

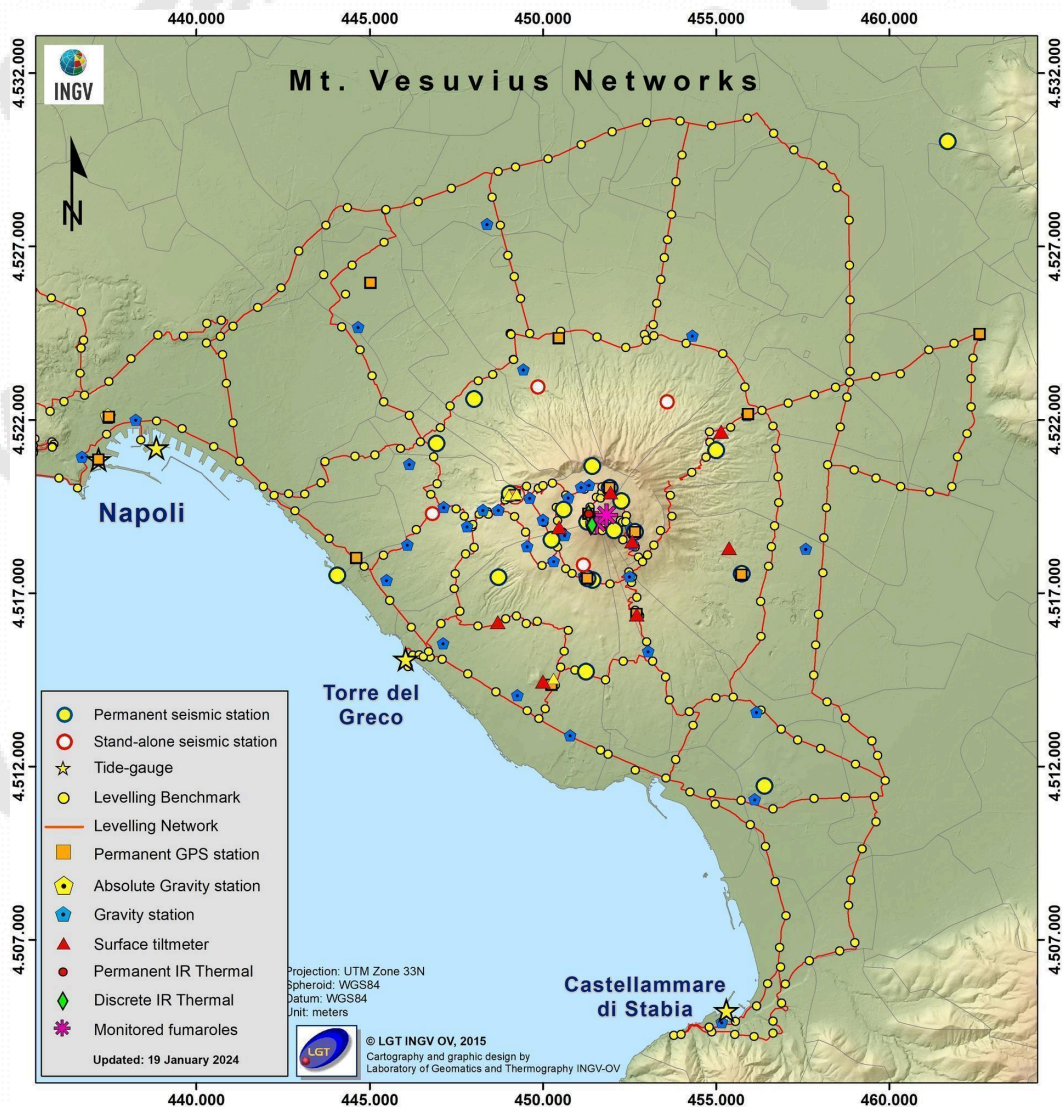


Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

NOVEMBRE 2024

A cura della Sezione di Napoli | OSSERVATORIO VESUVIANO



1. SISMOLOGIA

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

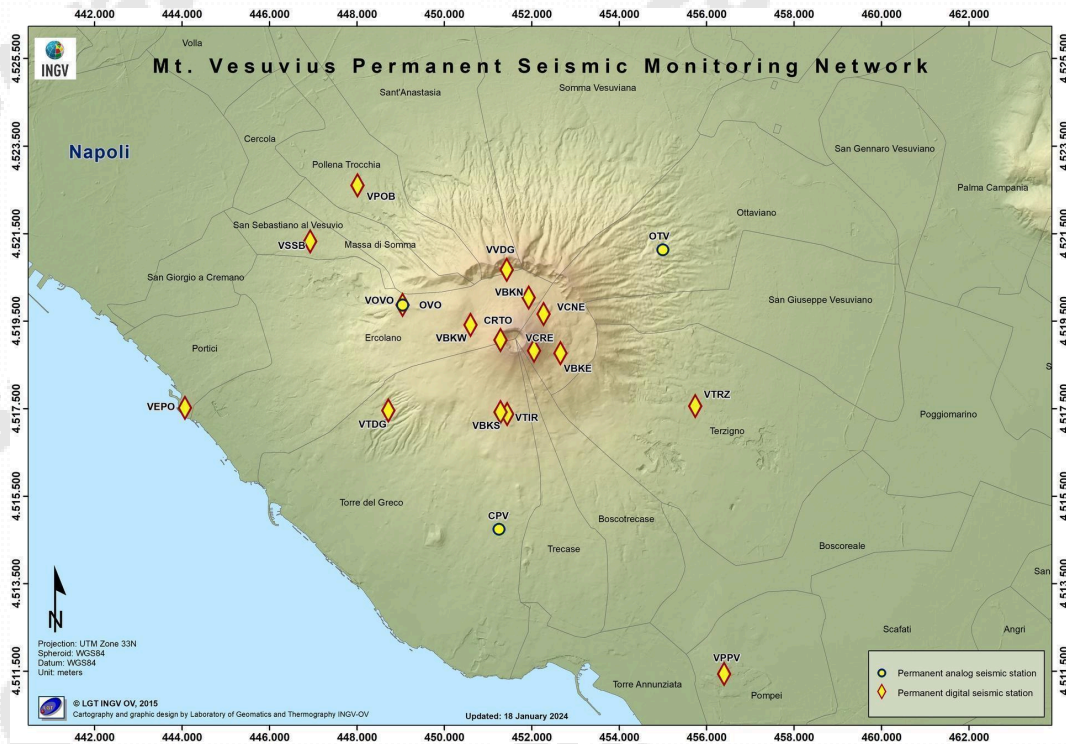


Figura 1.1 - Mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

Nel corso del mese di novembre 2024, al Vesuvio, sono stati registrati 156 terremoti (M_{dmax}=2.8±0.3; evento del 09/11/2024 alle ore 19:09 UTC (Fig. 1.2).

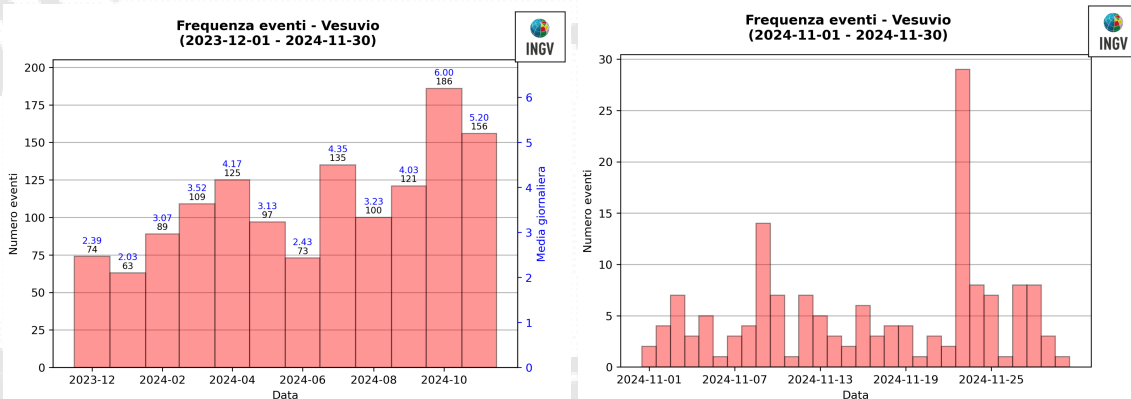


Figura 1.2 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1328), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 156).

