

1. SISMOLOGIA

Nel corso del mese di dicembre 2018 al Vesuvio sono stati registrati 199 terremoti (Fig. 1.1). La magnitudo massima è stata pari a $M_d=2.5$ (eventi del 02/12 alle 19:09 e alle 23:42 UTC).

E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 170 degli eventi registrati che risultano localizzati in area craterica a profondità comprese nei primi 3 km (Fig. 1.2).

Tra le 10:01 UTC del 01/12 e le 07:38 UTC del 02/12 è stato registrato uno sciame sismico consistito in una sequenza di 42 eventi, di magnitudo $-0.6 \leq M_d \leq 2.2$, localizzati in area craterica a profondità comprese tra 0.7 e 2.6 km.

Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5).

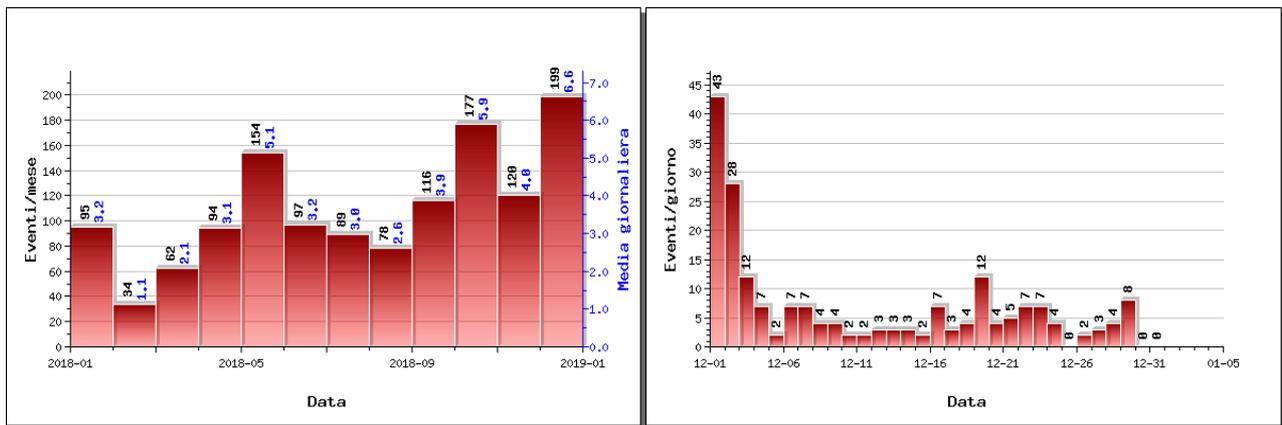


Figura 1.1 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1315), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 199).

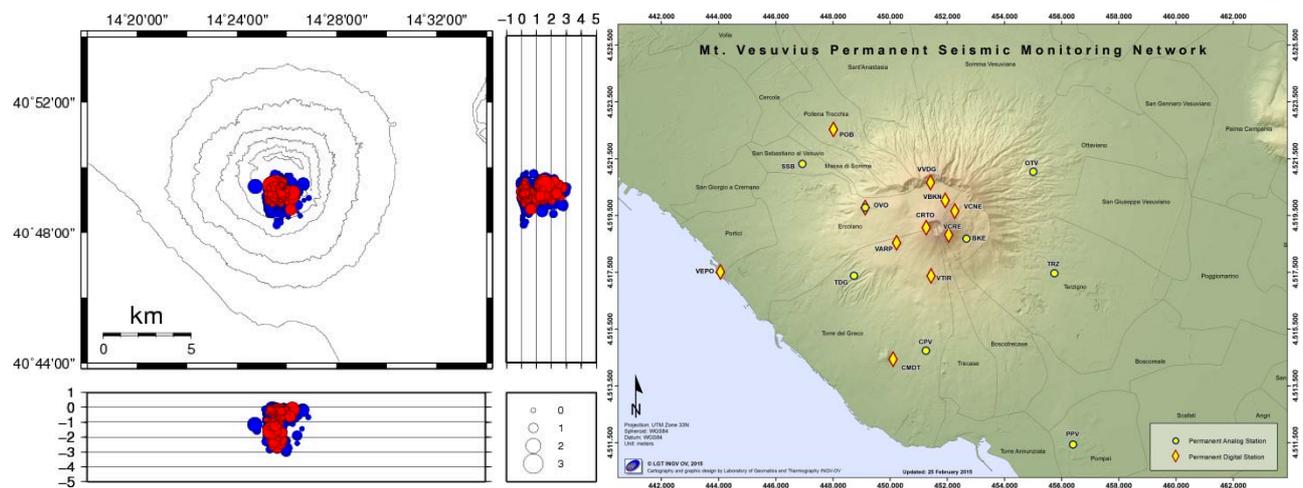


Figura 1.2 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.

