ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

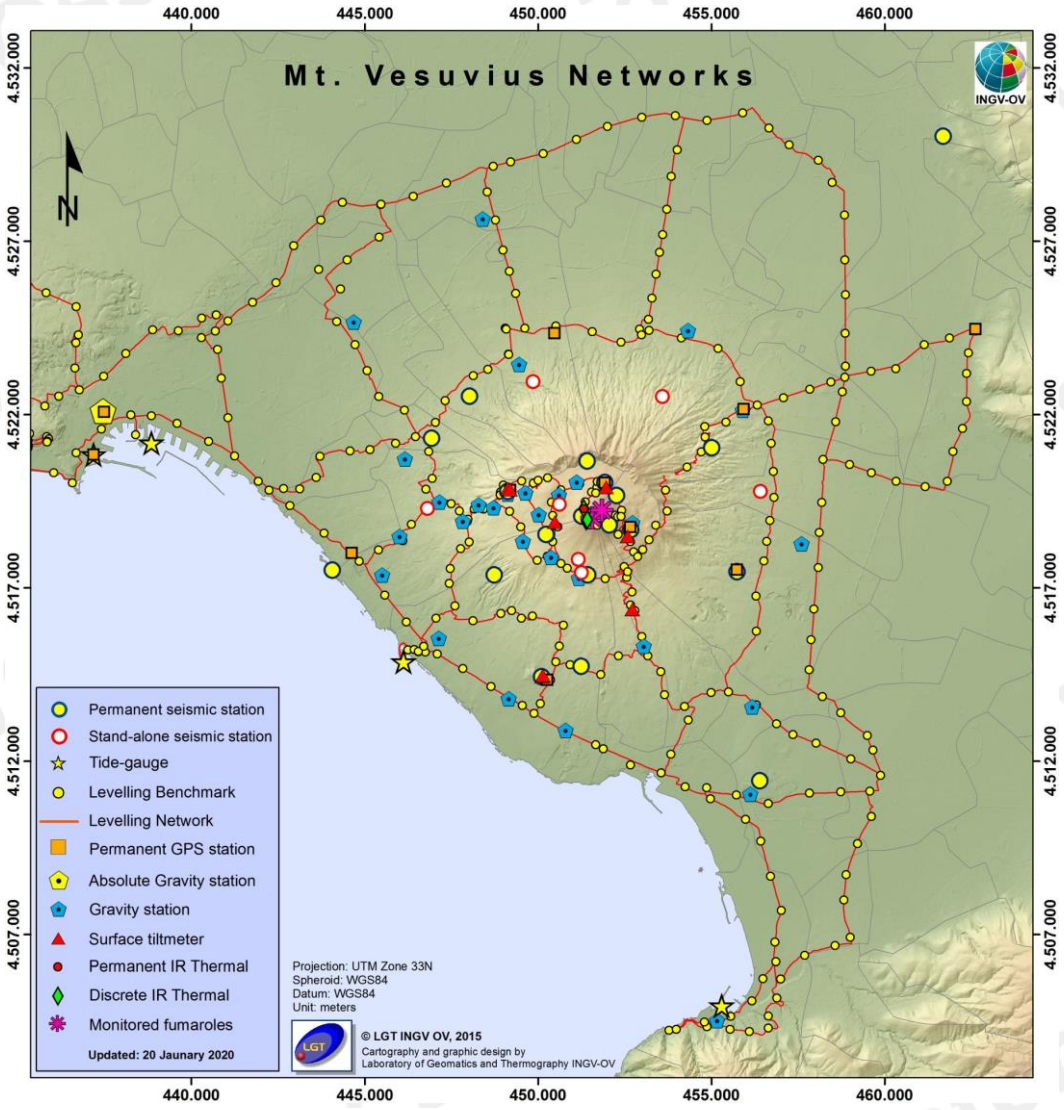
PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

GIUGNO 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.

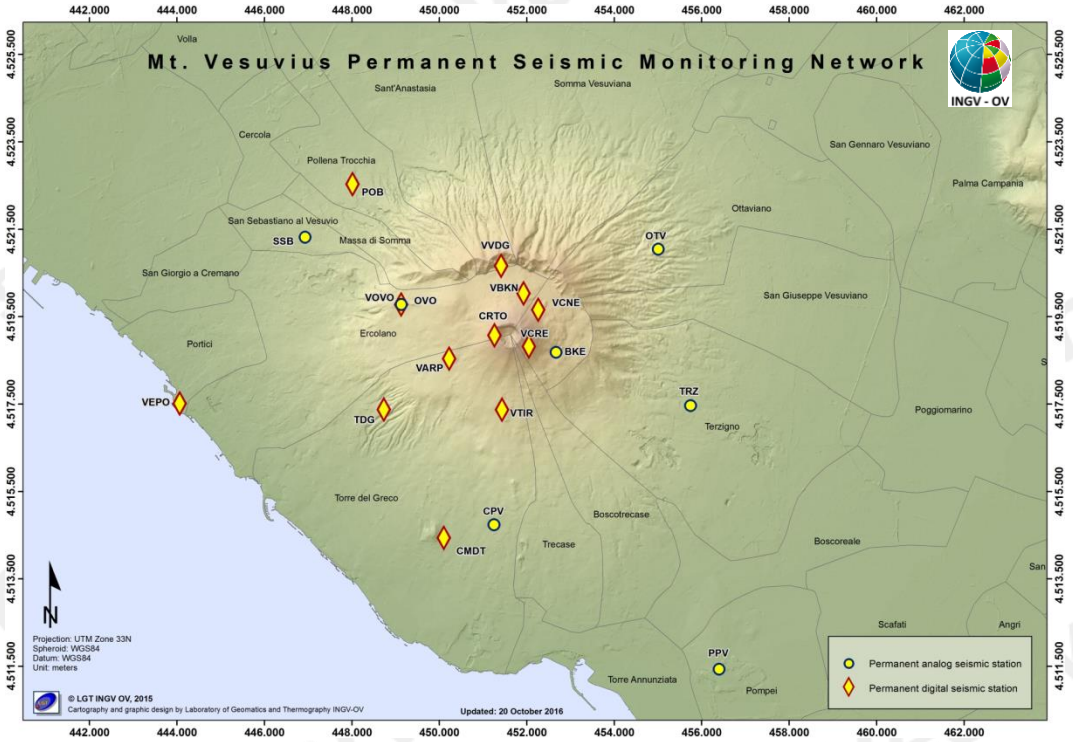


Figura 1.1 *- Mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

Nel corso del mese di giugno 2022, al Vesuvio, sono stati registrati 41 terremoti (Mdmax=1.3±0.3; evento del 16/06/2022 alle ore 12:01 UTC) (Fig. 1.2).
E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 32 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.3.