E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 141 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.3.

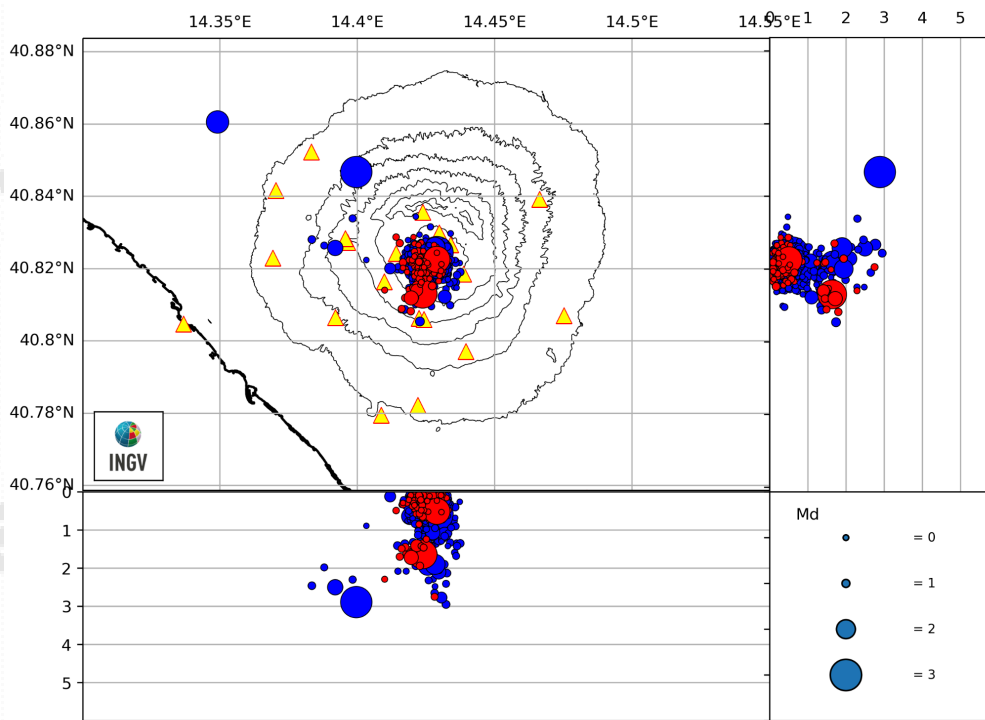


Figura 1.3 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.

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

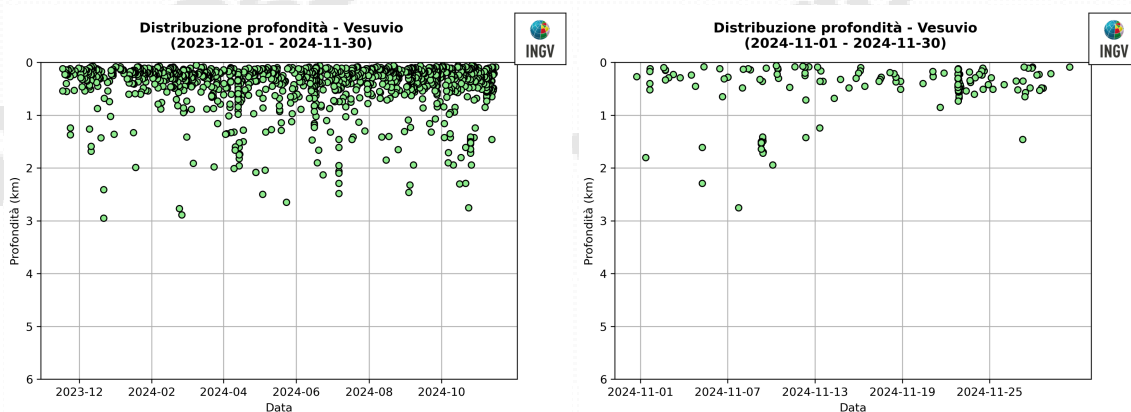


Figura 1.4 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

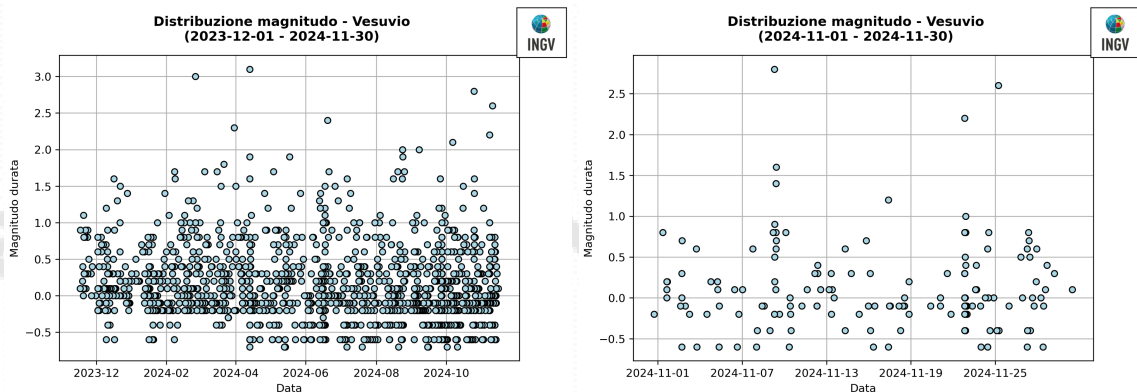


Figura 1.5 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

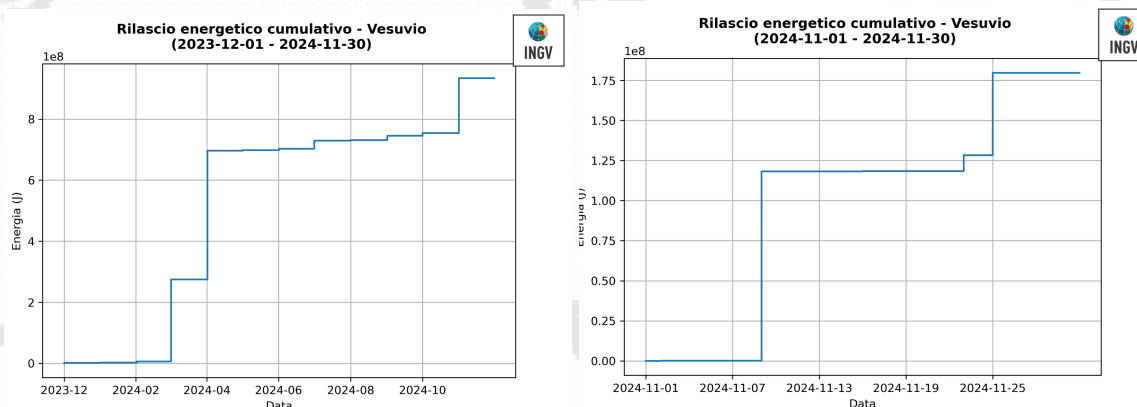


Figura 1.6 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

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: 156		$M_{dmax} = 2.8 \pm 0.3$	
Numero terremoti con Md < 0.0	72	(46.15%)	
Numero terremoti con 0.0 ≤ Md < 1.0	74	(47.44%)	
Numero terremoti con 1.0 ≤ Md < 2.0	4	(2.56%)	
Numero terremoti con Md ≥ 2.0	3	(1.92%)	
Numero terremoti con Md ND	3	(1.92%)	