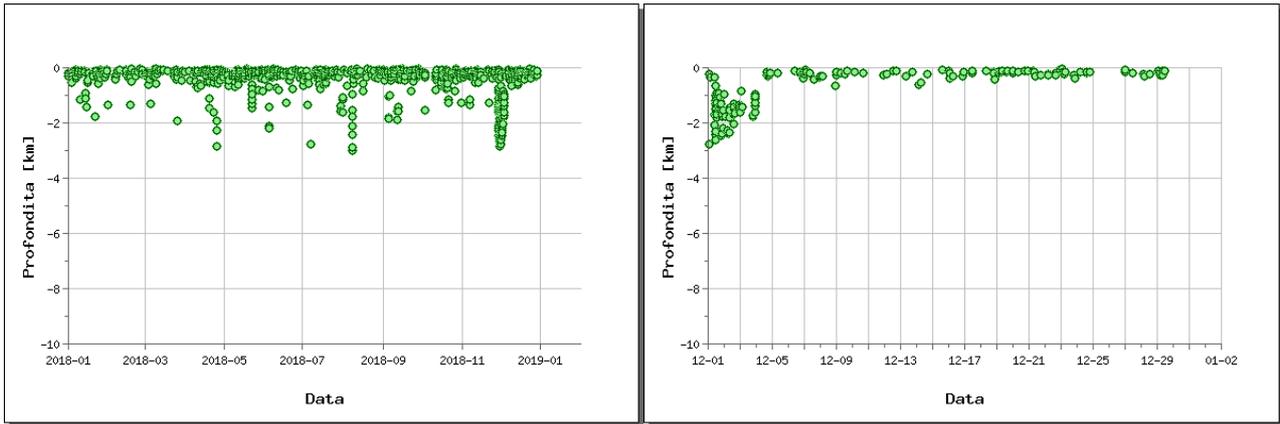


Figura 1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

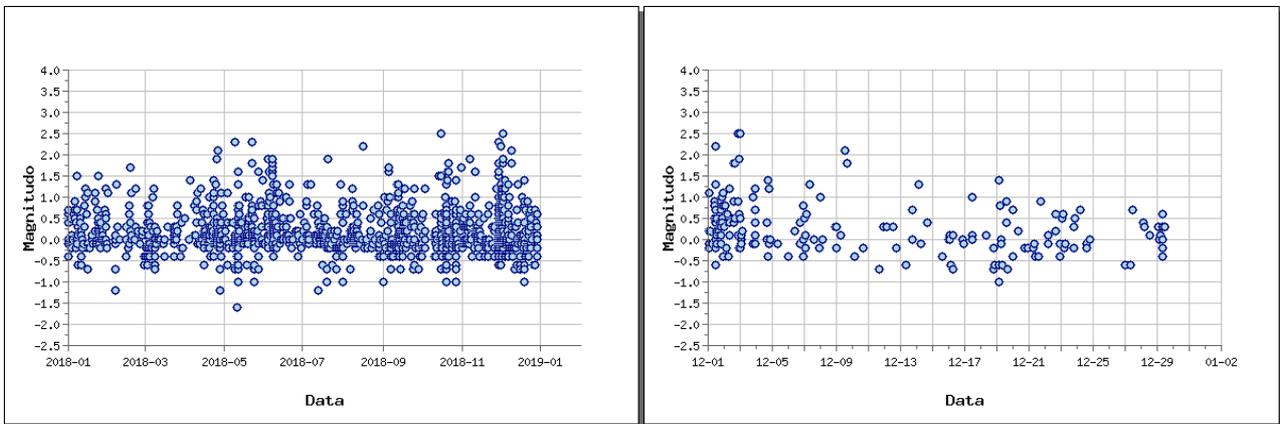


Figura 1.4 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

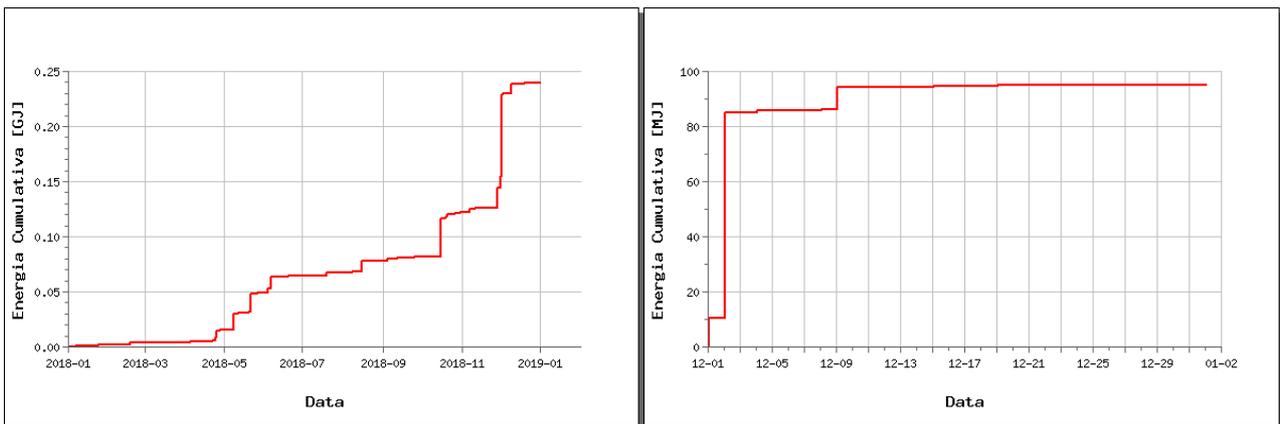


Figura 1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

L'analisi dei meccanismi focali degli eventi più energetici del mese di