

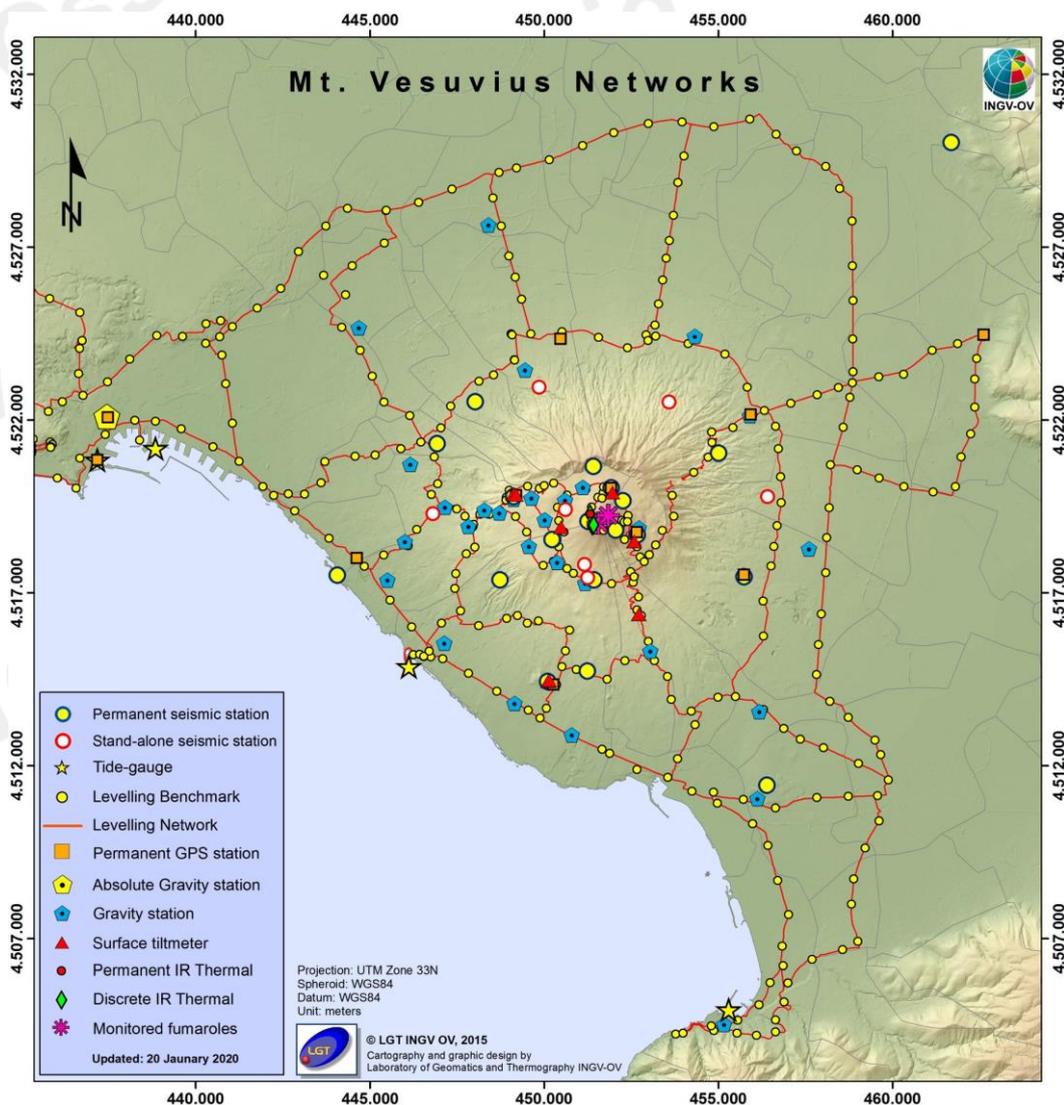


Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

DICEMBRE 2020

A cura della Sezione di Napoli | OSSERVATORIO VESUVIANO



1. SISMOLOGIA

La Rete Sismica Permanente del Vesuvio è mostrata in Figura 1.1.

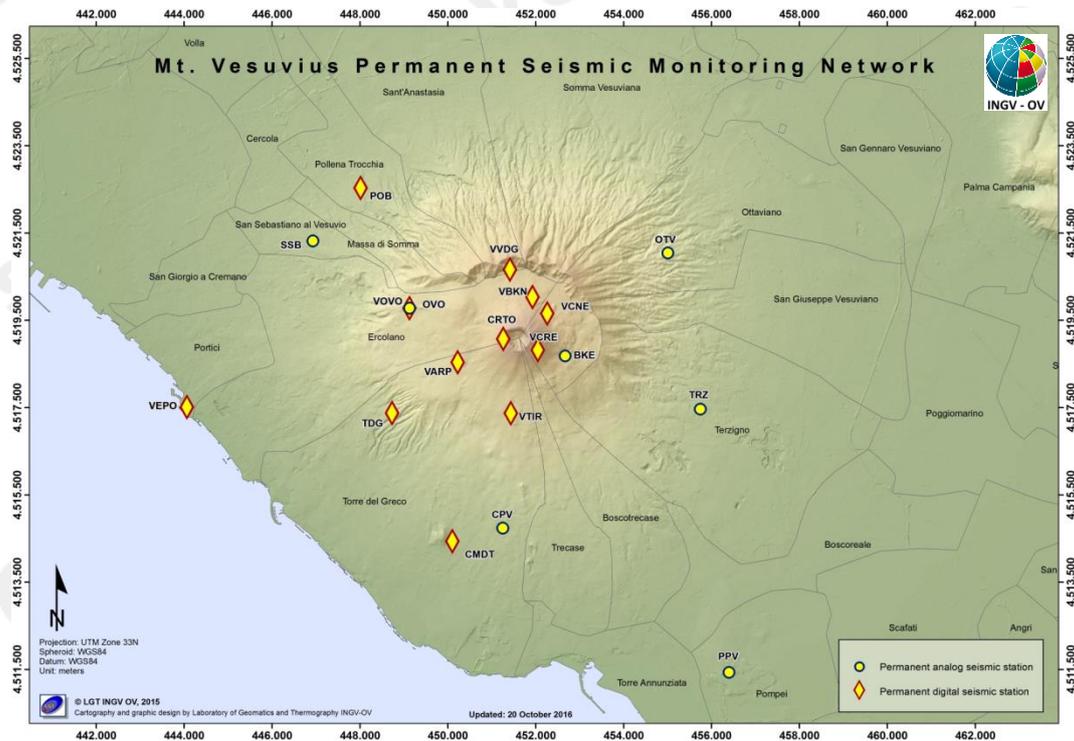


Figura 1.1 - Mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.

Nel corso del mese di dicembre 2020, al Vesuvio, sono stati registrati 100 terremoti (Fig. 1.2). La magnitudo massima è stata pari a $M_d=1.9\pm 0.3$ (evento del 06/12/2020 alle ore 04:38 UTC). È stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 78 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.3.

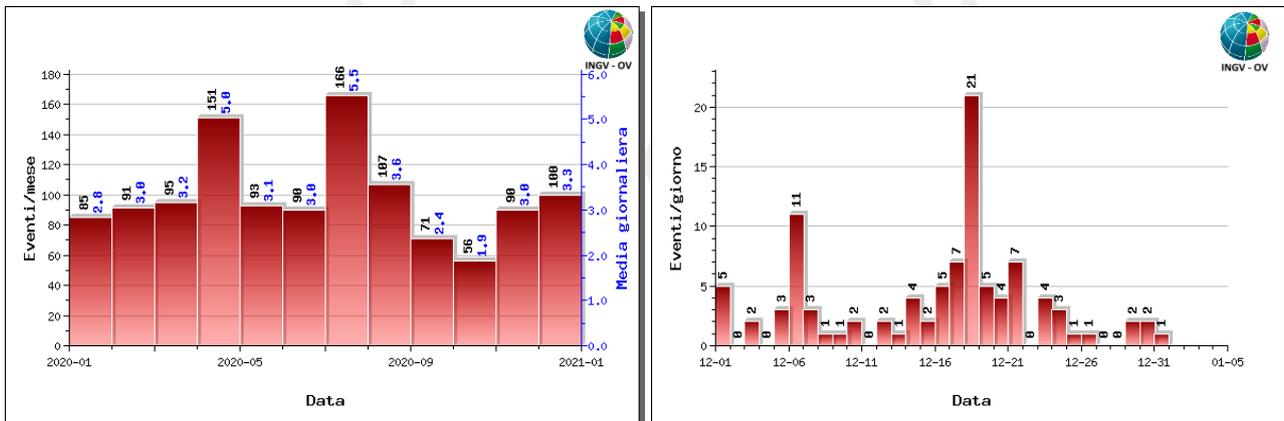


Figura 1.2 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1195), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 100).