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

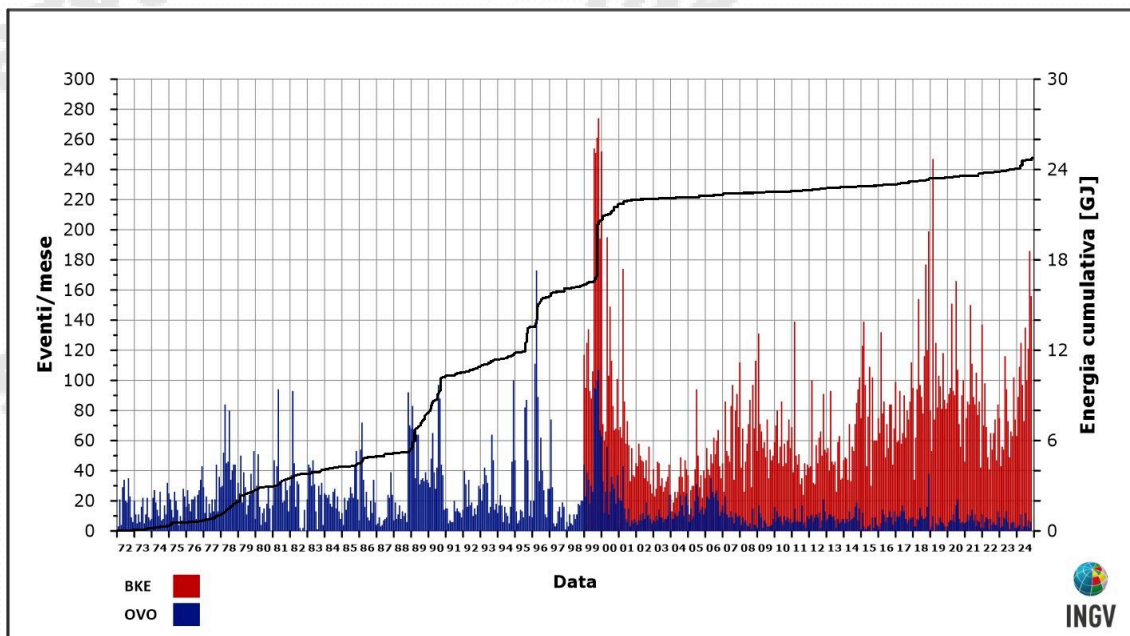


Figura 1.7 – Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.

Da questa figura si può osservare come l'aumento 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

La Rete GNSS permanente del Vesuvio (De Martino et al., 2021) è costituita da 14 stazioni (Figura 2.1.1). A partire dal 2023 è stato realizzato un potenziamento della Rete GNSS attraverso l'installazione di 4 nuove stazioni GNSS (CRAT, BKSU, TREC e TRZG in Figura 2.1.1), l'upgrade di tutte le restanti stazioni da GPS a GNSS e un ammodernamento dei sistemi di alimentazione e trasmissione.

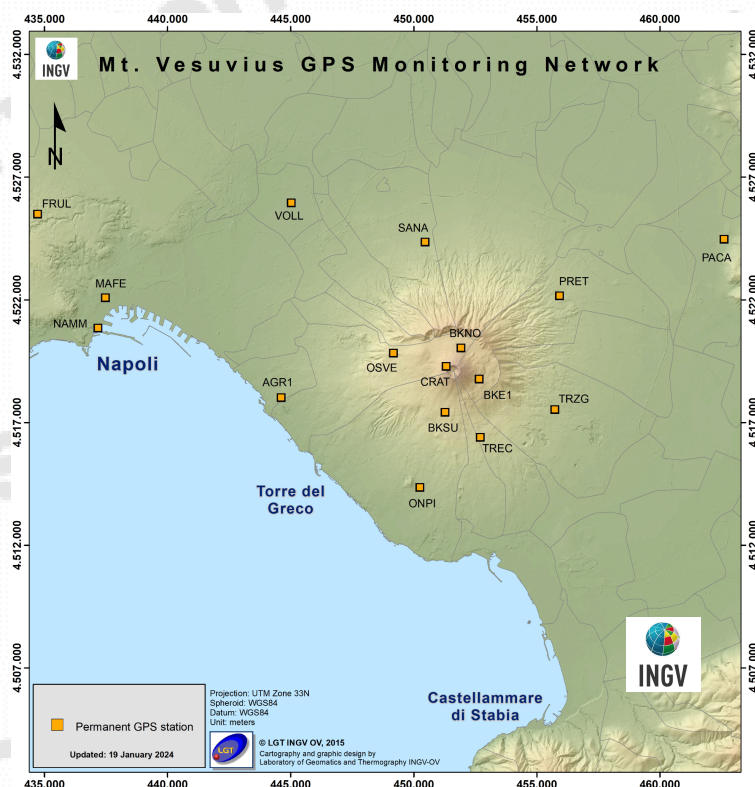


Figura 2.1.1 - Rete GNSS Permanente del Vesuvio (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

Tutti i dati GNSS dal 2023 sono stati riprocessati in modalità Precise Point Positioning (PPP) con il software PRIDE PPP-AR (Geng et al., 2019). Le serie temporali sono state analizzate tramite il software Hector (Bos et al., 2013) per calcolare le velocità ed un realistico valore dell'errore associato, stimare i segnali periodici a carattere annuale e le eventuali discontinuità dovute a cambi di antenna (Figura 2.1.2).

I risultati confermano i trend medi pluriennali di subsidenza della parte alta dell'edificio vulcanico, coerenti con una fase di contrazione del Gran Cono dovuta ad effetti gravitativi e processi di compattazione e/o scivolamento di terreni poco coerenti ed in forte pendenza (De Martino et al., 2021).

Dall'analisi dei dati GNSS non si evidenziano deformazioni del suolo riconducibili a sorgenti vulcaniche.

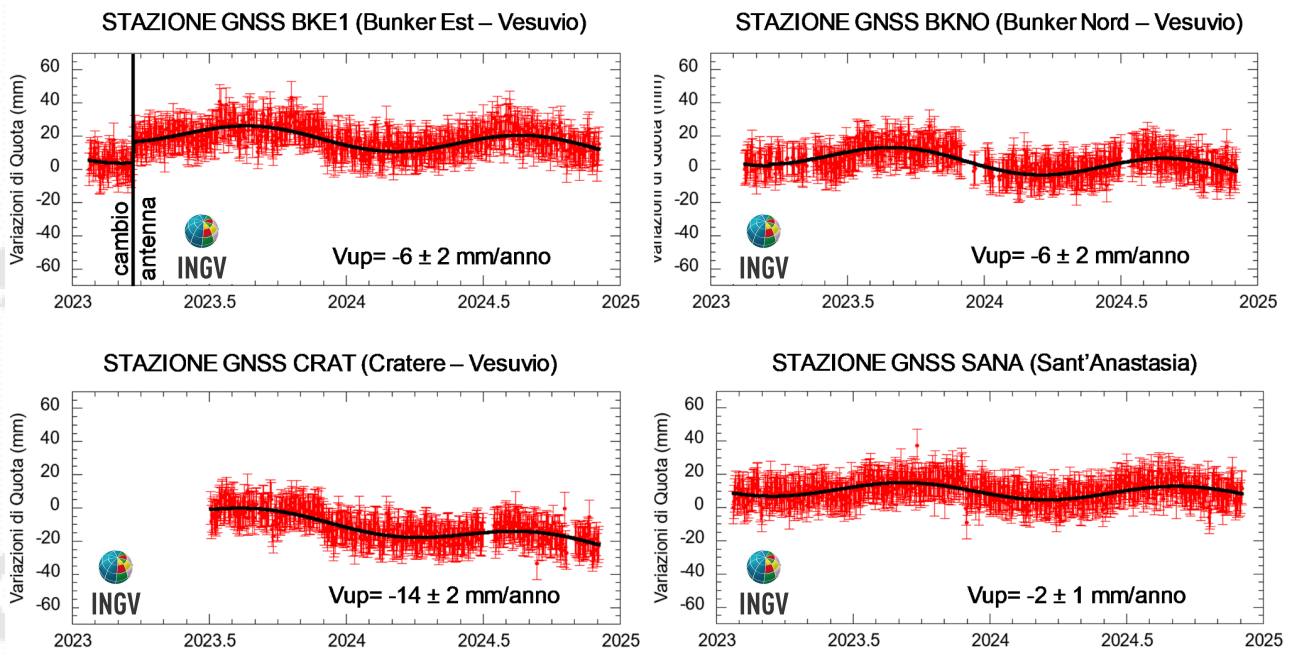


Figura 2.1.2 - Serie temporali delle variazioni giornaliere della componente verticale delle stazioni BKE1, BKNO, CRAT e SANA (Vesuvio) da gennaio 2023 a novembre 2024.