dicembre (Tabella 1.1) mostra, per entrambi, una soluzione associabile ad un meccanismo di tipo normale con componente obliqua (Fig. 1.6).

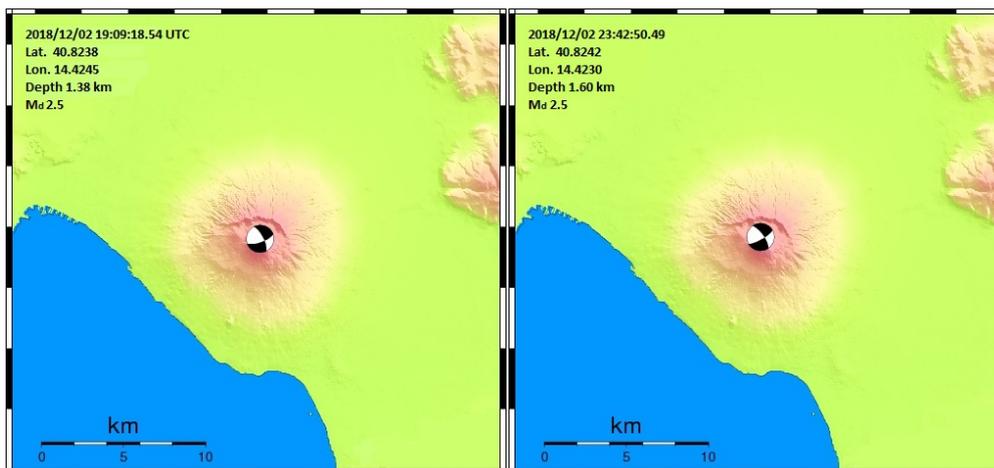


Figura 1.6 – Localizzazioni e meccanismi focali degli eventi del 02/12 alle 19:09 e 23:42 (UTC).

Tabella 1 – Parametri ipocentrali dei terremoti di magnitudo ≥ 2.5 registrati al Vesuvio nel mese di dicembre 2018.