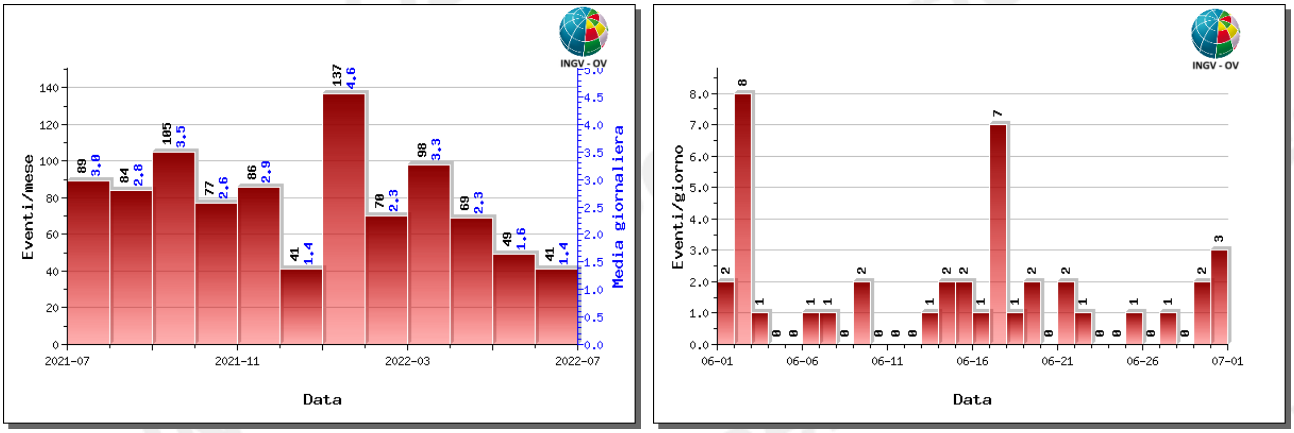


Figura 1.2 *- A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 946), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 41).*

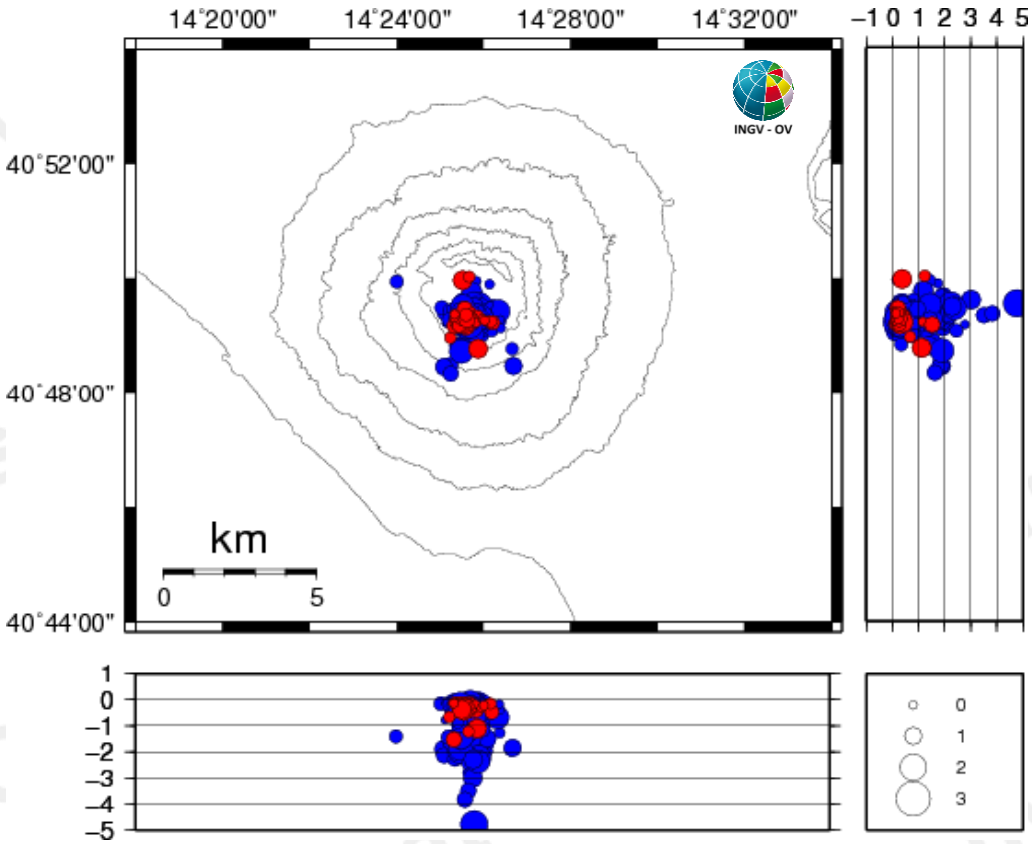


Figura 1.3 *- Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.*

Non si evidenziano andamenti significativi nei parametri sismologici (Figg. 1.2-1.6).

