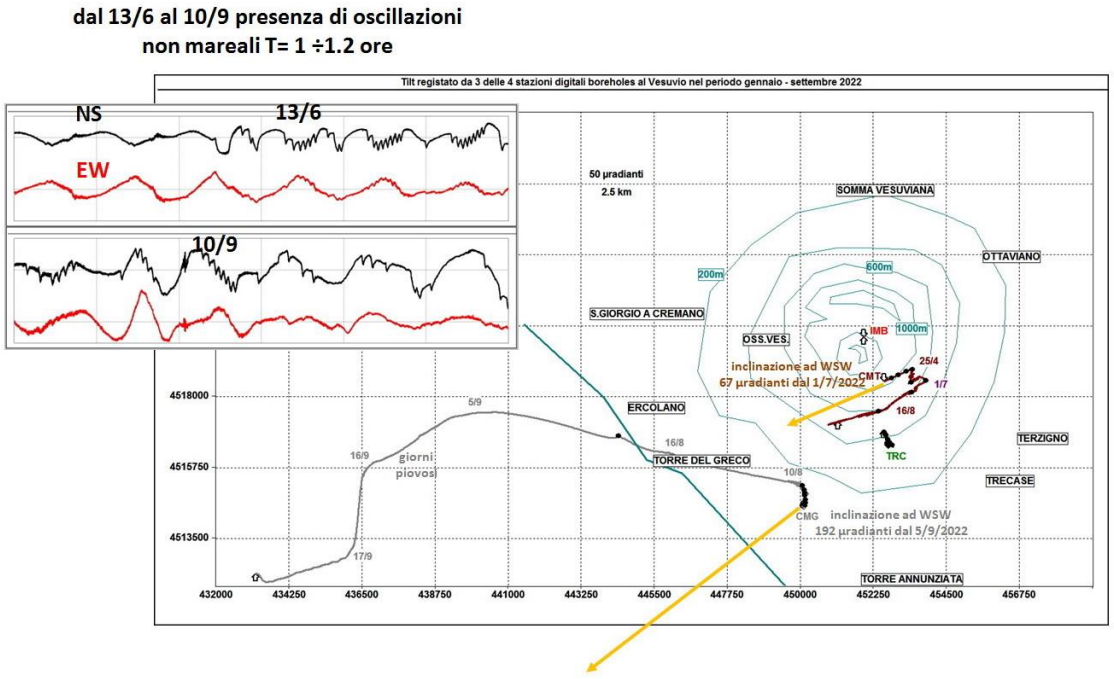


Figura 2.2.3 *- Pattern tiltmetrico reale osservato al Vesuvio. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 50 µradianti o 2.5 km. Le frecce colorate rappresentano la direzione verso la quale si inclina il suolo.*
Inoltre, nella finestra in alto a sinistra sono rappresentati i segnali NS ed EW della stazione CMG in cui sono evidenti delle oscillazioni non mareali che durano circa 3 mesi e che furono osservate solo nel 2017.

In Figura 2.2.4 sono riassunti gli andamenti temporali delle componenti tiltmetriche (filtrate dalle periodicità giornaliere) e termica registrate da 3 delle 4 stazioni borehole.
Per evidenziare la continuità dei segnali, il periodo di tempo rappresentato parte dal 1° gennaio 2021; inoltre, poiché i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da tale data.

Componenti NS del tilt: nel mese corrente TRC si inclina verso N, CMT verso S mentre CMG si inclina prima a N fino al 4-5 settembre e poi è soggetta ad un tilting reversal in direzione S.

Componenti EW del tilt: nel mese corrente TRC, CMT e CMG si inclinano tutte a W ma con gradiente basso a TRC, alto a CMT e molto elevato a CMG.