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). Tre nuove stazioni in pozzo verranno installate a breve.

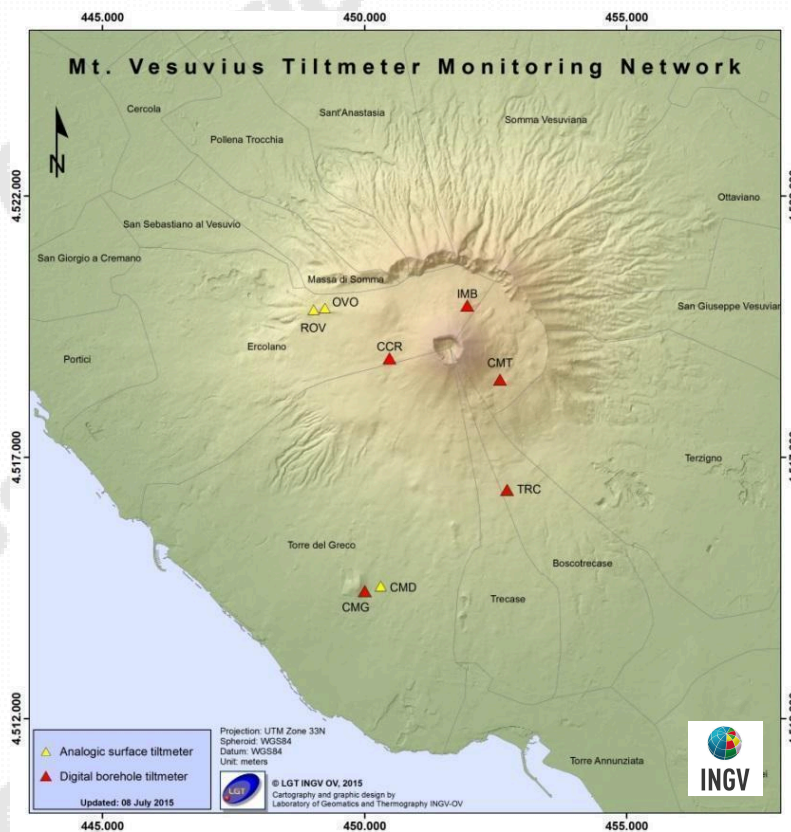


Figura 2.2.1 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

In Figura 2.2.2 sono rappresentate le serie temporali e il plot del tilt di una delle stazioni digitali da pozzo (CMG in Figura 2.2.1) da dicembre 2023 ad novembre 2024. I segnali dei grafici sono filtrati dalle componenti mareali diurna e semidiurna. In particolare nei diagrammi sono rappresentati:

- Componente NS (valori di tilt crescenti nel tempo indicano la variazione di inclinazione del suolo a N)
- Componente EW (valori di tilt crescenti nel tempo indicano la variazione di inclinazione del suolo a E)
- Rappresentazione del vettore inclinazione nel tempo

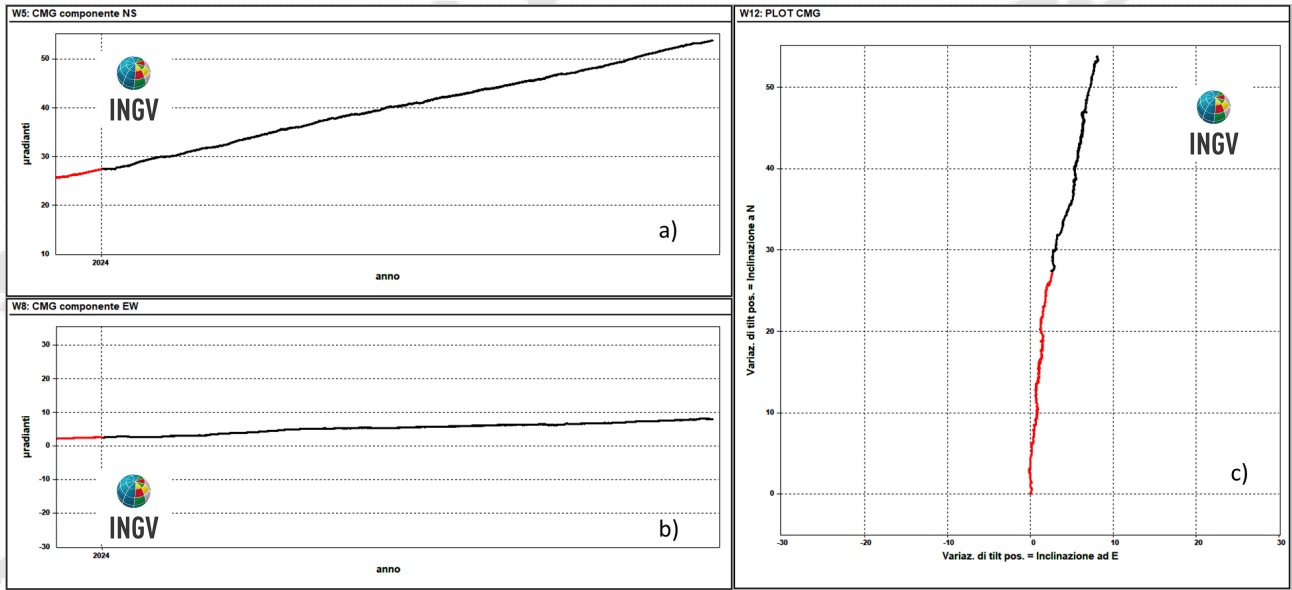


Figura 2.2.2 – Serie temporali e plot del tilt della stazione CMG della rete del Vesuvio registrati negli ultimi 12 mesi (dicembre 2023 - novembre 2024).

Non si registrano variazioni significative dei parametri di inclinazione del suolo riconducibili a sorgenti vulcaniche.

2.3 Mareometria

La Rete Mareografica del Vesuvio è costituita da tre stazioni con strumentazione basata su sistema a shaft encoder, ed è riportata in Figura 2.3.1.