In Tabella 1.1 è riportato il numero di eventi registrati suddivisi per classi di magnitudo e le relative percentuali.
Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Figg. 1.2-1.6).

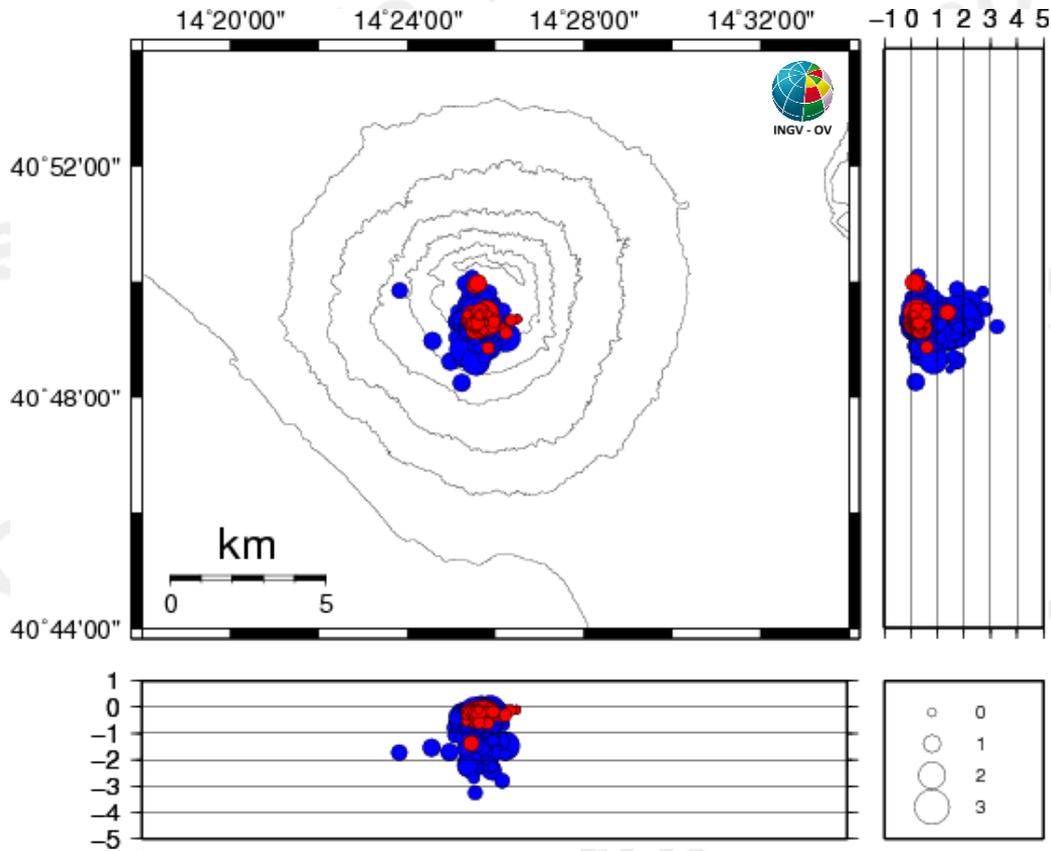


Figura 1.3 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.