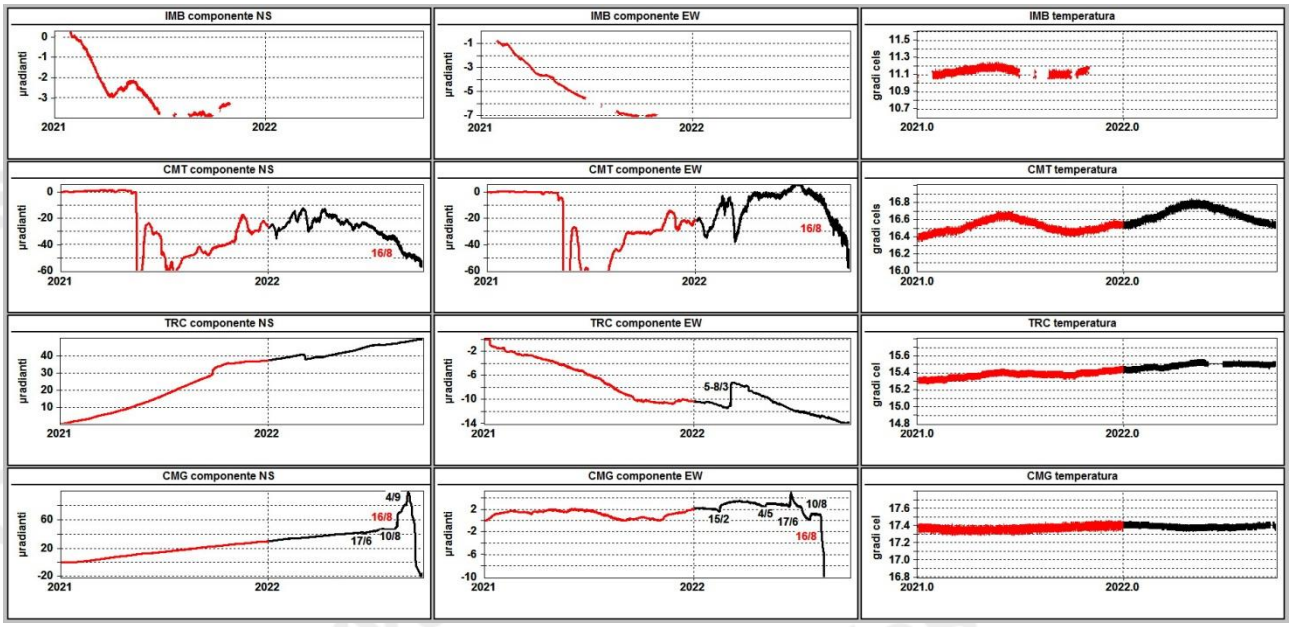


Figura 2.2.3 *– Serie temporali dei segnali registrati dalle 4 stazioni "borehole" della rete vesuviana a partire dal 2021 ordinati dal basso verso l'alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in µradianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente la variazione di inclinazione del suolo a N e ad E, mentre la terza colonna riporta la temperatura in °C registrata da ogni sensore. In rosso sono riportati i segnali relativi al 2021 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2022. Le date riportate sui segnali indicano le variazioni tiltmetriche più significative osservate nel corso dell'anno.*

2.3 Mareometria

N.B. Nel presente Bollettino non sono riportate le informazioni relative alla Mareometria del Vesuvio in quanto, a partire dal mese di giugno 2021, è in atto una riorganizzazione dell'intera Rete Mareografica che verrà inserita a pieno titolo nelle infrastrutture di monitoraggio marino in corso di potenziamento.

Appena completata la nuova organizzazione, i contributi relativi alla Rete Mareografica torneranno ad essere presenti nei Bollettini di Sorveglianza.

3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

3.1 Rete Permanente Monitoraggio Termico ad Immagine

La stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico (TIRNet) VES1 acquisisce immagini all'infrarosso del versante interno sud occidentale del cratere del Vesuvio (Fig. 3.1.1; Sansivero et al., 2013).

Figura 3.1.1 *- Ubicazione della stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine (TIRNet) operante al Vesuvio. Punto giallo: posizione della stazione; base del triangolo: area campionata.*

La stazione, nella sua configurazione strumentale attuale, è stata installata nel 2013. Nella seconda metà del mese di giugno 2019 è stato effettuato un intervento di manutenzione straordinaria che ha riguardato, tra l'altro, la sostituzione della termocamera. La nuova termocamera con risoluzione geometrica di 640 x 480 pixel restituisce una immagine termografica con risoluzione spaziale quattro volte superiore rispetto alla precedente che era equipaggiata con un sensore radiometrico di 320 x 240 pixel.

In figura 3.1.2 è riportata l'elaborazione delle serie temporali relative alle acquisizioni notturne effettuate con le due differenti termocamere.
Il risultato di tali elaborazioni è rappresentato dalle serie temporali dei valori di temperatura massima delle immagini IR ottenute mediante processamento effettuato con l'utilizzo dell'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition) implementato nel software A.S.I.R.A.