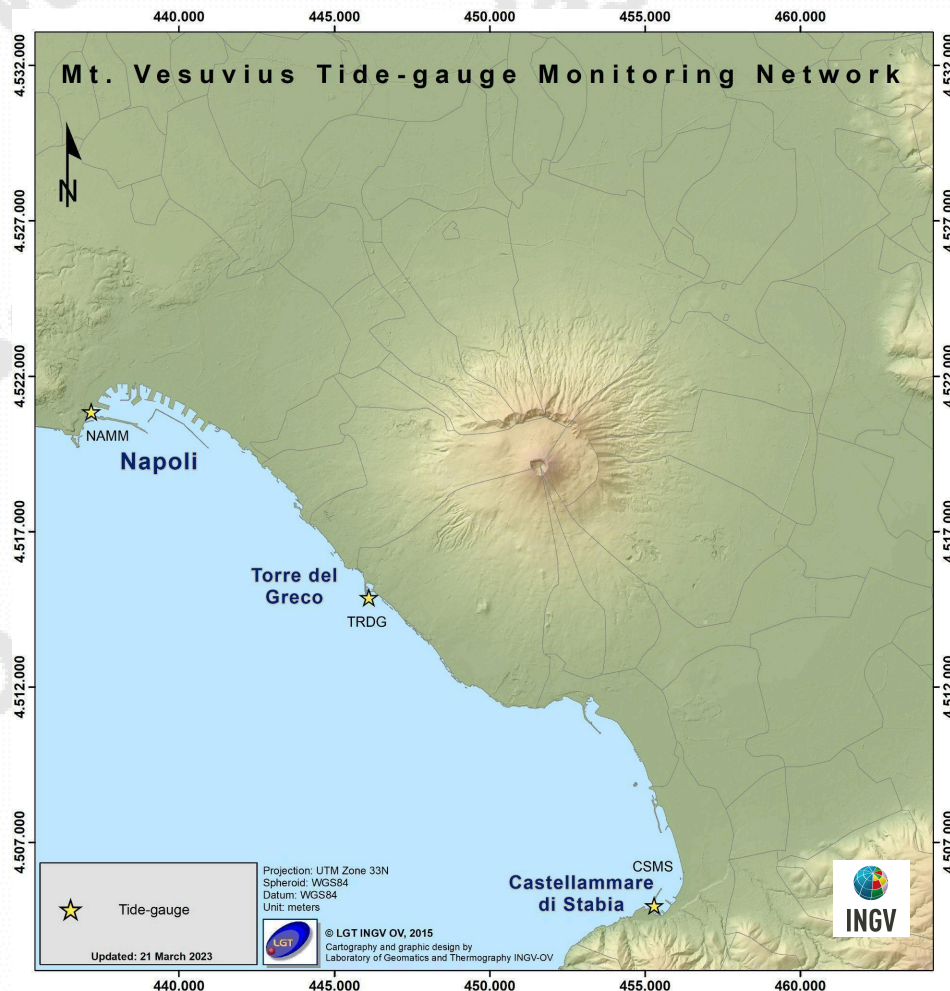


Figura 2.3.1 – Rete Mareografica del Vesuvio.

Nella Figura 2.3.2 sono mostrati i dati mareografici registrati dalla stazione di Torre del Greco, molo Redentore (TRDG), dai quali si evince una subsidenza dell'area di circa 5.6 cm nel periodo gennaio 2012 – novembre 2024.

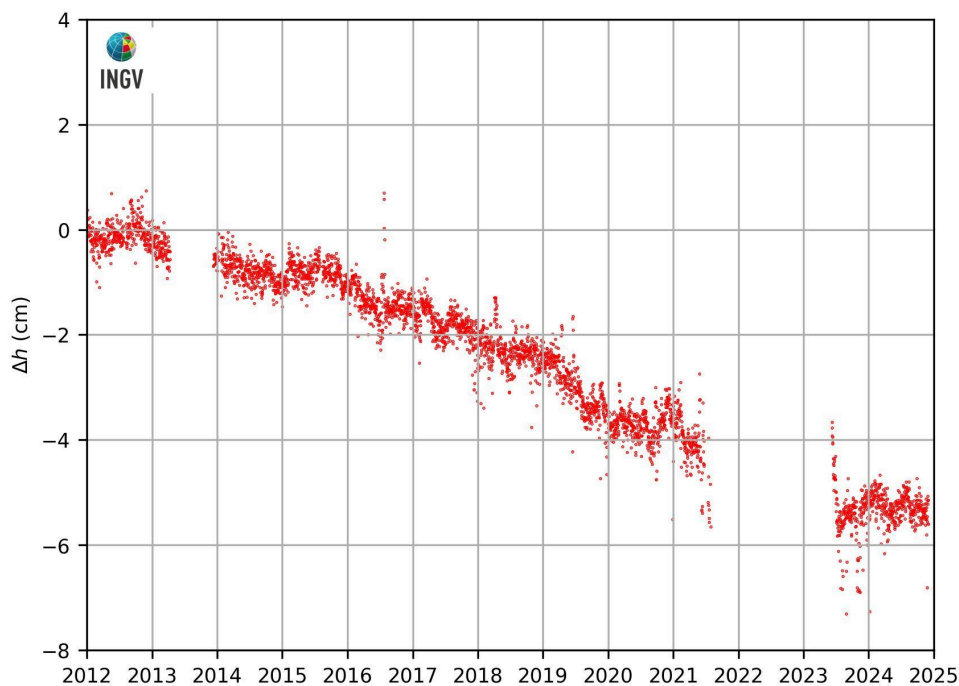


Figura 2.3.2 – Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2012 – novembre 2024, ottenuti dall’analisi dei dati acquisiti dalla stazione mareografica di Torre del Greco, molo Redentore (TRDG). Le variazioni, riportate in cm, rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione mareografica di Napoli, molo San Vincenzo (NAMM).

Nella Figura 2.3.3 sono mostrati i dati mareografici registrati dalla stazione di Torre del Greco, molo Redentore (TRDG), nel periodo gennaio 2006 – novembre 2024.

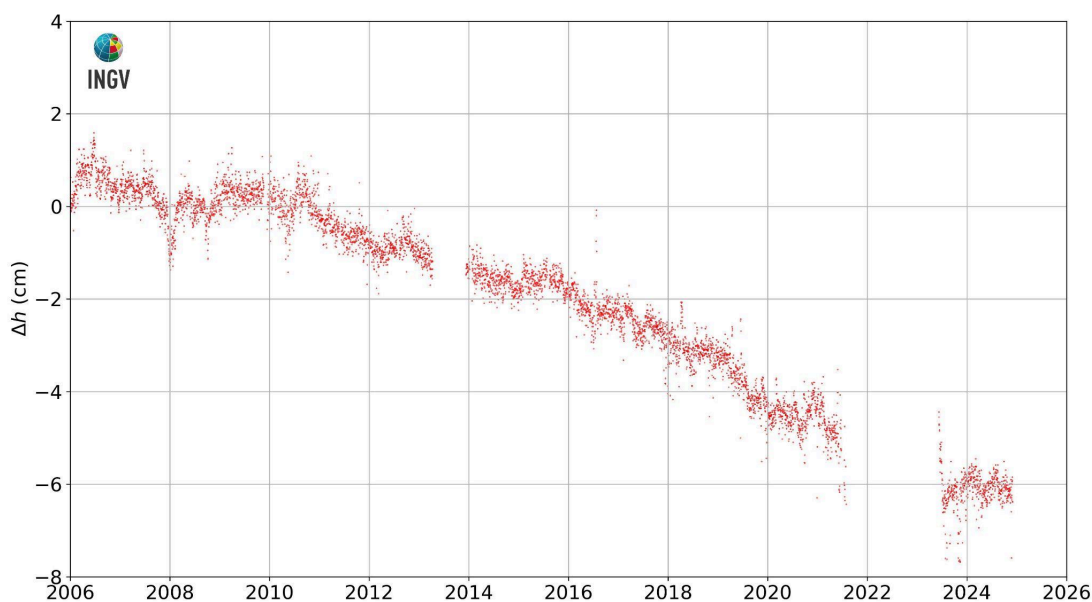


Figura 2.3.3 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2006 – novembre 2024, ottenuti dall’analisi dei dati acquisiti dalla stazione mareografica di Torre del Greco, molo Redentore (TRDG). Le variazioni, riportate in cm, rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione mareografica di Napoli molo San Vincenzo (NAMM).

Dal 2006 a oggi, alla stazione mareografica di Torre del Greco, molo Redentore, si registra un abbassamento del suolo di circa 6.4 cm.