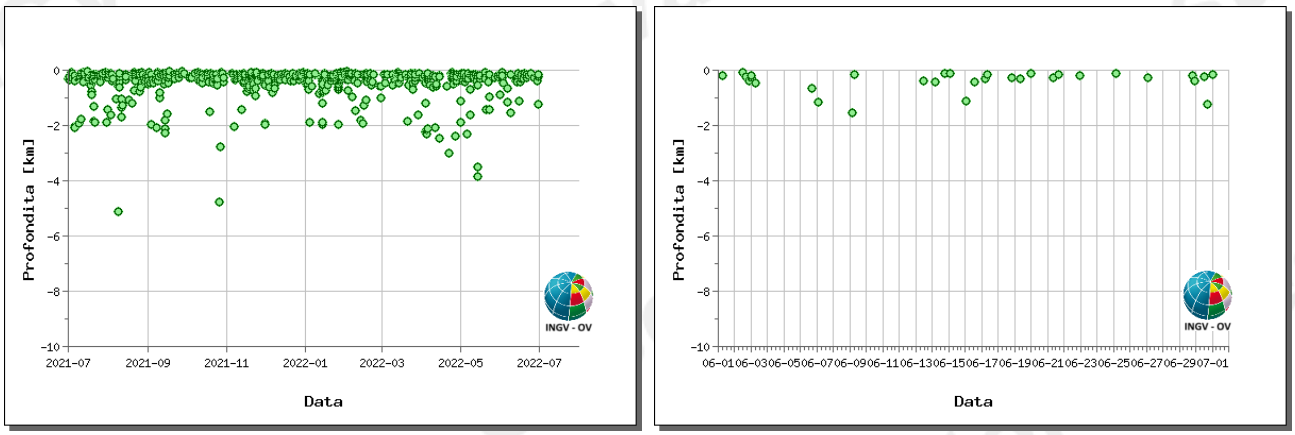


Figura 1.4 *- Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

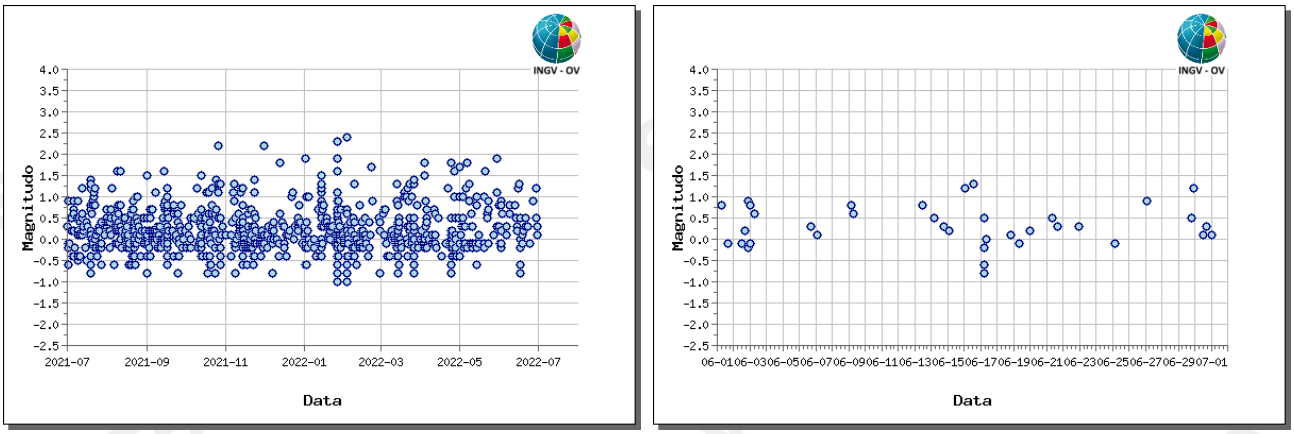


Figura 1.5 *- Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

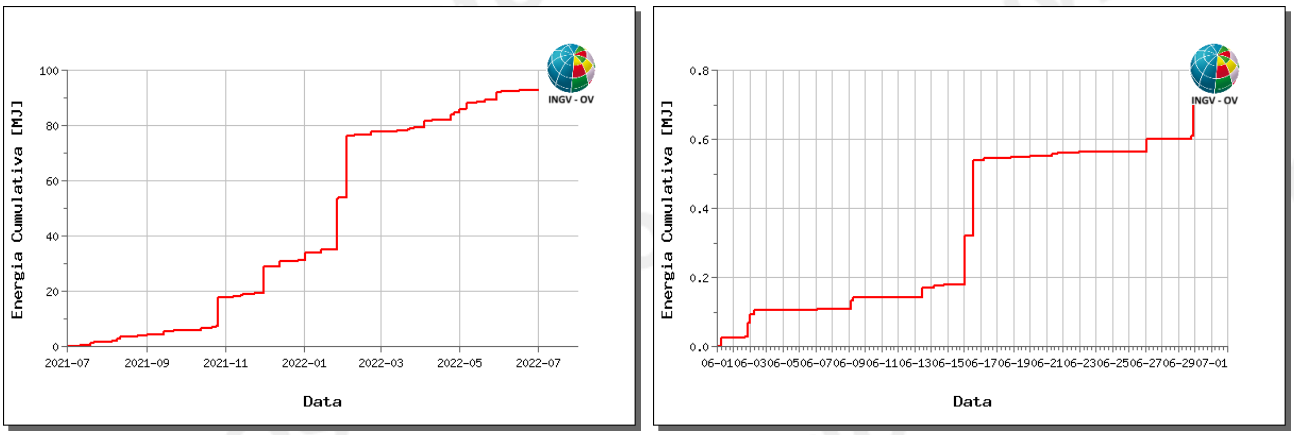


Figura 1.6 *- Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

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: 41		**M_{dmax}=1.3±0.3**
Numero terremoti con **Md < 0.0**	11	(26.83%)
Numero terremoti con **0.0 ≤Md< 1.0**	25	(60.98%)
Numero terremoti con **1.0 ≤Md< 2.0**	3	(7.32%)
Numero terremoti con **Md N.D.**	2	(4.88%)