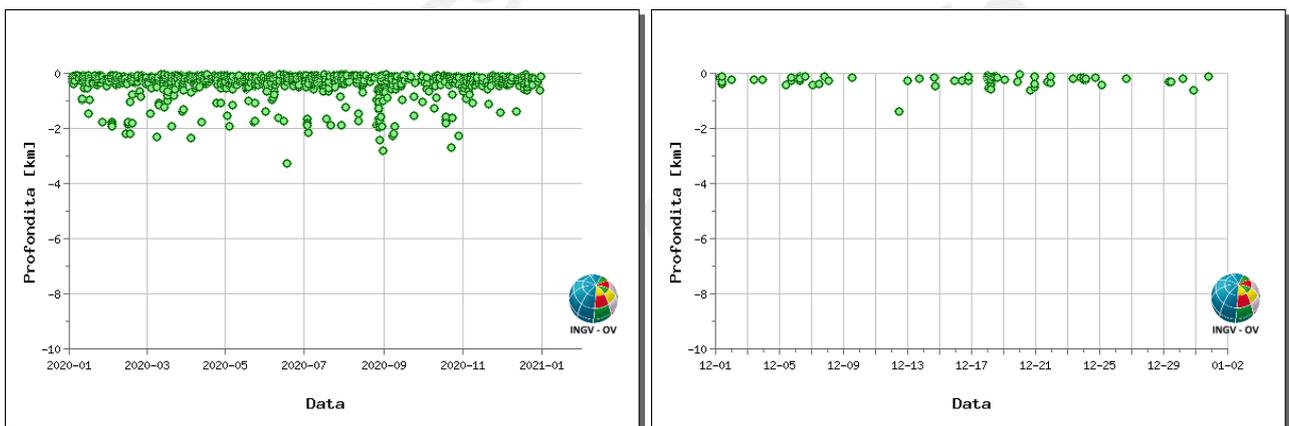


Figura 1.4 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

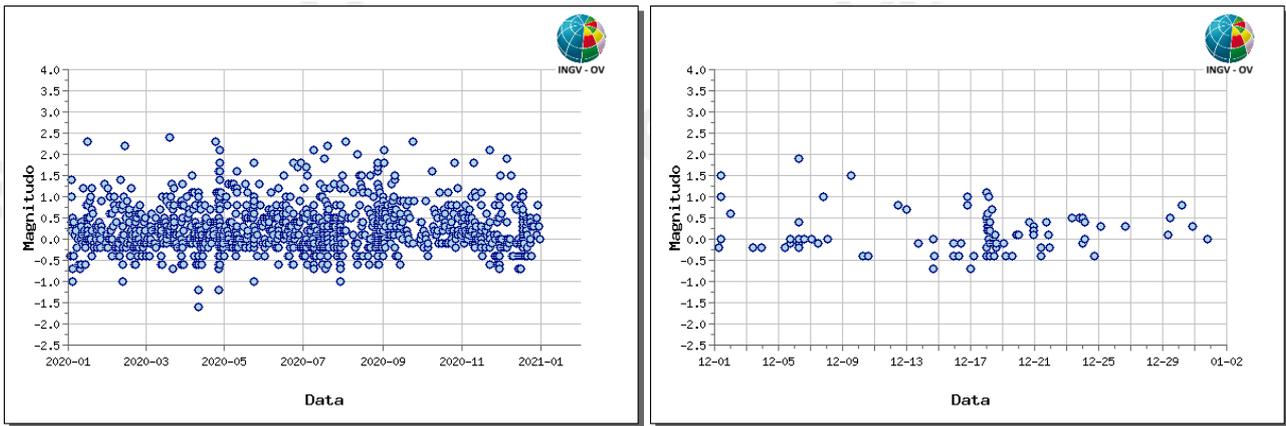


Figura 1.5 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

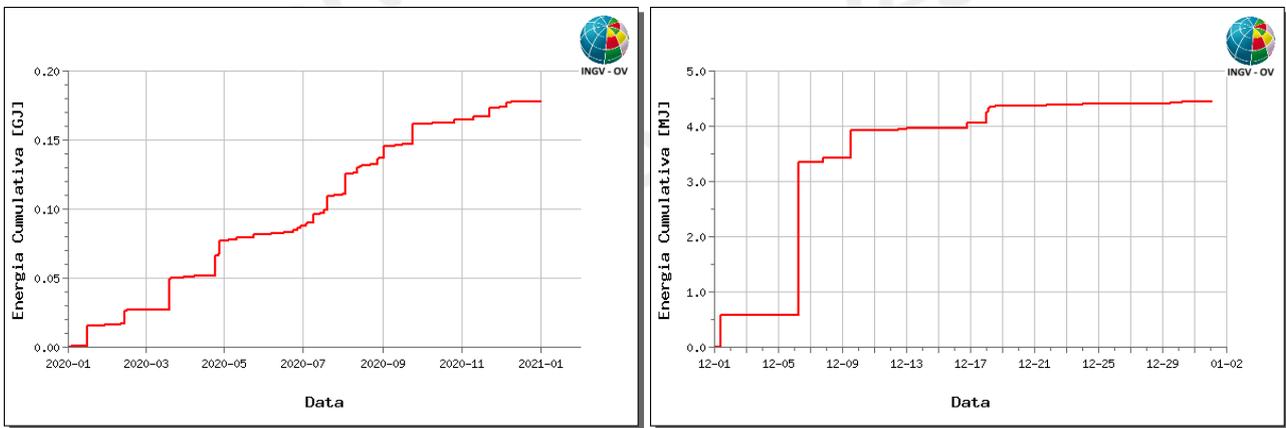


Figura 1.6 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

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

Numero totale terremoti: 100		$M_{dmax}=1.9\pm 0.3$
Numero terremoti con $M_d < 0.0$	44	(44%)
Numero terremoti con $0.0 \leq M_d < 1.0$	45	(45%)
Numero terremoti con $1.0 \leq M_d < 1.5$	6	(6%)
Numero terremoti con $1.5 \leq M_d < 2.0$	3	(3%)
Numero terremoti con M_d N.D.	2	(2%)

Il giorno 04/12, tra le 23:05 e le 23:09 UTC, sono stati registrati 4 segnali sismici con caratteristiche diverse dai classici eventi vulcano-tettonici registrati al Vesuvio e che risultano caratterizzati da un contenuto spettrale con frequenze prevalenti intorno ai 2-6 Hz (Fig.1.7).

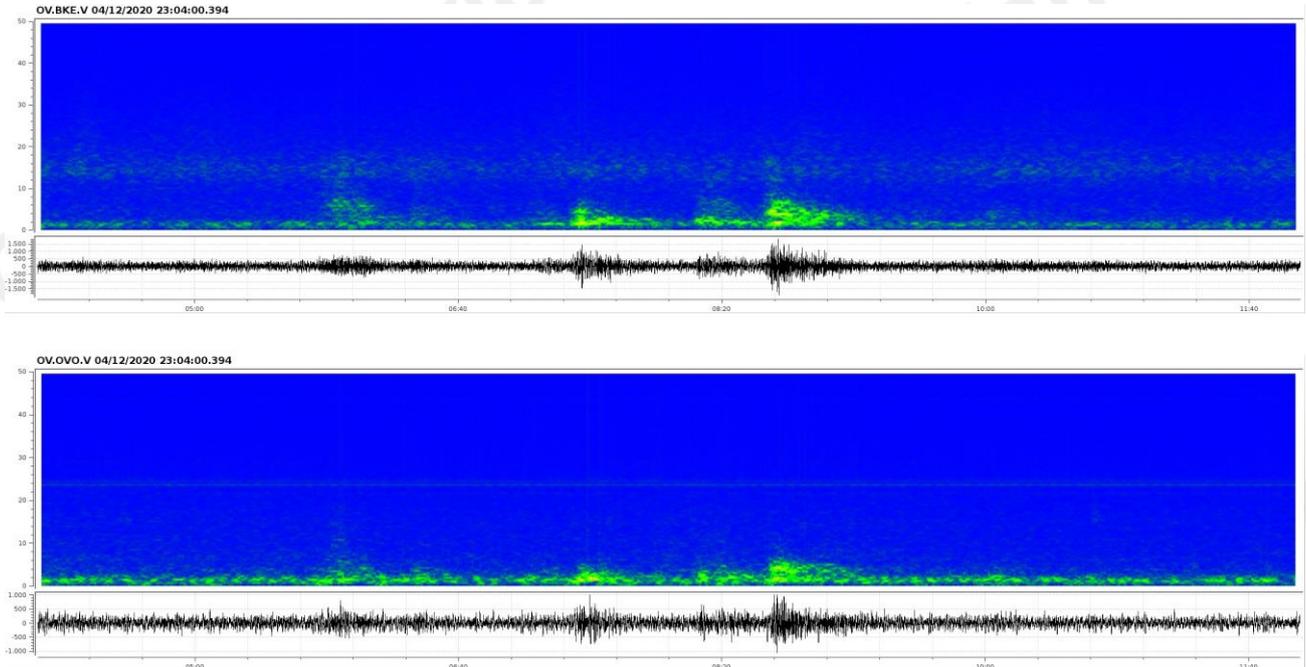


Figura 1.7 – Spettrogrammi degli eventi registrati il 04/12 alle stazioni di Bunker Est (BKE), in alto, e Osservatorio Vesuviano (OVO), in basso.

Le caratteristiche dei segnali sono tali da non consentire localizzazioni affidabili con le tecniche convenzionali nè analisi sulle forme d’onda a causa dell’energia molto bassa.

Questo tipo di segnali, per quanto raramente, è già stato registrato in passato al Vesuvio e potrebbe essere associabile a meccanismi di frattura in volumi focali dalle diverse proprietà meccaniche, come evidenziato dalle tomografie sismiche anche ad alta risoluzione, effettuate nell’area (si vedano, ad esempio: Scarpa et. al, 2002; Del Pezzo & Bianco, 2013; Del Pezzo et al., 2013; De Siena et al., 2009).

In Figura 1.8 è rappresentata la frequenza di accadimento dei terremoti registrati al Vesuvio dal 1972 e la relativa energia cumulativa.

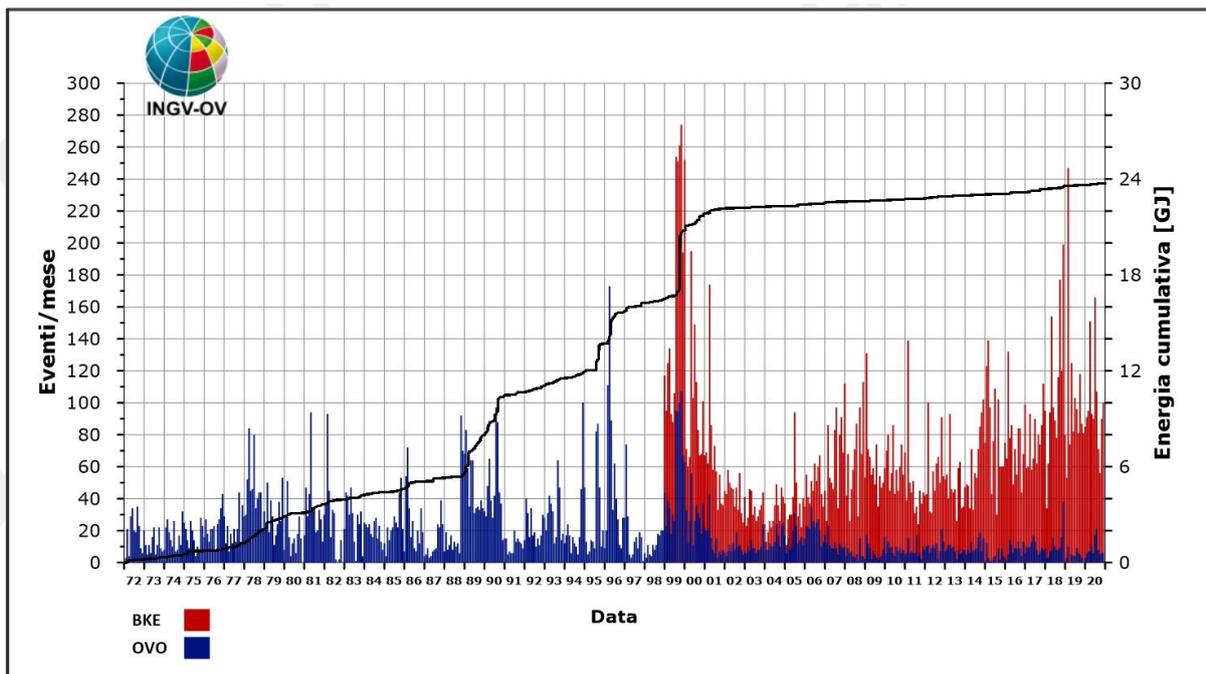


Figura 1.8 – Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.