Data UTC	Md	Lat N	Long E	Prof. (km)
2018/12/02 19:09:18	2.5	40.8238	14.4245	1.38
2018/12/02 23:42:50	2.5	40.8242	14.4230	1.60

Il giorno 01/12, alle 05:20 e alle 05:21 UTC, sono stati registrati 2 segnali sismici con caratteristiche diverse dai classici eventi vulcano-tettonici registrati al Vesuvio e caratterizzati da un contenuto spettrale con frequenze prevalenti intorno ai 4-6 Hz (Fig.1.7).

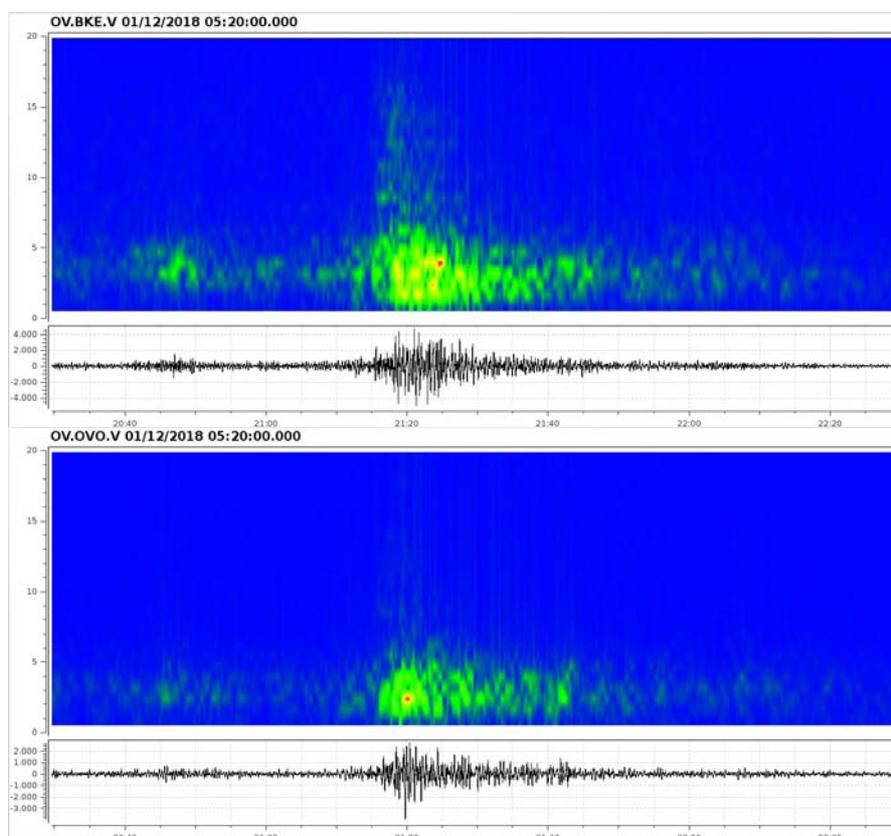


Figura 1.7 – Spettrogrammi degli eventi registrati il 01/12 alle 05:20 e 05:21 UTC alle stazioni di Bunker Est (BKE, in alto) e Osservatorio Vesuviano (OVO, in basso).

Le caratteristiche dei segnali sono tali che non consentono localizzazioni affidabili con le tecniche convenzionali. L'analisi delle forme d'onda alle varie stazioni permette, comunque, di individuare come zona di accadimento l'area craterica e una profondità stimabile intorno ai 3 km.

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 (La Rocca e Galluzzo, 2016).