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

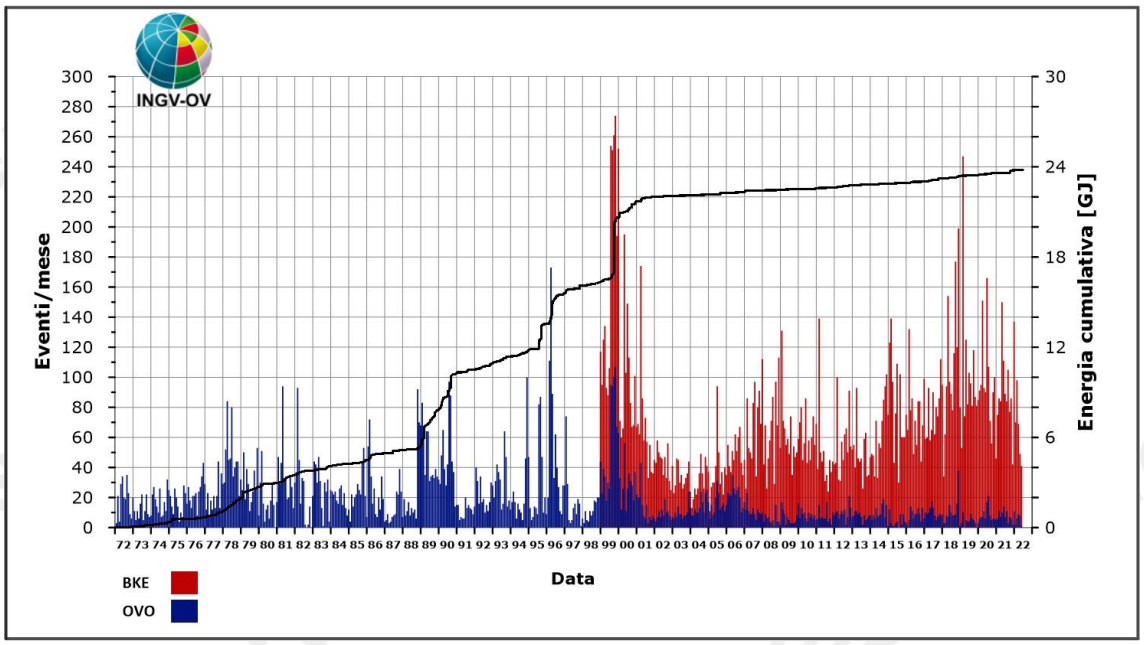


Figura 1.7 *– Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.*

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 GPS

In Figura 2.1.1 è mostrata la Rete GPS Permanente operativa al Vesuvio con 8 stazioni ubicate sulla struttura vulcanica.

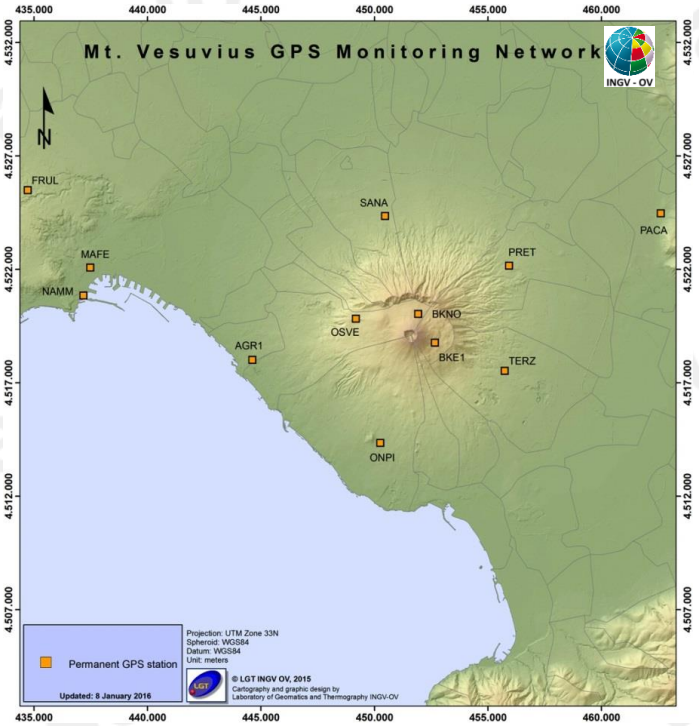


Figura 2.1.1 *- Rete GPS Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

Dall'analisi dei dati GPS non si evidenziano deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici. Le sole stazioni GPS 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.

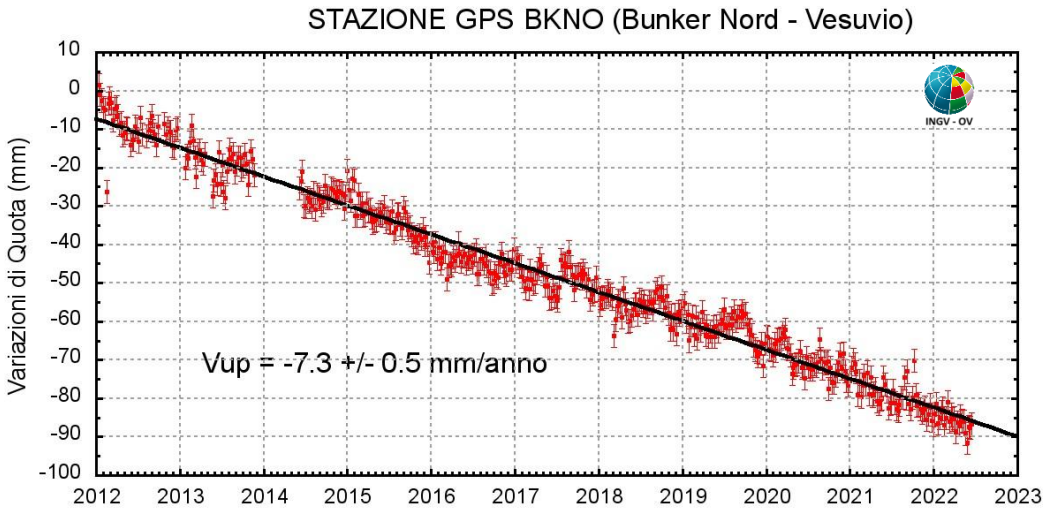


Figura 2.1.2 *- Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a giugno 2022.*

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).