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.

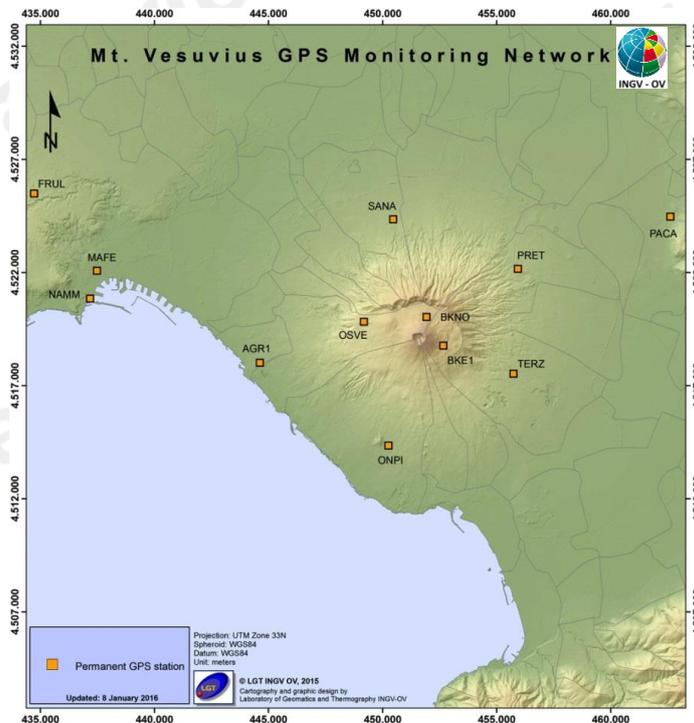


Figura 2.1.1 - Rete GPS Permanente del Vesuvio.

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.

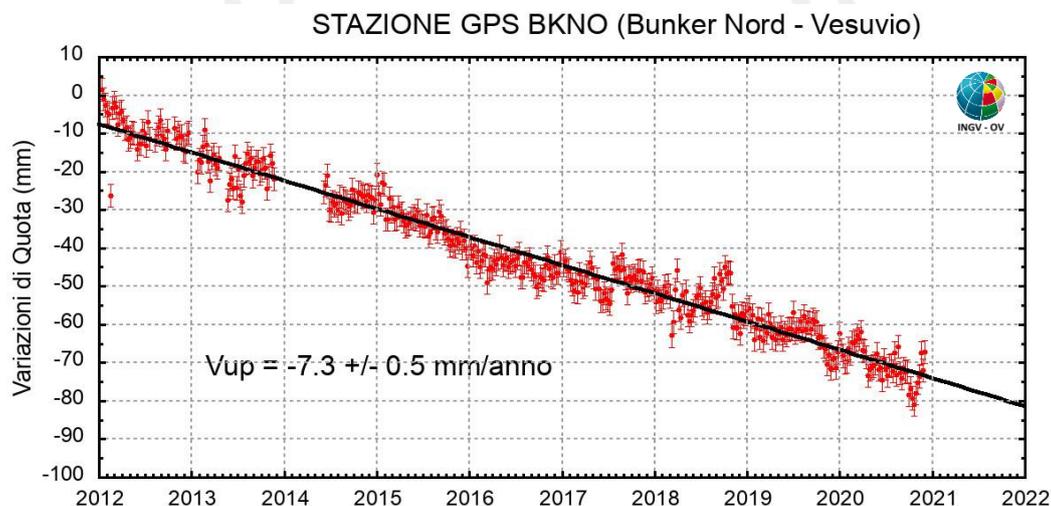


Figura 2.1.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a dicembre 2020.

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).

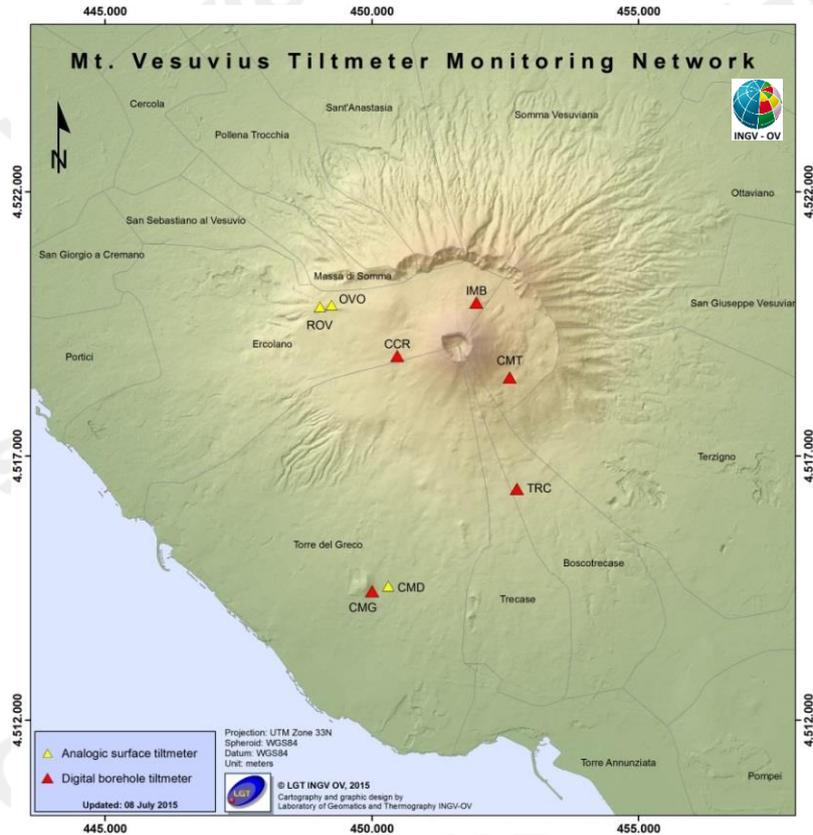


Figura 2.2.1 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.

La variazione tiltmetrica osservata al Vesuvio nel corso del 2020 avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni (Figura 2.2.2).

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.