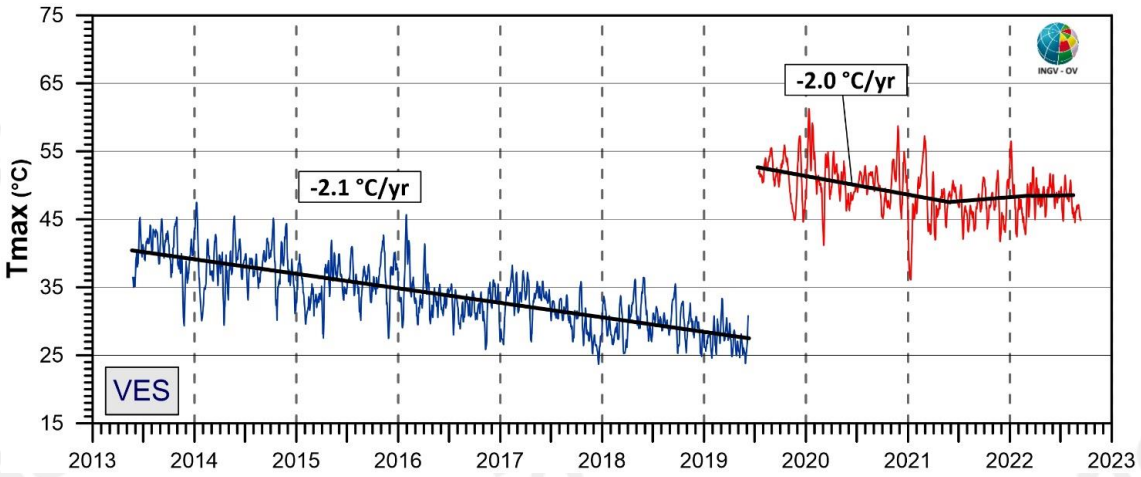


Figura 3.1.2 *- Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo BR [medie settimanali termocamera 320x240 (blu); medie settimanali termocamera 640x480 (rosso)]; fit lineare (nero).*

A partire da maggio 2021 si interrompe il trend in costante diminuzione, durato circa 8 anni, e le temperature massime mostrano un andamento caratterizzato da sensibili oscillazioni e con un lieve aumento della temperatura media fino a febbraio 2022. Da marzo 2022 si osserva un andamento sostanzialmente stabile che permane anche nel mese di settembre 2022.

3.2 Monitoraggio Termico con Termocamera Mobile e Termocoppia

A causa delle avverse condizioni meteorologiche, non è stato possibile effettuare le misure nei giorni programmati.

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di settembre 2022 ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO_2 dal suolo, della temperatura della fumarola principale e del gradiente di temperatura del suolo tramite la stazione multiparametrica FLXOV6, installata in area bordo cratere (settore SW, Fig. 4.1);
- il campionamento delle fumarole di bordo cratere;
- l'esecuzione di misure di flusso di CO2 dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati in area di Bordo Cratere.

Figura 4.1 *- Ubicazione delle stazioni multiparametriche FLXOV6 e FLXOV7, e dei siti oggetto delle attività di sorveglianza geochimica in area craterica. In particolare, sono riportate le principali fumarole di bordo cratere (B1-B3) e di fondo cratere (FC2, FC5), sono inoltre riportati i punti fissi per la misura del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura del suolo, in area bordo cratere (simboli bianchi).*

Nel mese di settembre 2022 sono state campionate e analizzate le fumarole di bordo cratere. La composizione costituita essenzialmente da una miscela di aria e del componente idrotermale profondo (Caliro et al., 2011), nei campioni prelevati (fumarole B1 e B3) non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 4.2).