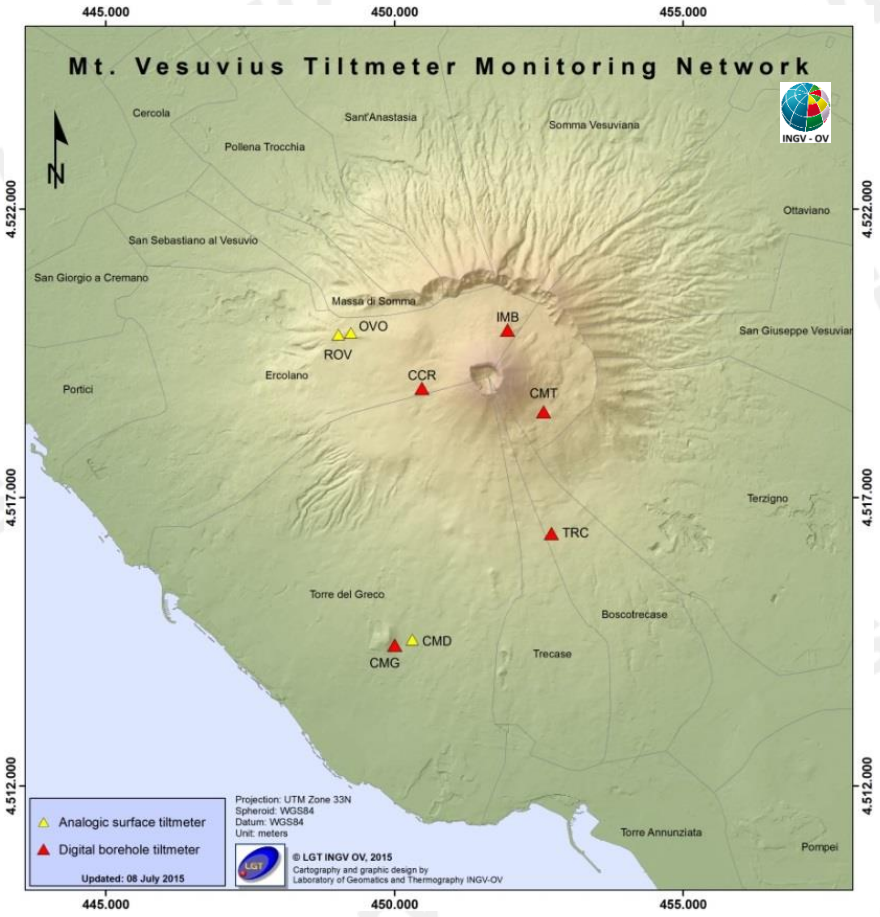


Figura 2.2.1 *– Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).*

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 osservate sia nell'anno che nel mese in corso sono rispettivamente N-NNE alla stazione CMG, NNW a TRC e WSW-ENE a CMT.

Da esse si evince una generalizzata subsidenza dell'edificio vulcanico ma anche il comportamento anomalo delle 3 stazioni, nell'ultimo anno a CMT e negli ultimi 5 mesi prima a CMG e poi a TRC.

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.

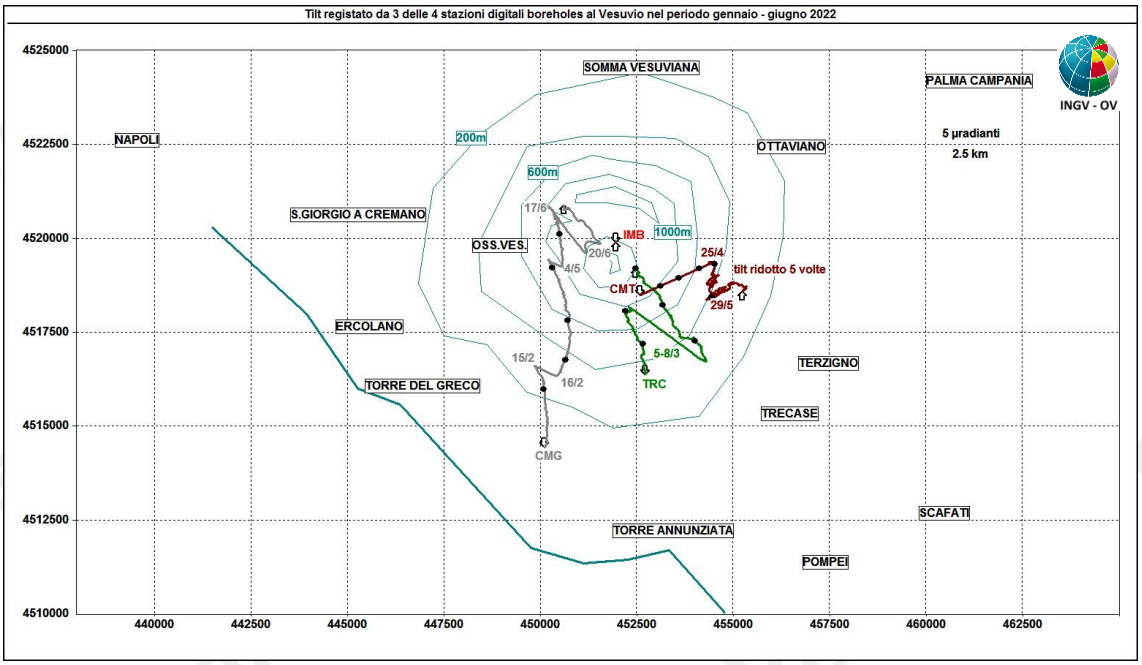


Figura 2.2.2 *– Pattern tiltmetrico osservato al Vesuvio. Per comodità di rappresentazione grafica e per una interpretazione più agevole, sono state selezionate in tale figura solo le 4 stazioni "borehole" con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 5 µradianti 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.*

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. La stazione TRC ha avuto un problema sulla connessione dati attualmente ripristinato.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	5.7 µradianti a N	0.07 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	*(sensore in manutenzione)*	*(sensore in manutenzione)*
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	12.9 µradianti a N	-0.03 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	26.6 µradianti a E	0.19 °C

In Figura 2.2.3 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 CMT e CMG oscillano anche se in modo diverso in direzione NS.

Componenti EW del tilt: CMT si inclina decisamente verso E dalla fine di maggio mentre CMG registra una forte oscillazione verso E, con inizio il 17/6 e durata di un paio di giorni.