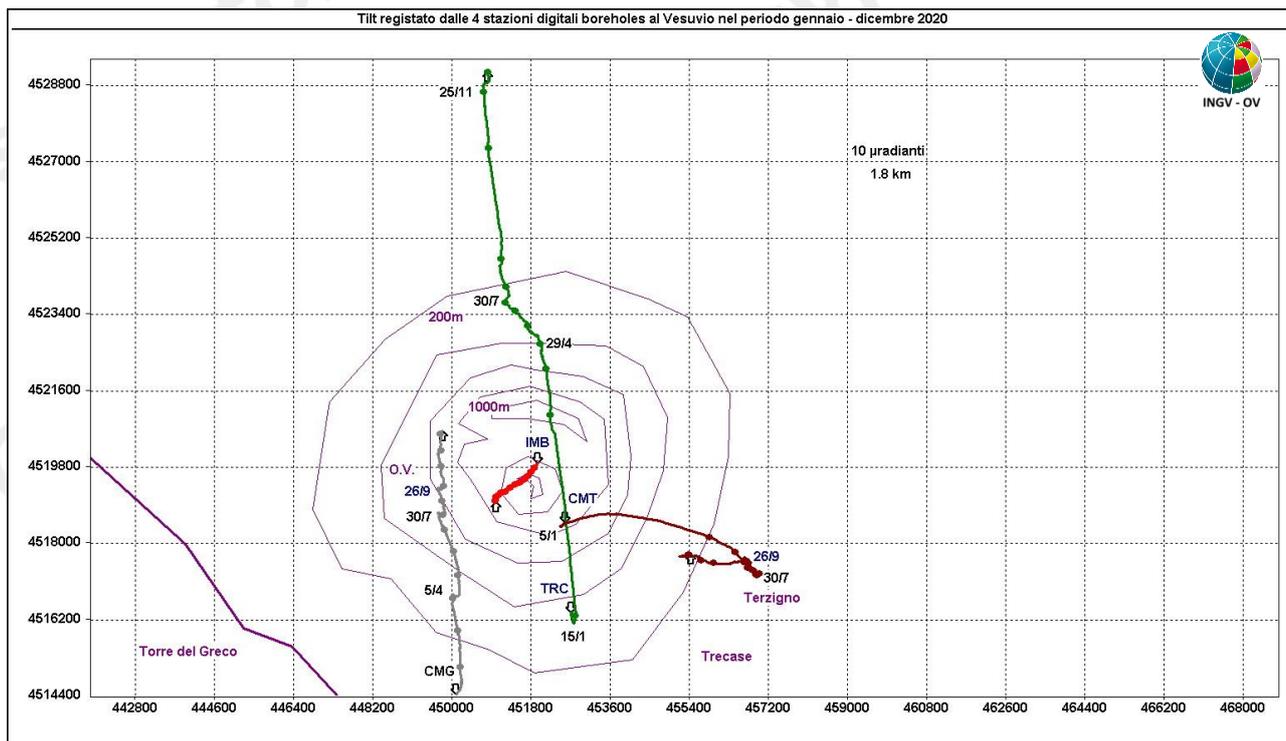


Figura 2.2.2 – Pattern tiltmetrico osservato al Vesuvio. Per comodità di rappresentazione grafica e per una interpretazione più agevole, sono state selezionate in tale figura solo le 4 stazioni “borehole” con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 10 μ radianti o 1.8 km ed i pallini in colore sovrapposti sui vettori tilt indicano intervalli di 30 giorni.

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 (\approx -25 m dal p.c.) acquisiti nel periodo gennaio-dicembre 2020.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	71.6 μ radianti a NNW	0.1 $^{\circ}$ C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	7.3 μ radianti a SW	0.1 $^{\circ}$ C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	34.6 μ radianti a N	0.04 $^{\circ}$ C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	16.4 μ radianti a ESE	0.3 $^{\circ}$ C

In Figura 2.2.3 sono riassunti gli andamenti temporali delle componenti tiltmetriche (filtrate dalle periodicità giornaliere) e termica registrate da ognuna delle 4 stazioni borehole.

Per evidenziare la continuità dei segnali, il periodo di tempo rappresentato parte dal 1 gennaio 2019; inoltre, poiché i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da tale data.

Componenti NS del tilt: nell’ultimo mese CMG e CMT e TRC si inclinano verso N molto lentamente mentre IMB si inclina in direzione S.

Componenti EW del tilt: nell’ultimo mese IMB, CMT e TRC si inclinano ad W mentre CMG mostra invece un andamento oscillante lungo il piano E-W. Il 15 dicembre CMT inverte improvvisamente la sua direzione di tilt, inclinandosi verso E.

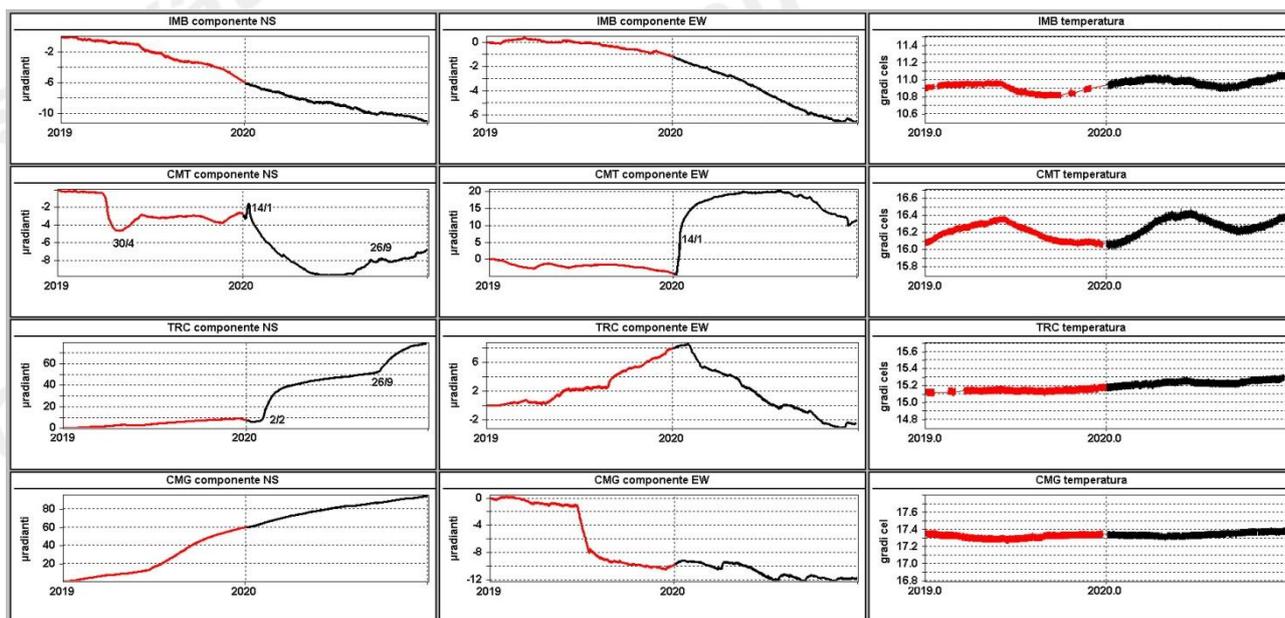


Figura 2.2.3 – Serie temporali dei segnali registrati dalle 4 stazioni “borehole” della rete vesuviana a partire dal 2019 ordinati dal basso verso l’alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in μ radianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente la variazione di inclinazione del suolo a N e ad E, mentre la terza colonna riporta la temperatura in $^{\circ}$ C registrata da ogni sensore. In rosso sono riportati i segnali relativi al 2019 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2020.

Alla luce di quanto riportato, le 3 direzioni prevalenti di tilting risultano:

- NNW nella parte meridionale del Vesuvio ed a quote più basse (rispettivamente CMG e TRC);
- ESE nella porzione settentrionale del vulcano, a quote minori ed a SE del Gran Cono (CMT);
- SW sempre nella porzione settentrionale del vulcano, a quote maggiori ed a N del Gran Cono (IMB).

Le maggiori anomalie in azimuth ed ampiezza risultano sempre concentrate a SE del Gran Cono, in una zona compresa tra i siti-stazione TRC e CMT ma più prossima a CMT e coerenti con un abbassamento del suolo che interessa sia quell’area che la parte occidentale del Vesuvio.

Le temperature registrate in profondità (\approx 25 m) sono tutte in lieve aumento.

2.3 Mareometria

In Figura 2.3.1 è mostrata la Rete Mareografica operativa al Vesuvio.

Nell’area vesuviana si osserva un abbassamento di pochi centimetri nel periodo esaminato (Fig. 2.3.2 a, b).

Il picco visibile verso la fine del mese di luglio 2016 è stato determinato dal malfunzionamento temporaneo del sensore della stazione di riferimento NAMM.