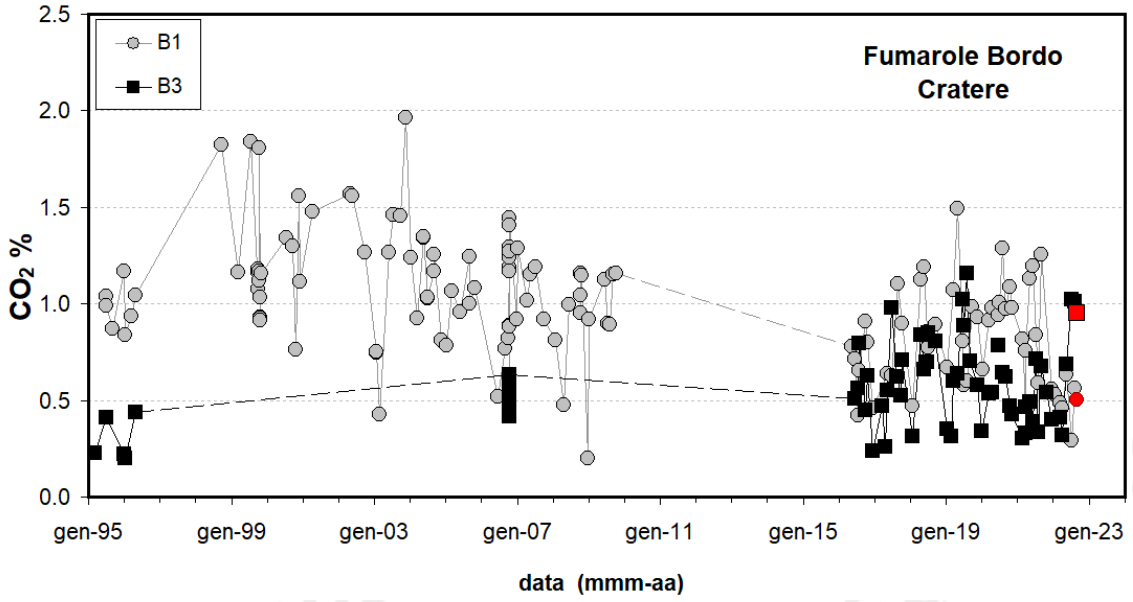


Figura 4.2 *- Cronogramma della concentrazione di CO_2 delle fumarole di bordo cratere B1 (area anemometro) e B3 (settore SW). I campioni delle fumarole B1 e B3 del mese di settembre 2022 sono riportati con il simbolo rosso.*

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (FLXOV6, settore SW), misura: il flusso di CO_2 dal suolo (ogni due ore), gradiente di temperatura nel suolo, temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area, pressione atmosferica e temperatura dell'aria (ogni 10 minuti). I parametri rilevati nel periodo di interesse, non hanno mostrato variazioni significative (Fig. 4.3). Le lievi variazioni osservate sono da mettersi in relazione a variazioni stagionali e a particolari eventi meteorologici (pioggia, vento forte, bassa pressione, temperatura atmosferica etc.).