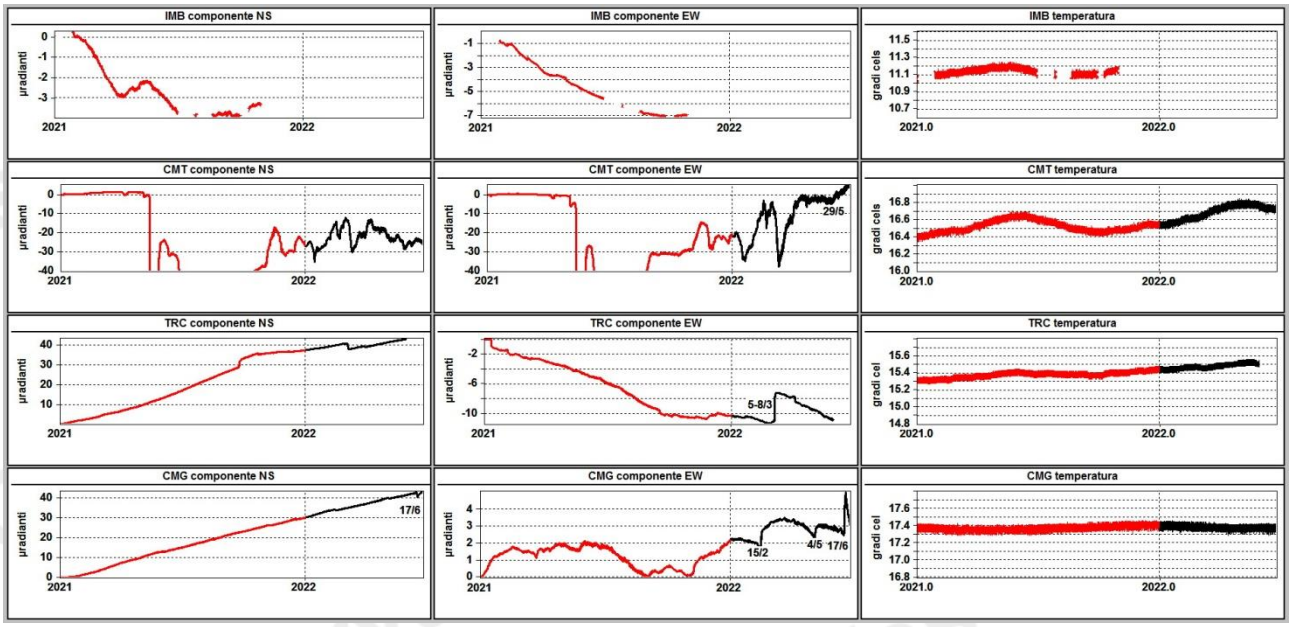


Figura 2.2.3 *– Serie temporali dei segnali registrati dalle 4 stazioni "borehole" della rete vesuviana a partire dal 2021 ordinati dal basso verso l'alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in µradianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente 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.*

La cinematica che caratterizza 3 dei 4 siti è riassunta vettorialmente nel plot di Fig. 2.2.2, in cui le curve in colore rappresentano la variazione tiltmetrica progressiva registrata dai tiltmetri durante l'anno in corso. Anche se in generale i trend tiltmetrici, compresi quelli relativi agli anni scorsi, evidenziano la subsidenza dell'edificio vulcanico, periodicamente si osservano degli scostamenti anche notevoli da tali andamenti.

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).

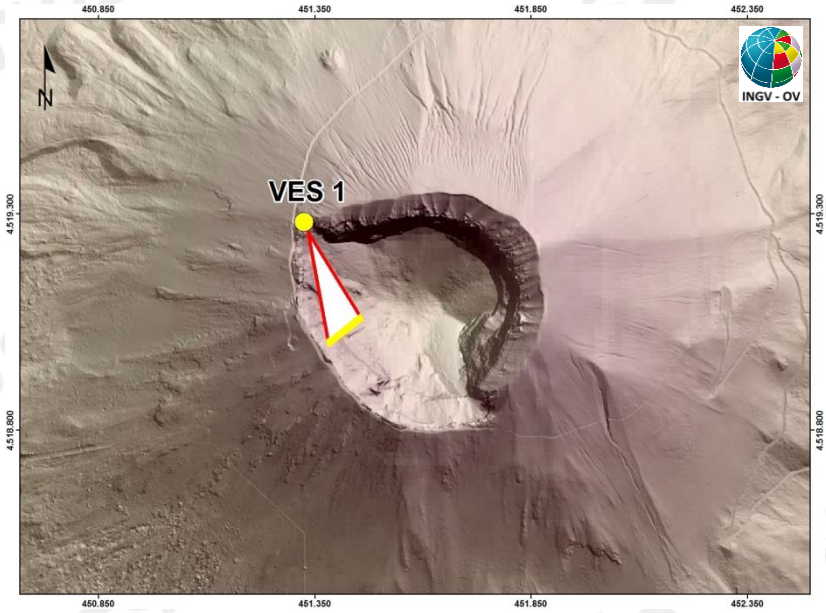


Figura 3.1.1 *- Ubicazione della stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine (TIRNet) operante al Vesuvio. Punto giallo: posizione della stazione; base del triangolo: area campionata.*

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.

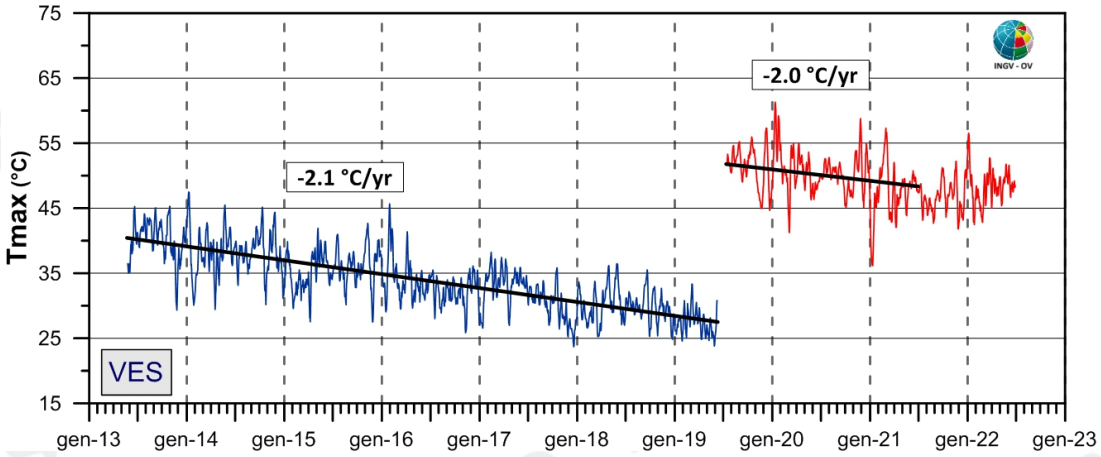


Figura 3.1.2 *- Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo BR [medie settimanali termocamera 320x240 (blu); medie settimanali termocamera 640x480 (rosso)]; fit lineare (nero).*

Nel mese di giugno 2022 i cronogrammi delle serie temporali delle temperature massime, relative alle acquisizioni IR notturne, confermano il trend ad andamento sostanzialmente stabile iniziato a metà 2021, dopo circa 8 anni di costante diminuzione.

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°C +30°C). La termocoppia utilizzata è di tipo K, con errore strumentale di circa 0.1°C nell'intervallo -200÷1260 °C. Le misure ottenute con la termocamera sono confrontate, quando possibile, con quelle eseguite con termocoppia rigida.
Da gennaio 2021 si utilizza una nuova termocamera FLIR T1020 con una maggiore risoluzione (1024 x 768 pixel). Quando possibile, contemporaneamente alla FLIR T1020 si continua ad utilizzare anche la FLIR SC640. La doppia misura ha consentito di calibrare i valori rilevati con la nuova termocamera.