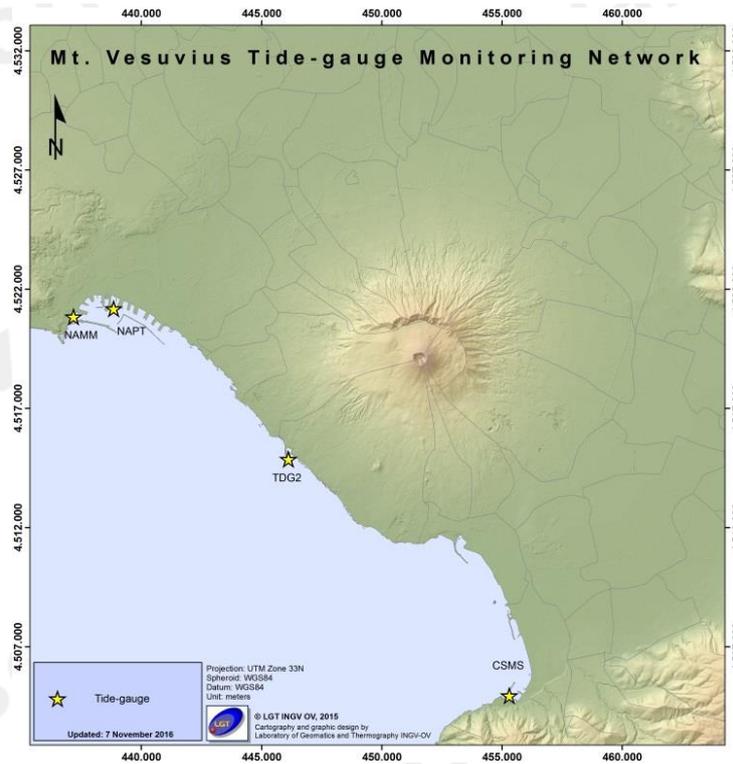


Figura 2.3.1 - Rete Mareografica del Vesuvio

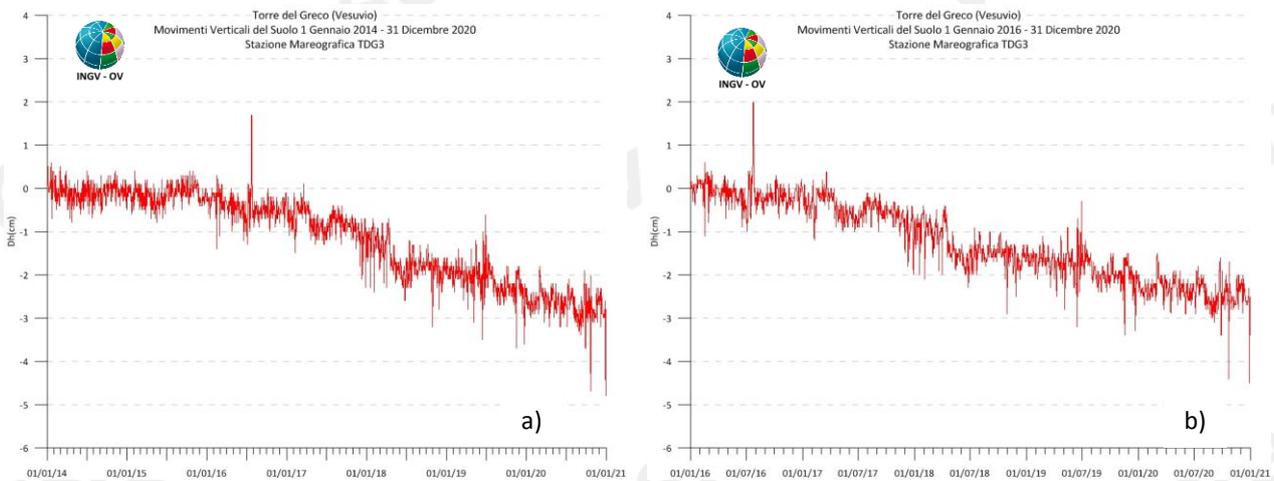


Figura 2.3.2 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - dicembre 2020 (a) e gennaio 2016 - dicembre 2020 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG3). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli Molo S.Vincenzo (NAMM).

I dati nella serie temporale dal 2014 ad oggi sono stati raccordati con i dati riferiti alla ex stazione NAPT (dismessa a febbraio 2016), potendoli considerare omogenei all'interno degli errori di misura.

In definitiva, non si notano deformazioni imputabili a fenomeni vulcanici.

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

Come riportato nei bollettini mensili dei mesi precedenti, nella seconda metà del mese di giugno 2019 è stato effettuato un intervento di manutenzione straordinaria che ha riguardato 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.

La durata del periodo di acquisizione non consente di applicare metodi statistici analitici per la rimozione del trend stagionale. Per tale motivo la rimozione del trend (figura 3.1.2) è stata effettuata mediante applicazione dell'algoritmo empirico di destagionalizzazione denominato "BR" (Background Removal: Chiodini et al., 2007; Sansivero et al, 2013; Vilardo et al, 2015). Il risultato ottenuto dall'applicazione della procedura BR è espresso in termini di residui di temperatura (dT°) e non in termini di temperatura assoluta.

L'analisi della serie temporale dei valori di temperatura massima ottenuti dal vecchio sensore IR (linea blu in Fig. 3.1.2), seppur in presenza di oscillazioni di varia ampiezza e periodo, evidenzia un costante decremento del campo di temperatura superficiale dell'area target.

La serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nella serie di immagini IR acquisite dal nuovo sensore IR (linea rossa in Fig. 3.1.2) mostra un andamento sostanzialmente stazionario ed evidenzia che i valori di temperatura massima risultano essere sensibilmente più elevati rispetto a quelli forniti dal vecchio sensore.

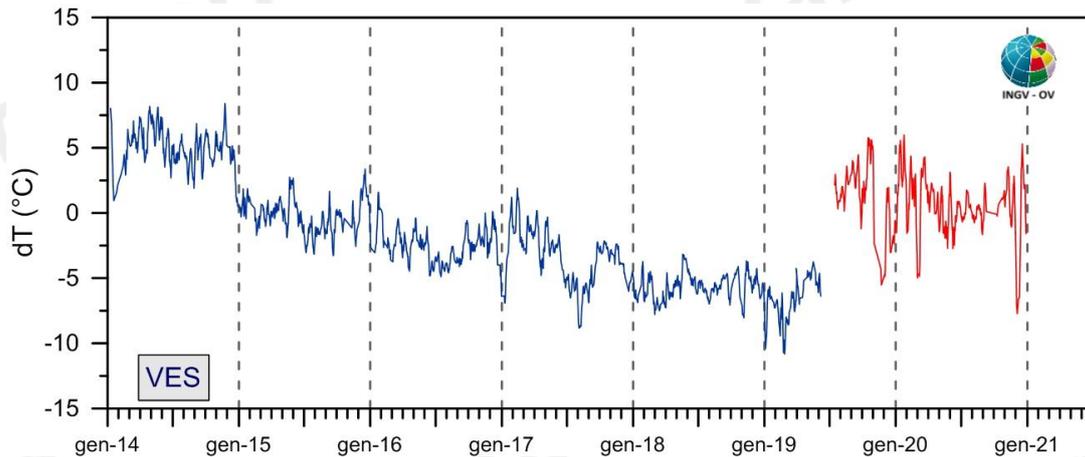


Figura 3.1.2 - Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali dei valori di temperatura massima rilevati nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell' algoritmo BR [medie settimanali termocamera 320x240 (blu); medie settimanali termocamera 640x480 (rosso)].

Le differenze nell'intensità della radiazione termica massima rilevate dalle due diverse termocamere è dovuta alla loro differente risoluzione spaziale. Infatti, nel grafico di figura 3.1.3, i valori della temperatura media delle scene acquisite con la precedente strumentazione (linea blu) e con la nuova (linea rossa), sono del tutto confrontabili.