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

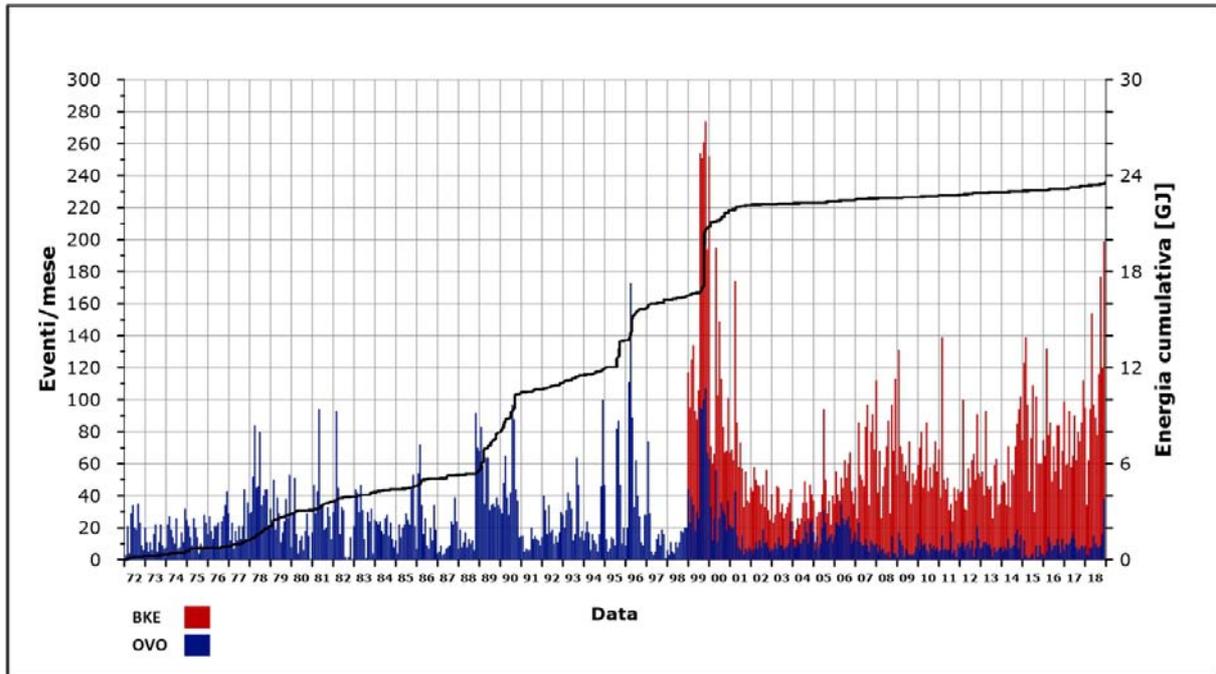


Figura 1.8 – Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.

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 rilevabile solo in alcune occasioni alla stazione OVO (Sede Osservatorio Vesuviano). Nel mese di dicembre l'incremento generale del numero di eventi è stato riscontrato, per quanto in misura ridotta, anche alla stazione OVO.

2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

GPS

In Figura 2.1 è mostrata la Rete GPS Permanente operativa al Vesuvio con 8 stazioni ubicate sulla struttura vulcanica.

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 (Figure 2.2 e 2.3), verosimilmente dovuta a processi di compattazione e/o scivolamento di terreni poco coerenti ed in forte pendenza ed effetti gravitazionali.

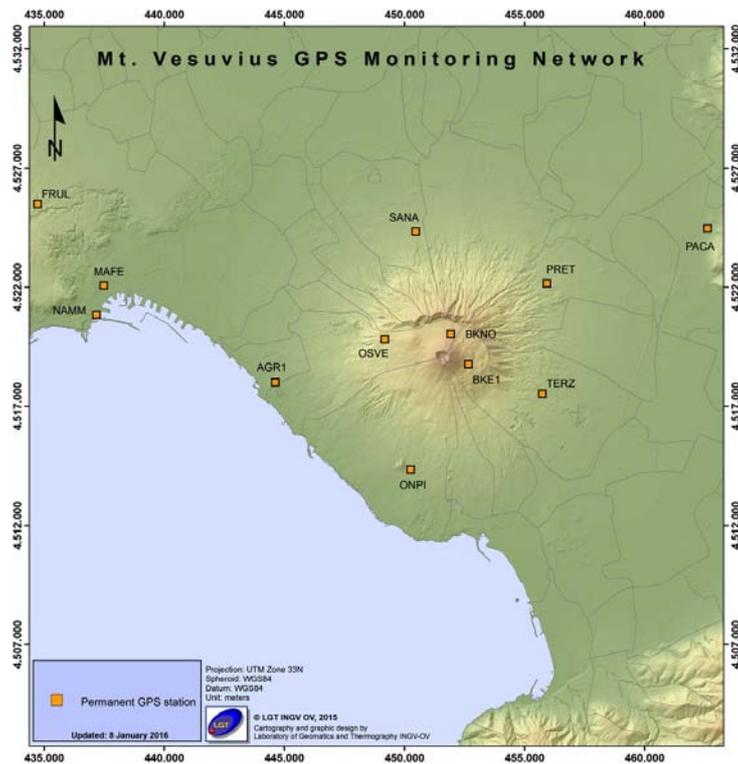


Figura 2.1 - Rete GPS Permanente del Vesuvio.