Ubicazione dei punti di misura al Vesuvio

I rilievi vengono eseguiti solamente con telecamera termica dai punti stazione SV1 e SV2a, e con l'ausilio di termocoppia rigida al punto stazione SV2b (Fig. 3.2.1).

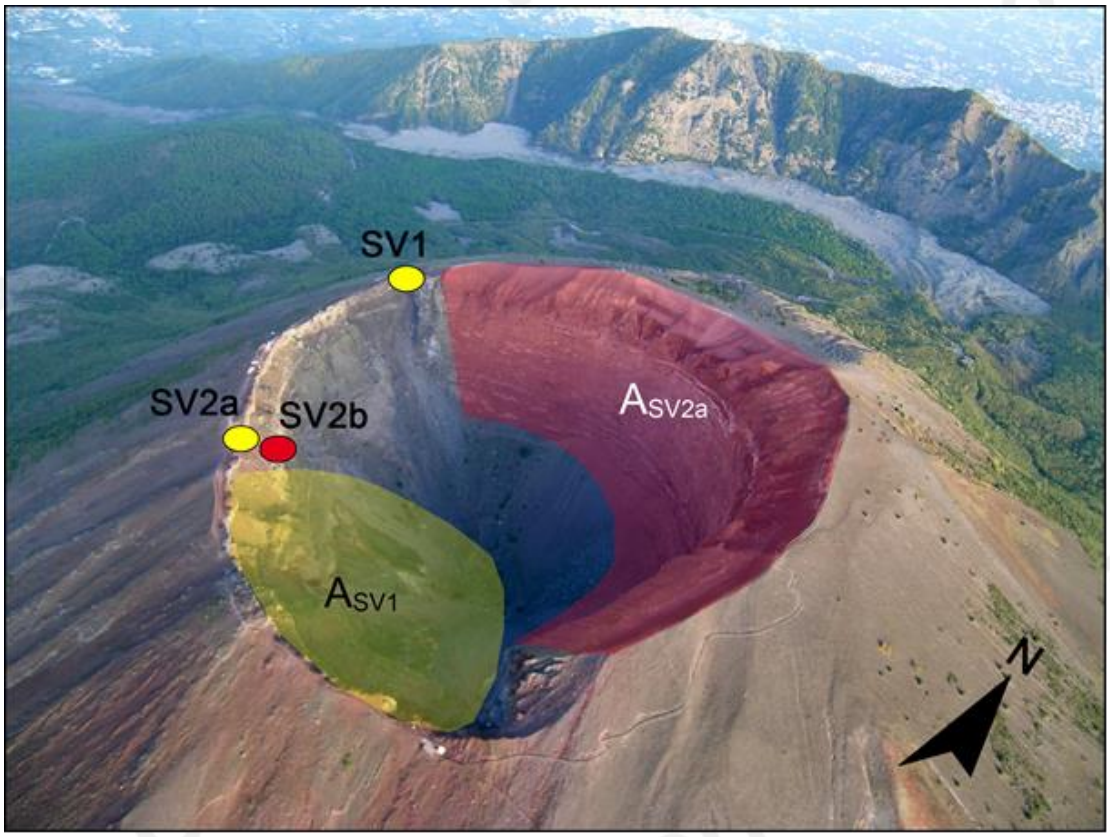


Figura 3.2.1 *– Cratere del Vesuvio. In giallo sono riportati i punti stazione dai quali vengono effettuati i rilievi termici con telecamera termica, in rosso quello nel quale vengono effettuati anche rilievi con termocoppia rigida. L'area in rosso (ASV2a) è quella ripresa dal punto stazione SV2a, mentre l'area in giallo (ASV1) è ripresa dal punto stazione SV1.*

La comparazione delle fotocomposizioni delle immagini termiche rilevate nel mese di giugno 2022 dai punti stazione SV1 e SV2 (Fig. 3.2.1) con quelle dei mesi precedenti non evidenzia significative modificazioni nella distribuzione areale del campo fumarolico.

I valori di temperatura rilevati con telecamera termica e termocoppia rigida al punto stazione SV2b sono stabili a meno di variazioni stagionali (Fig. 3.2.2).

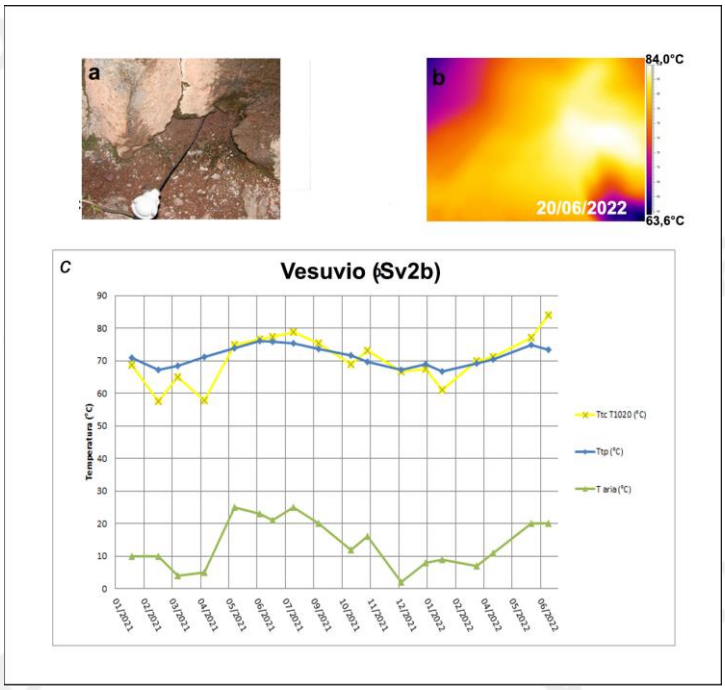


Figura 3.2.2 *– Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese al punto SV2b di Figura 3.2.1, di una fumarola ubicata sul settore occidentale del cratere del Vesuvio. Valori massimi di temperatura con termocamera FLIR SC640 (TtcSC640), valori massimi di temperatura con termocamera FLIR T1020 (TtcT1020) e valori di temperatura dalla termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria (Taria) misurata nel momento del rilievo termico, da gennaio 2021 a giugno 2022 (c).*

In Figura 3.2.3 è mostrata una fotocomposizione di immagini termiche rilevate da drone la cui temperatura massima è di 56.1°C relativa al punto "SV2b" di Figura 3.2.1.