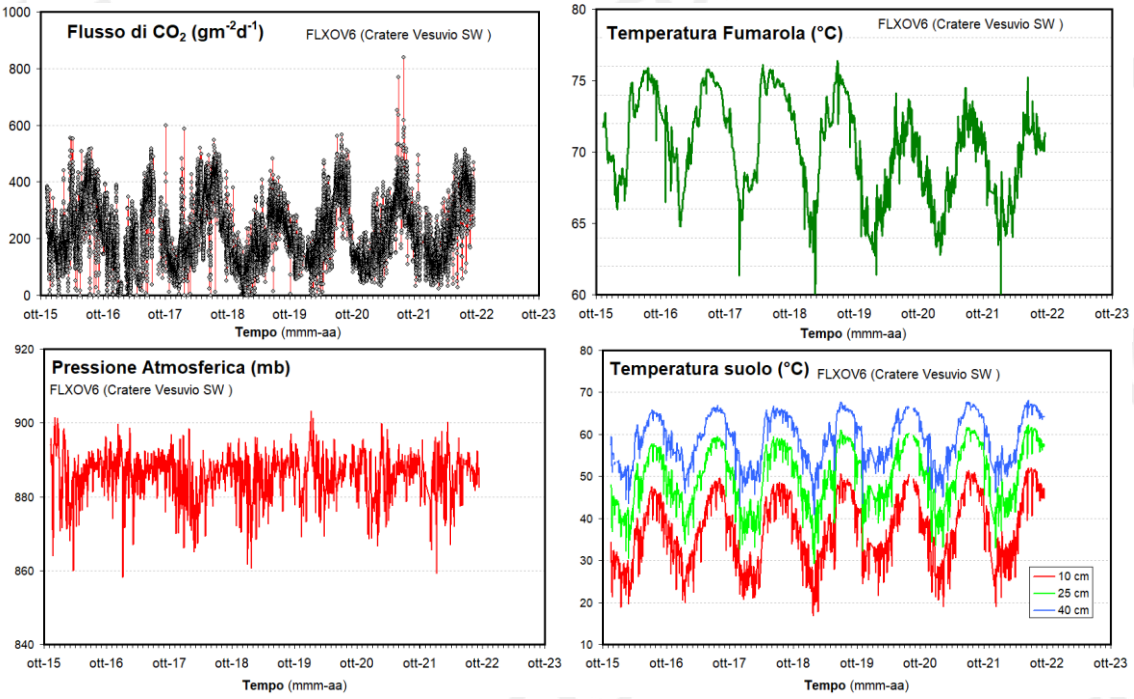


Figura 4.3 *- Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO_2 dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.*

La stazione (FLXOV7) di fondo cratere fortemente danneggiata da una frana e dagli eventi meteorologici non è più riparabile e sarà sostituita con nuovo tipo stazione. Sono in corso le attività per il ripristino della funzionalità del sito di monitoraggio. La nuova tipologia di stazioni andrà nel tempo a sostituire le stazioni della rete geochimica.

5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI SETTEMBRE 2022 E VALUTAZIONI

1) SISMOLOGIA: Al Vesuvio permane una sismicità di fondo con 65 terremoti registrati (M_{dmax}=2.3±0.3) di cui 56 localizzati prevalentemente in area craterica con profondità che non superano 1.5 km.
2) DEFORMAZIONI: Dai dati GPS e Tiltmetrici non si osservano deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche.
3) TERMOGRAFIA: I dati della telecamera termica permanente evidenziano un andamento sostanzialmente stazionario della temperatura media.
4) GEOCHIMICA: Le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul bordo del cratere.

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.

Bibliografia

Bellucci Sessa, E., Borriello G., Cirillo F. & Working Group NAPLES (2022). NAPLES (moNitoring mAps of camPania voLcanoES) (1.0) [Data set]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.5886962.

Berrino G. (2000). Combined gravimetry in the observation of volcanic processes in Southern Italy. Journal of Geodynamics, 30(3), 371-388.

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

Del Pezzo E., Bianco F. (2013). Inside Mt. Vesuvius: a new method to look at the seismic (velocity and attenuation) tomographic image. Annals of Geophysics, Vol 56, n. 4: p. S0443, nov. 2013. ISSN2037-416X. 2013. doi: 10.4401/ag-6449.

Del Pezzo E., Chiodini G., Caliro S., Bianco F., Avino R. (2013). New insights into Mt. Vesuvius hydrothermal system and its dynamic based on a critical review of seismic tomography and geochemical features. Annals of Geophysics, Vol 56, n. 4p. S0444, nov. 2013. ISSN 2037-416X. doi:10.4401/ag-6450.

De Siena L., Del Pezzo E., Bianco F., Tramelli A. (2009). Multiple resolution seismic attenuation imaging at Mt. Vesuvius. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 173, 17 – 32

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., Cusano P and Madonia P. (2021). Tracking the recent dynamics of Mt. Vesuvius from joint investigations of ground deformation, seismicity and geofluid circulation. Sci Rep 11, 965 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-020-79636-w

Sansivero F., Scarpato G. and G. Vilardo (2013). The automated infrared thermal imaging system for the continuous long-term monitoring of the surface temperature of the Vesuvius crater. Annals of Geophysics, 56, 4, S0454; doi:10.4401/ag-6460.

Scarpa R., Tronca F., Bianco F. and E. Del Pezzo, (2002). High resolution velocity structure beneath Mt. Vesuvius from seismic array data. Geophys. Res. Lett., 29, no 21, 2040 doi:10.1029/2002GL015576.

Responsabilità e proprietà dei dati

L'INGV, in ottemperanza a quanto disposto dall'Art.2 del D.L. 381/1999, svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale, provvedendo alla organizzazione della rete sismica nazionale integrata e al coordinamento delle reti sismiche regionali e locali in regime di convenzione con il Dipartimento della Protezione Civile.

L'INGV concorre, nei limiti delle proprie competenze inerenti la valutazione della Pericolosità sismica e vulcanica nel territorio nazionale e secondo le modalità concordate nella convenzione biennale attuativa per le attività di servizio in esecuzione dell'Accordo Quadro tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'INGV (Periodo 2022-2025), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato Tecnico 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 arrecati 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.