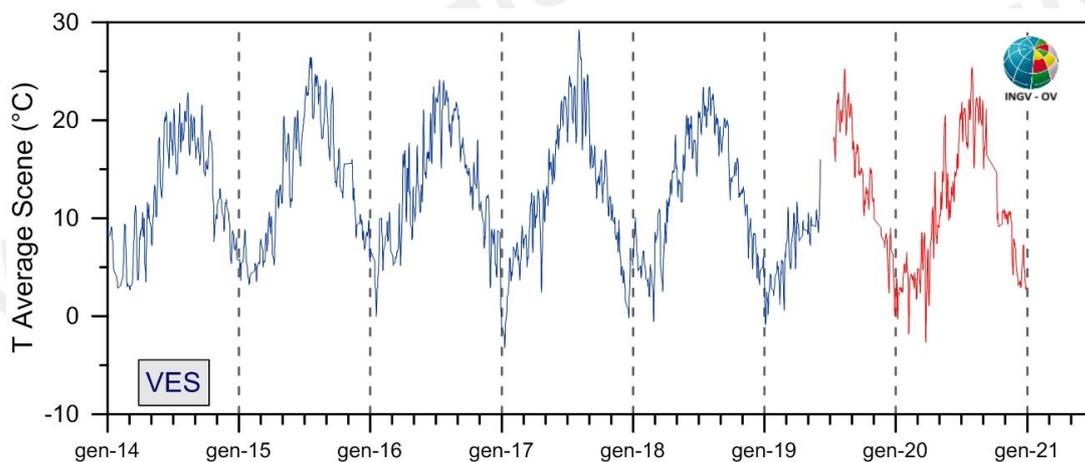


Figura 3.1.3 - Stazione Vesuvio: Serie temporale dei valori medi di temperatura relativi ad ogni immagine acquisita con la precedente stazione (linea nera) e con quella di recente installazione (linea rossa).

Tale osservazione suggerisce la stabilità dei valori di energia termica irradiata dall'intera area target e conferma pertanto il perdurare di un andamento sostanzialmente stazionario delle temperature superficiali dell'area monitorata.

3.2 Monitoraggio Termico con Termocamera Mobile e Termocoppia

Nel corso del mese di dicembre 2020, a causa delle avverse condizioni meteorologiche per tutto il periodo previsto per le misure, non è stato possibile accedere ai siti per il campionamento.

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di dicembre 2020 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) e la stazione FLXOV7 installata in area di fondo cratere (Figura 4.1);
- analisi della composizione delle fumarole di fondo 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 dicembre sono stati analizzati i fluidi emessi dalla fumarola di fondo cratere FC5 situata in prossimità della stazione geochimica FLXOV7 (Fig. 4.1). Questa fumarola è stata già in precedenza analizzata in alternativa alla fumarola storica FC2 (Chiodini et al., 2001), non più raggiungibile a causa degli eventi franosi avvenuti negli ultimi anni. I dati analitici comparati con quelli della fumarola FC2 nei diagrammi di Figura 4.2 mostrano composizioni simili e variazioni composizionali contemporanee. Una dettagliata descrizione delle variazioni e delle possibili interpretazioni sono riportate nel lavoro scientifico Caliro et al. (2011). Analogamente le stime di temperatura e di pressione parziale di CO₂ di equilibrio di questi campioni (Fig. 4.3) mostrano una diminuzione dei valori, supportando il trend pluriennale di diminuzione dell'attività idrotermale all'interno dell'area craterica del Vesuvio (vedi Bollettini di Sorveglianza precedenti).

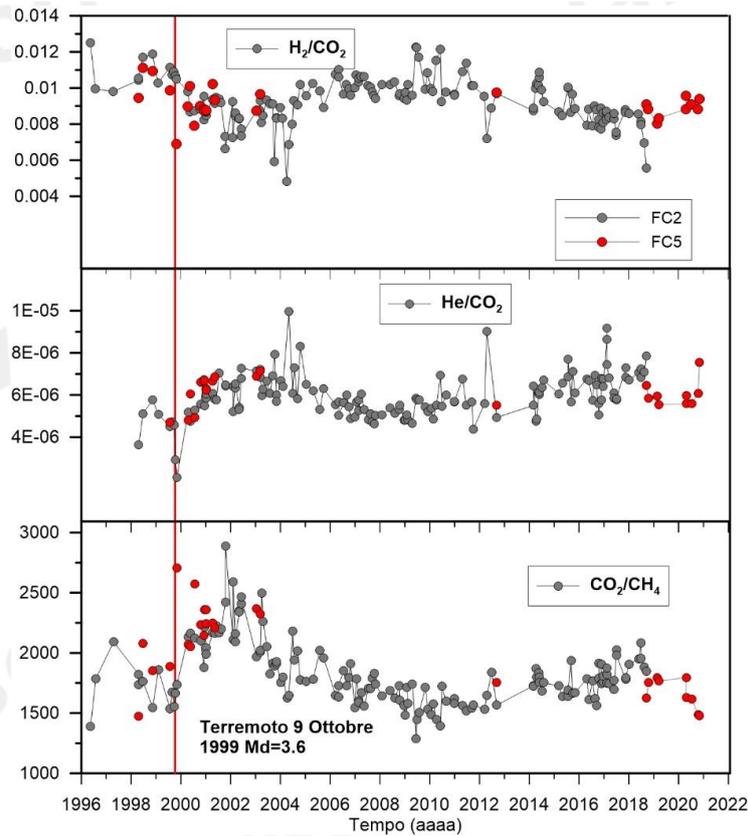


Figura 4.2 - Variazioni composizionali delle fumarole FC2 (simboli grigi) e FC5 (simboli rossi) dal 1996.

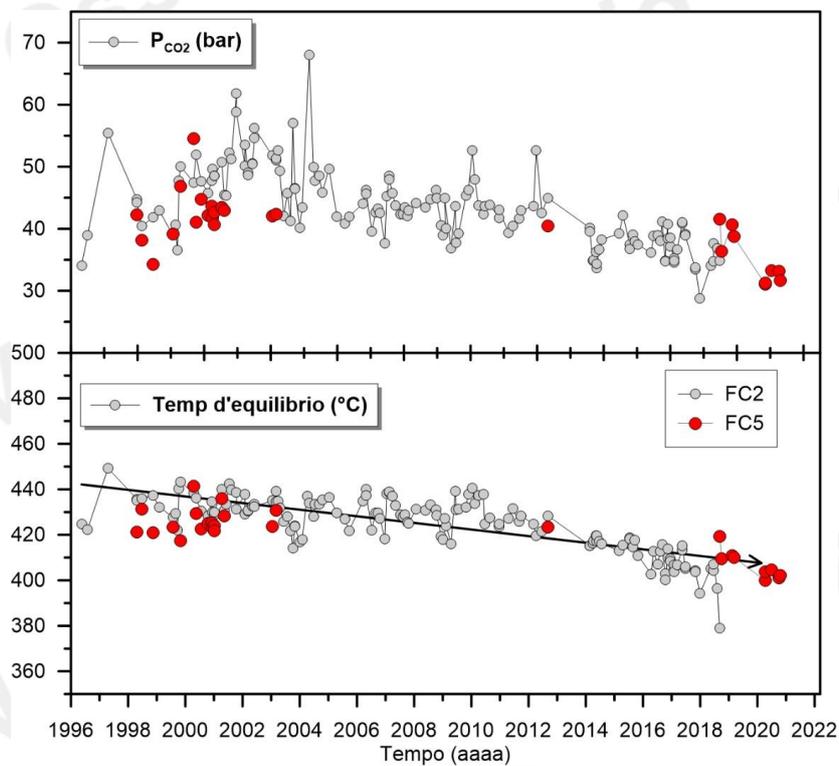


Figura 4.3 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO_2 stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio sulla base della composizione della fumarola FC2 (simboli grigi) e FC5 (simboli rossi). Le stime per entrambe le fumarole indicano una diminuzione nel tempo dei valori d'equilibrio.