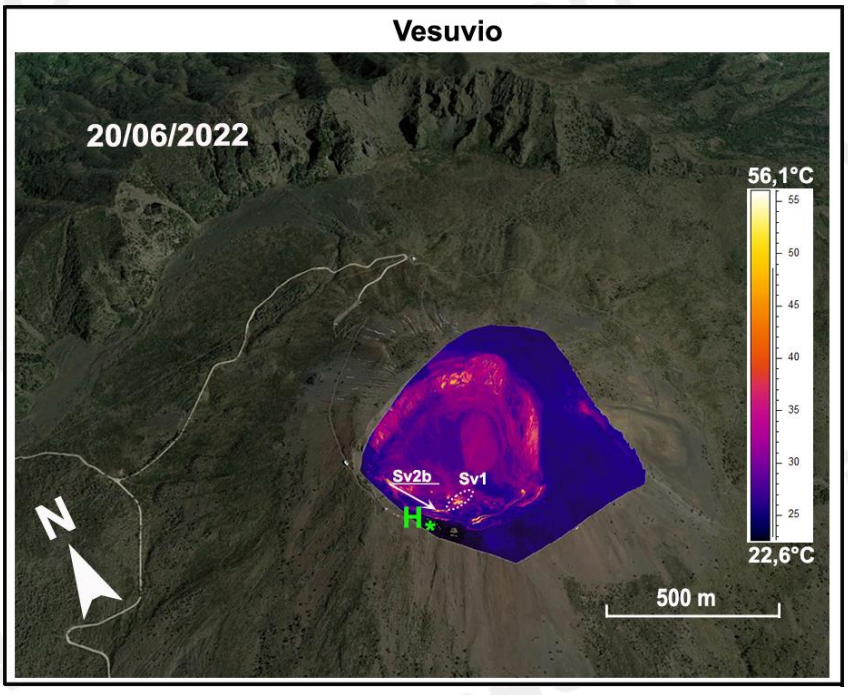


Figura 3.2.3 *– Fotocomposizione di immagini termiche rilevate da drone nel mese di giugno 2022. H indica il sito di decollo e di atterraggio del drone. L'area racchiusa dalla linea tratteggiata è quella dove vengono effettuate le misure termiche mensili (Fig. 3.2.1a). La freccia indica il sito "Sv2b" di Figura 3.2.1.*

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di giugno 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).

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).*

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. 4.2). 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.).

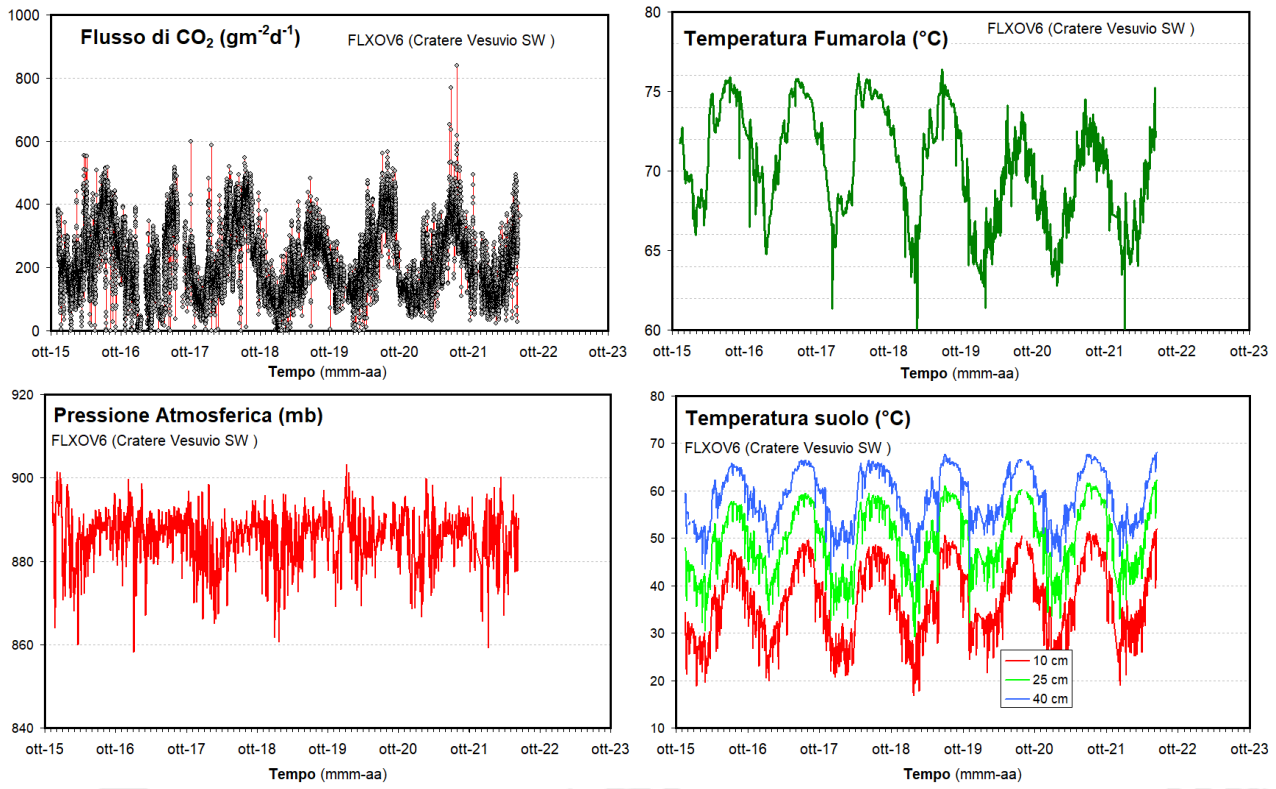


Figura 4.2 *- Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO_2 dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.*

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. La nuova tipologia di stazioni andrà nel tempo a sostituire le vecchie stazioni della rete geochimica.

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

1) SISMOLOGIA: Al Vesuvio permane una debole sismicità di fondo con 41 terremoti registrati (M_{dmax}=1.3±0.3) di cui 32 localizzati prevalentemente in area craterica con profondità che non superano 2 km.
2) DEFORMAZIONI: Dai dati GPS e Tiltmetrici non si osservano deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche.
3) TERMOGRAFIA: I dati delle telecamere termiche permanenti evidenziano un andamento sostanzialmente stazionario della temperatura media. Le misure con telecamere mobili non mostrano variazioni significative.
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.