3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

3.1 Rete Permanente Monitoraggio Termico ad Immagine

La stazione della rete permanente di monitoraggio termico, installata nel 2013, acquisisce immagini notturne all'infrarosso termico, di risoluzione 640x480, del versante interno sud-occidentale del cratere del Vesuvio (Fig. 3.1.1; Sansivero et al., 2013).

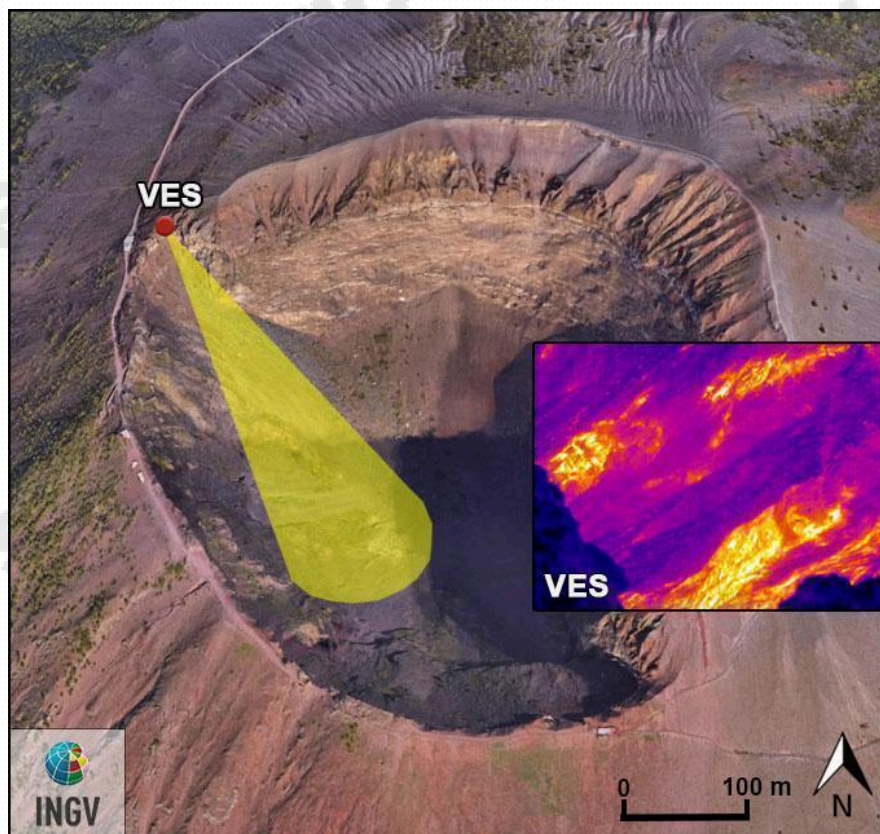


Figura 3.1.1 - Ubicazione della stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine (TIRNet) operante al Vesuvio. Punto rosso: posizione della stazione; area in giallo: area acquisita.

L'elaborazione dei dati acquisiti produce la serie temporale dei valori di temperatura massima delle immagini IR alla quale è stata rimossa la stagionalità tramite l'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition) implementato nel software automatizzato A.S.I.R.A. (Sansivero et al., 2019). Il trend a lungo termine è ottenuto applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate con STL.

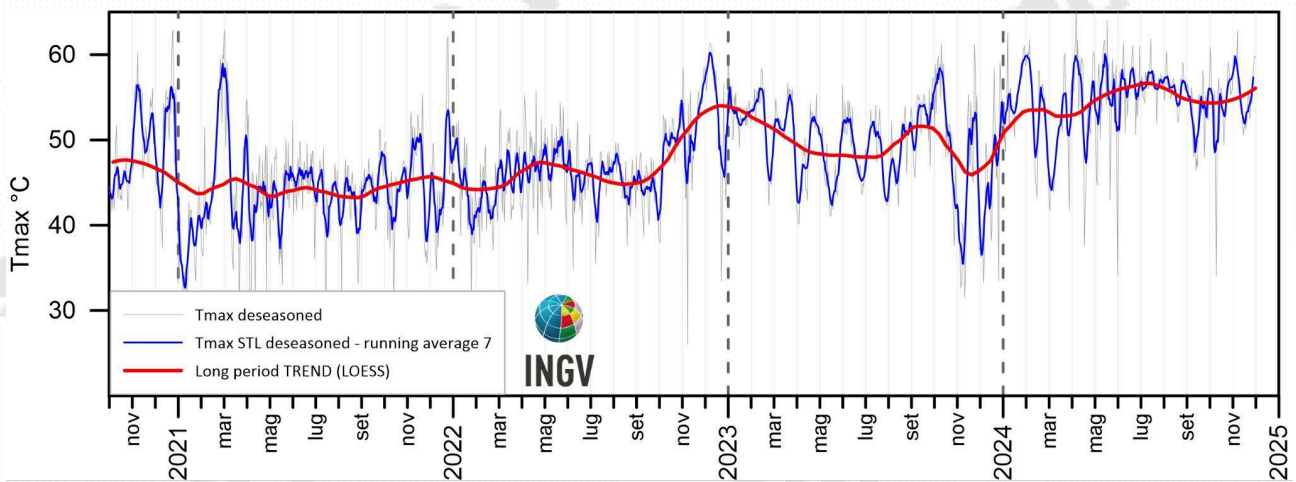


Figura 3.1.2 - Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR, destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo BR (medie settimanali termocamera 640x480). Il trend a lungo termine è ottenuto applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate.

Il cronogramma ottenuto dall'elaborazione della serie temporale delle temperature massime superficiali delle acquisizioni notturne (figura 3.1.2), nel mese di novembre 2024, mostra sensibili oscillazioni intorno a un valore medio sostanzialmente stabile. Il trend a lungo termine (in rosso) evidenzia un lieve aumento delle temperature massime a partire dal mese di ottobre.

3.2 Monitoraggio Termico con Termocamera Mobile, Termocoppia e Drone

La sorveglianza vulcanica tramite Telecamere Termiche Mobili (TTM) e termocoppie rigide ha come principale obiettivo l'individuazione di eventuali variazioni 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 ($<0.06^{\circ}\text{C} +30^{\circ}\text{C}$). La termocoppia utilizzata è di tipo K, con errore strumentale di circa 0.1°C nell'intervallo $-200\div 1260^{\circ}\text{C}$. 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 consente di calibrare i valori rilevati con la nuova termocamera.

Da maggio 2022, in alcuni siti e quando le condizioni lo consentono, contestualmente alla FLIR T1020 le misure di temperatura vengono rilevate anche con l'ausilio di un drone equipaggiato con una termocamera FLIR VUEPRO ad alta risoluzione (640x512 pixel) e precisione $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

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).