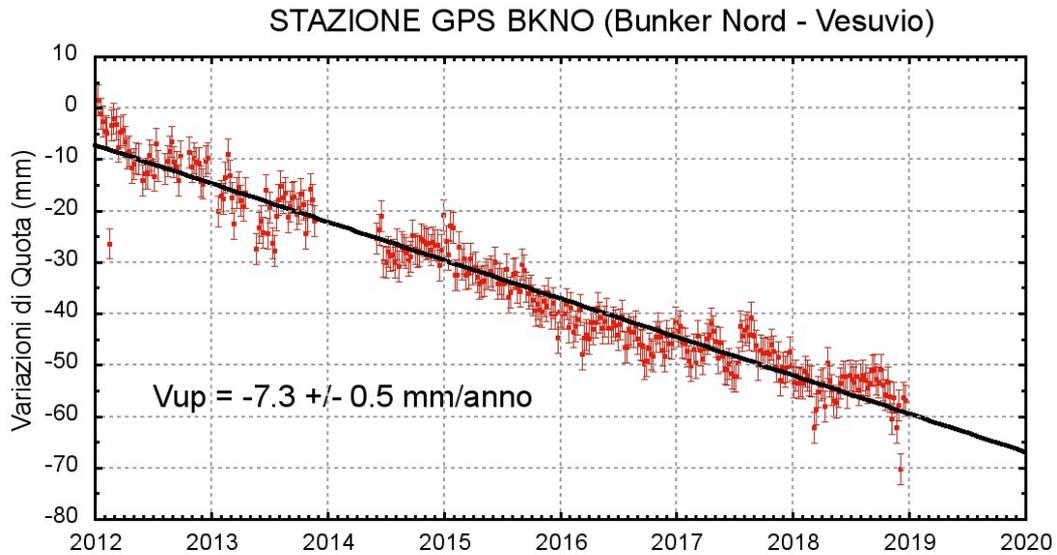


Figura 2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a dicembre 2018.

Mareometria

In Figura 2.4 è mostrata la Rete Mareografica operativa al Vesuvio.

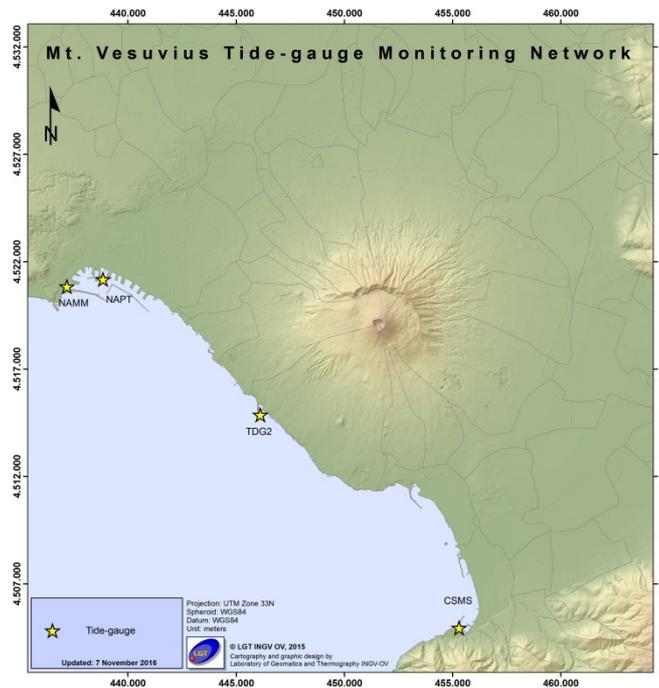


Figura 2.4 - Rete Mareografica del Vesuvio

Nell'area vesuviana si osservano leggeri movimenti verticali del suolo (circa 2 cm in abbassamento dal 2014) non imputabili a fenomeni vulcanici come rilevato dalle analisi dei dati alla stazione di Torre del Greco (TDG2) (Figura 2.5).