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (FLXOV6, settore SW), misura: il 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. 4.4). 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.).

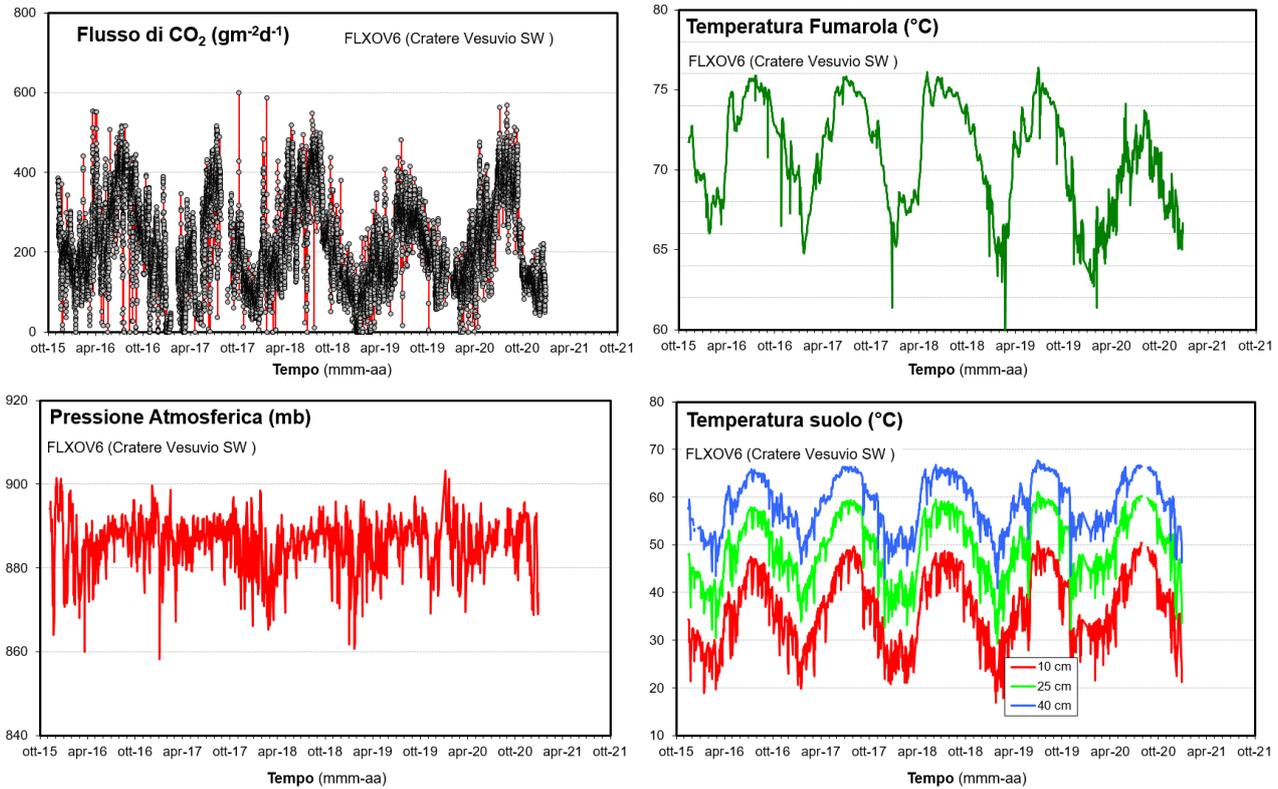


Figura 4.4 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

La stazione di fondo cratere (FLXOV7) acquisisce i seguenti parametri: flusso di CO₂ dal suolo (ogni 4 ore); temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area (ogni 10 minuti). I parametri misurati dalla stazione non hanno mostrato variazioni rilevanti riconducibili a modifiche dell'attività vulcanica (Figura 4.5).

Entrambe le stazioni sono connesse alla rete di trasmissione Wi-Fi e i parametri acquisiti sono trasmessi in tempo reale alla Sala di Monitoraggio.

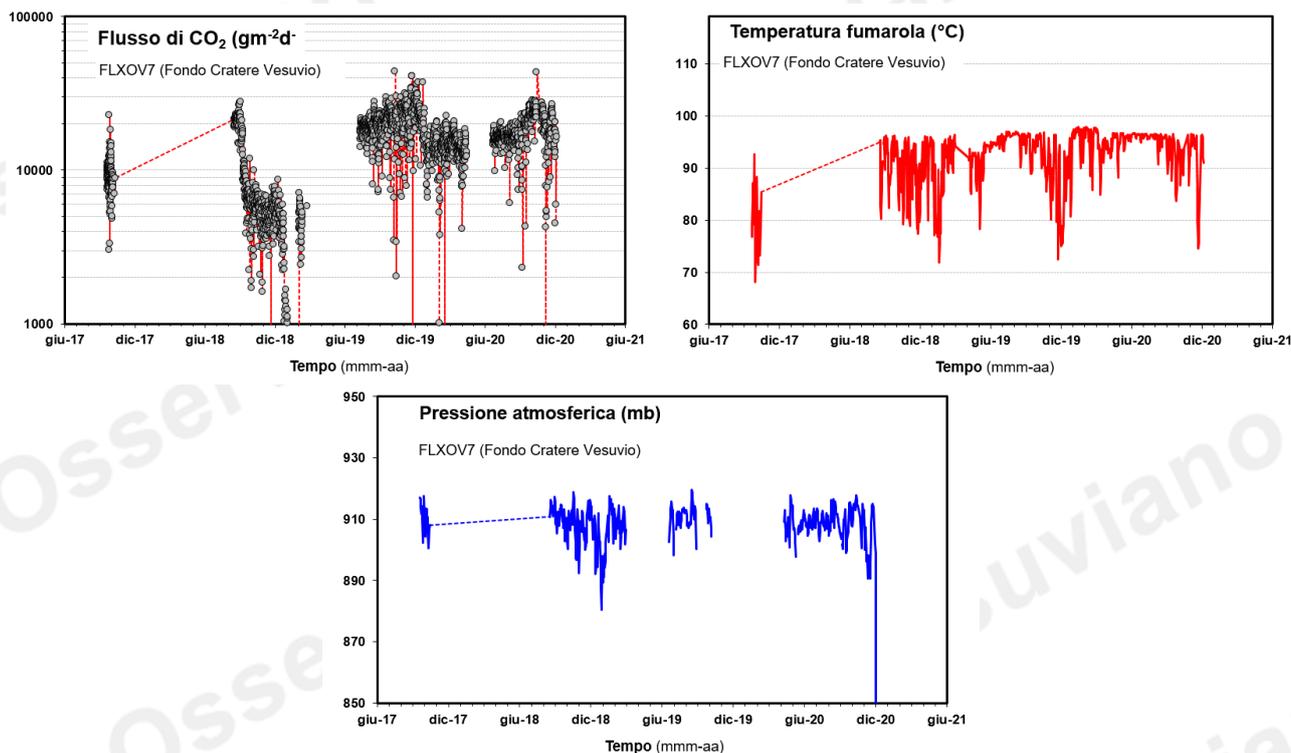


Figura 4.5 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV7) installata in area di fondo cratere del Vesuvio. I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI DICEMBRE 2020 E VALUTAZIONI

- 1) SISMOLOGIA:** Al Vesuvio permane una sismicità di fondo con 100 terremoti registrati ($M_{dmax}=1.9\pm 0.3$) di cui 78 localizzati prevalentemente in area craterica con profondità che non hanno superato 1.6 chilometri.
- 2) DEFORMAZIONI:** Dai dati GPS, Mareografici 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 massima.
- 4) GEOCHIMICA:** Le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul bordo e sul fondo 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

- 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.
- Chiodini G., Marini L., and Russo M. (2001) Geochemical evidence for the existence of high-temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano, Italy. *Geochim. Cosmochim. Acta* **65**, 2129-2147.
- 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, F. (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.
- 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 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.