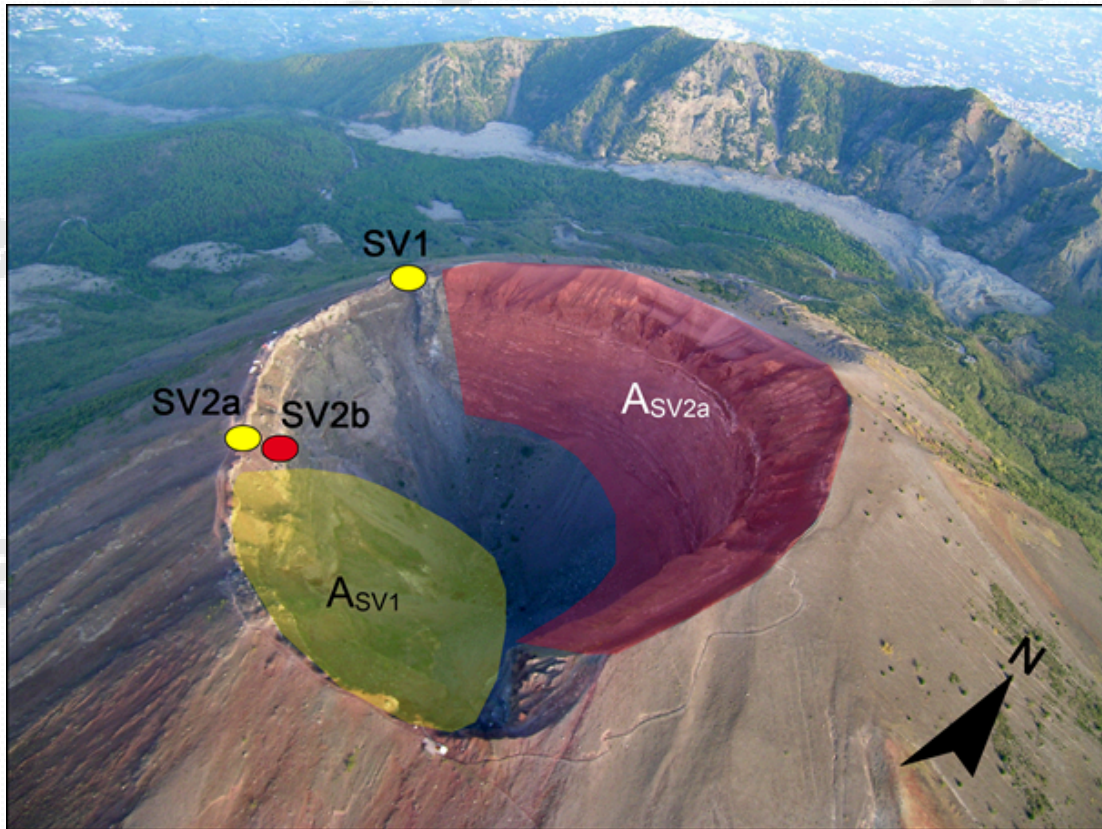


Figura 3.2.1 – Cratere del Vesuvio. In giallo sono riportati i punti stazione dai quali vengono effettuati i rilievi termici con telecamera termica, in rosso quello nel quale viene utilizzata anche termocoppia rigida. L'area in rosso (ASV2a) è quella ripresa dal punto stazione SV2a, mentre l'area in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

La comparazione delle fotocomposizioni delle immagini termiche rilevate nel mese di novembre 2024 dal punto stazione SV1 e SV2 (Fig. 3.2.1) con quelle dei mesi precedenti non evidenzia variazioni significative nella distribuzione areale del campo fumarolico. Per questo mese non è stato possibile avvalersi dei droni per motivi tecnici.

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).

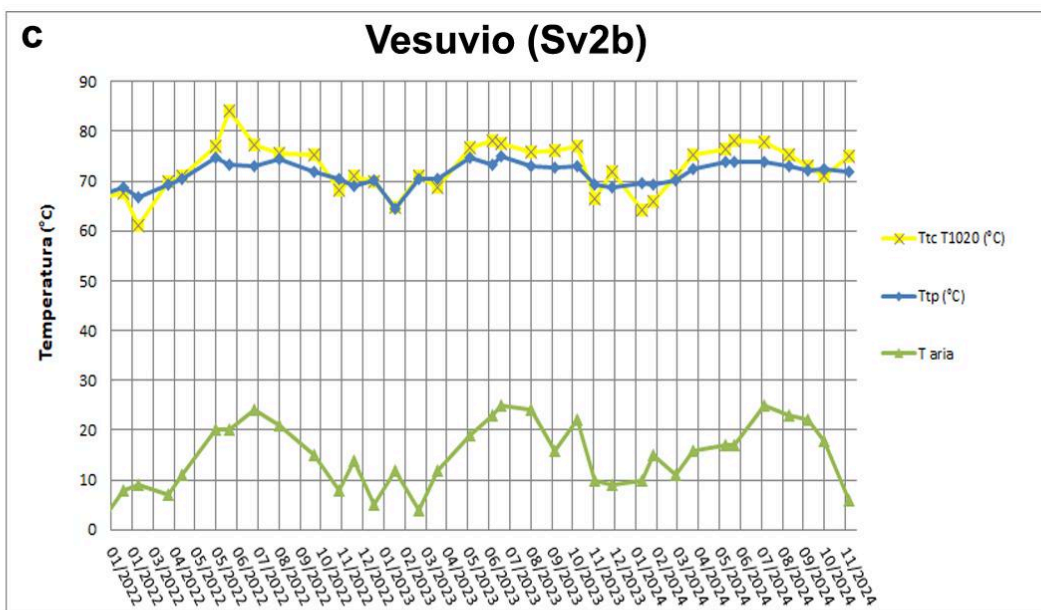
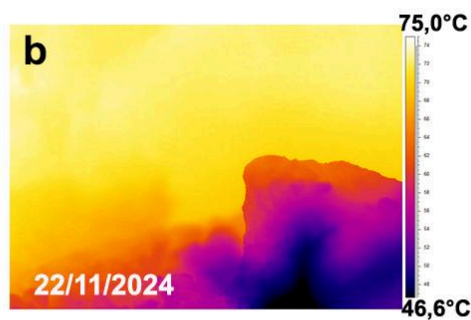
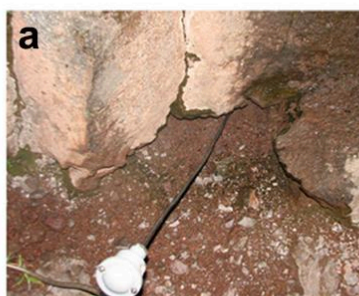


Figura 3.2.2 - Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese al punto SV2b di Figura 3.2.1, di una fumarola ubicata sul settore occidentale del cratere del Vesuvio. Valori massimi di temperatura rilevati con la termocamera FLIR T1020 (TtcT1020) e con la termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria (Taria) misurata nel momento del rilievo termico, da gennaio 2022 a novembre 2024 (c).

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di novembre 2024 ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ 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 B1 e B3 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 CO₂ dal suolo e della temperatura del suolo, in area bordo cratere (simboli bianchi).

Nel mese di novembre 2024 sono state campionate e analizzate le fumarole di bordo cratere (B1 e B3, Fig. 4.1). La composizione chimica, costituita essenzialmente da una miscela di aria e del componente idrotermale profondo (Caliro et al., 2011) non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 4.2).

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (FLXOV6, settore SW) misura: flusso di CO₂ 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.) Nel periodo di riferimento uno dei tre sensori di temperatura per la misura del gradiente di temperatura del suolo, il sistema di misura del gradiente di temperatura del suolo sarà sostituito a breve

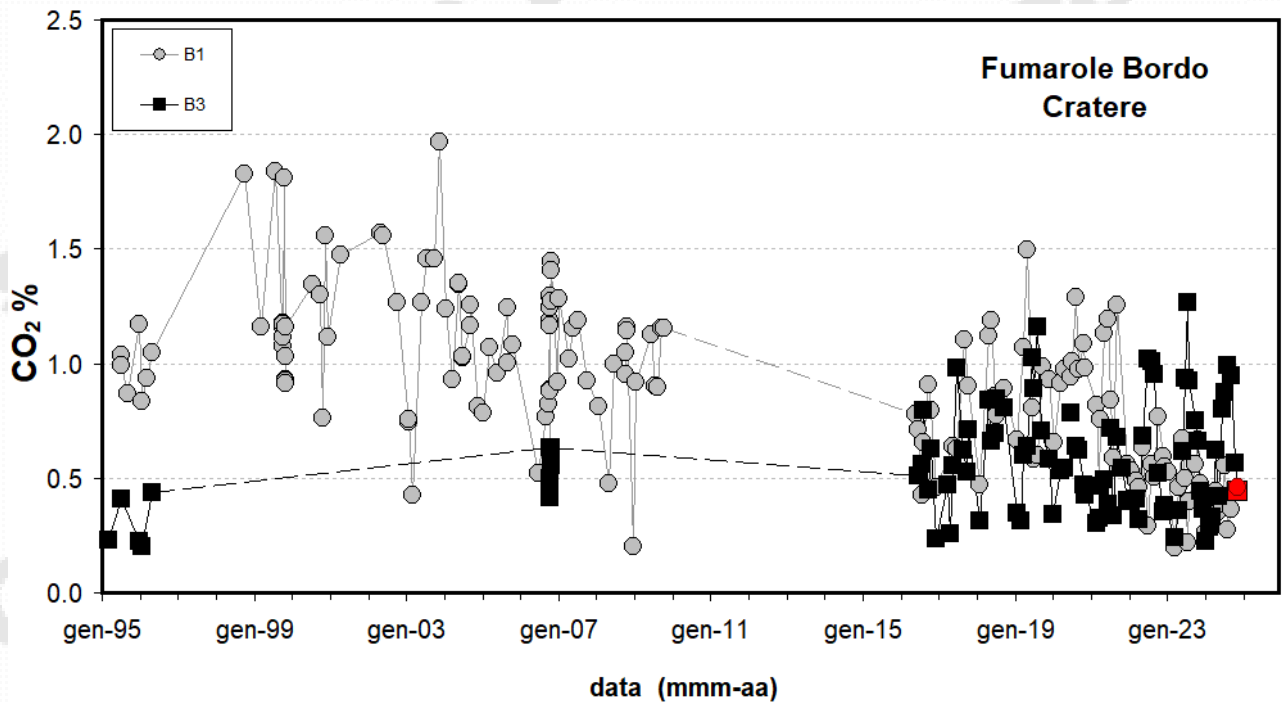


Figura 4.2 - Cronogramma della concentrazione di CO₂ delle fumarole di bordo cratere B1 (area anemometro) e B3 (settore SW). I campioni delle fumarole B1 e B3 del mese di novembre 2024 sono riportati con il simbolo rosso.

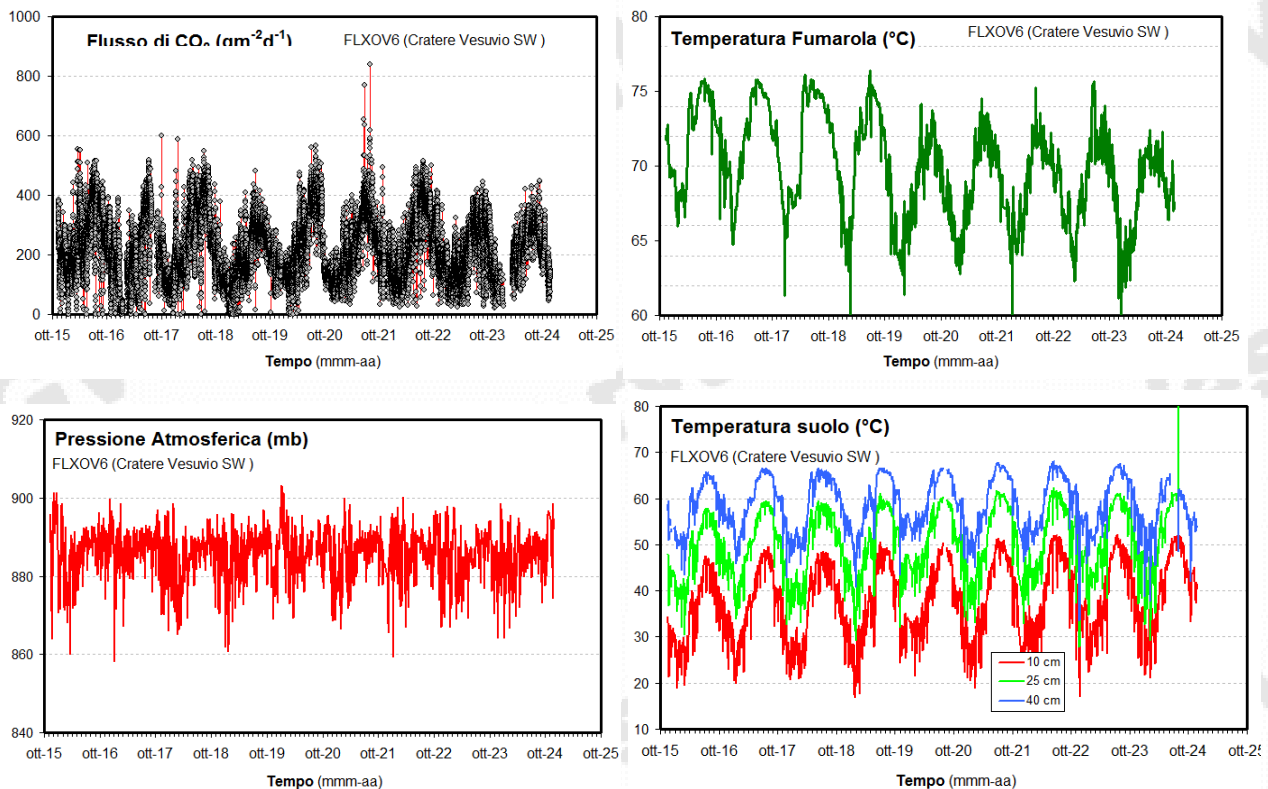


Figura 4.5 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

La stazione (FLXOV7) di fondo cratere fortemente danneggiata da una frana e dagli eventi meteorologici sarà sostituita con una stazione di tipo nuovo. La nuova stazione è ora disponibile e

sono in corso le operazioni di ripristino del sito di fondo cratere. La nuova tipologia di stazioni andrà nel tempo a sostituire le stazioni della rete geochimica.

QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI NOVEMBRE 2024 E VALUTAZIONI

1) SISMOLOGIA: Al Vesuvio permane una sismicità di fondo con 156 terremoti registrati (M_d max=2.8±0.3) di cui 141 localizzati, avvenuti prevalentemente in area craterica con profondità fortemente concentrate nel primo chilometro.

2) DEFORMAZIONI: I dati GNSS, Tiltmetrici e Mareografici non evidenziano variazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche.

3) TERMOGRAFIA: I dati della telecamera termica permanente evidenziano un comportamento sostanzialmente stabile dei valori delle temperature superficiali massime, sebbene caratterizzato da sensibili oscillazioni.

Le misure con telecamera termica mobile evidenziano un andamento sostanzialmente stazionario della temperatura massima.

4) GEOCHIMICA: Non si evidenziano variazioni significative dei parametri geochimici acquisiti. I dati di monitoraggio indicano il perdurare del trend pluriennale di diminuzione dell'attività idrotermale all'interno dell'area craterica del Vesuvio.

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, che possano comportare una diversa evoluzione dei fenomeni sopra descritti, saranno oggetto di approfondimenti tempestivamente comunicati.

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.

Bos, M.S., Fernandes, R.M.S., Williams, S.D.P., Bastos, L. (2013). Fast Error Analysis of Continuous GNSS Observations with Missing Data. *J. Geod.* 2013, 87, 351–360

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 Martino P, Dolce M, Brandi G, Scarpato G, Tammaro U. The Ground Deformation History of the Neapolitan Volcanic Area (Campi Flegrei Caldera, Somma–Vesuvius Volcano, and Ischia Island) from 20 Years of Continuous GPS Observations (2000–2019). *Remote Sensing*. 2021; 13(14):2725. <https://doi.org/10.3390/rs13142725>
- 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
- Geng J., Chen X., Pan Y., Mao S., Li C., Zhou J., Zhang K. (2019). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 23(91):1-10. doi:10.1007/s10291-019-0888-1
- 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.
- Sansivero, F. and Vilardo, G. (2019). Processing Thermal Infrared Imagery Time-Series from Volcano Permanent Ground-Based Monitoring Network. Latest Methodological Improvements to Characterize Surface Temperatures Behavior of Thermal Anomaly Areas. *Remote Sens.*, 11, 553; <https://doi.org/10.3390/rs11050553>.
- 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 2024-2026), 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.