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

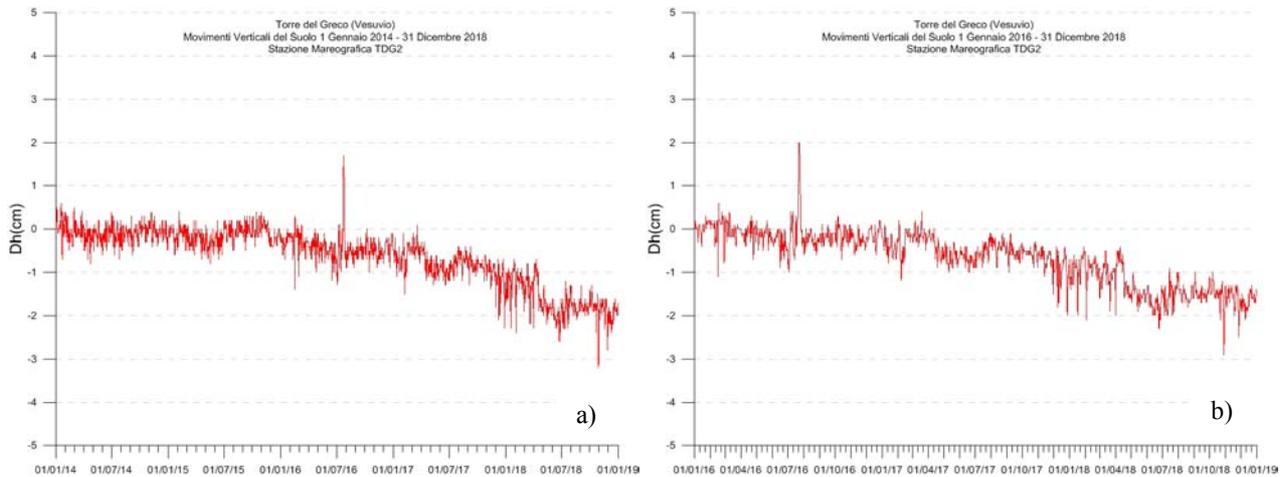


Figura 2.5 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - dicembre 2018 (a) e gennaio 2016 - dicembre 2018 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e 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.

Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni (Fig. 2.6) 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).

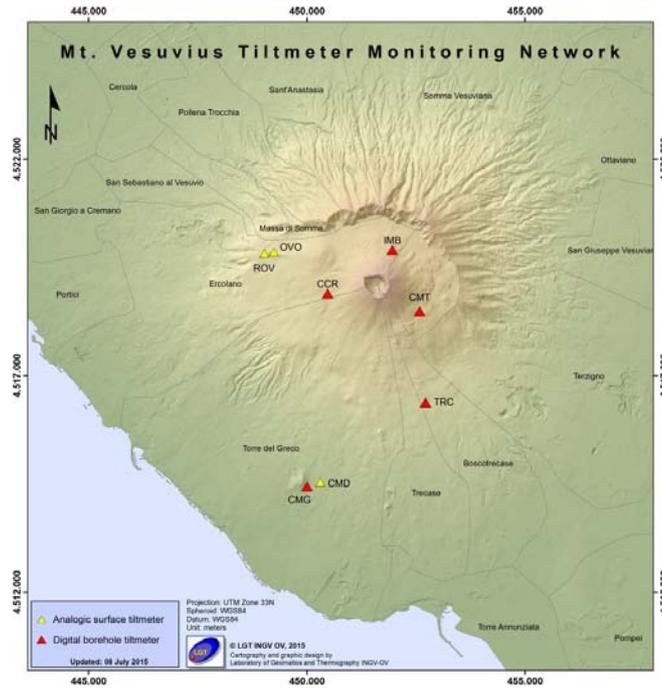


Figura 2.6 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.

La variazione tiltmetrica osservata al Vesuvio nel periodo gennaio-dicembre 2018 avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni ed è riportata in Figura 2.7.

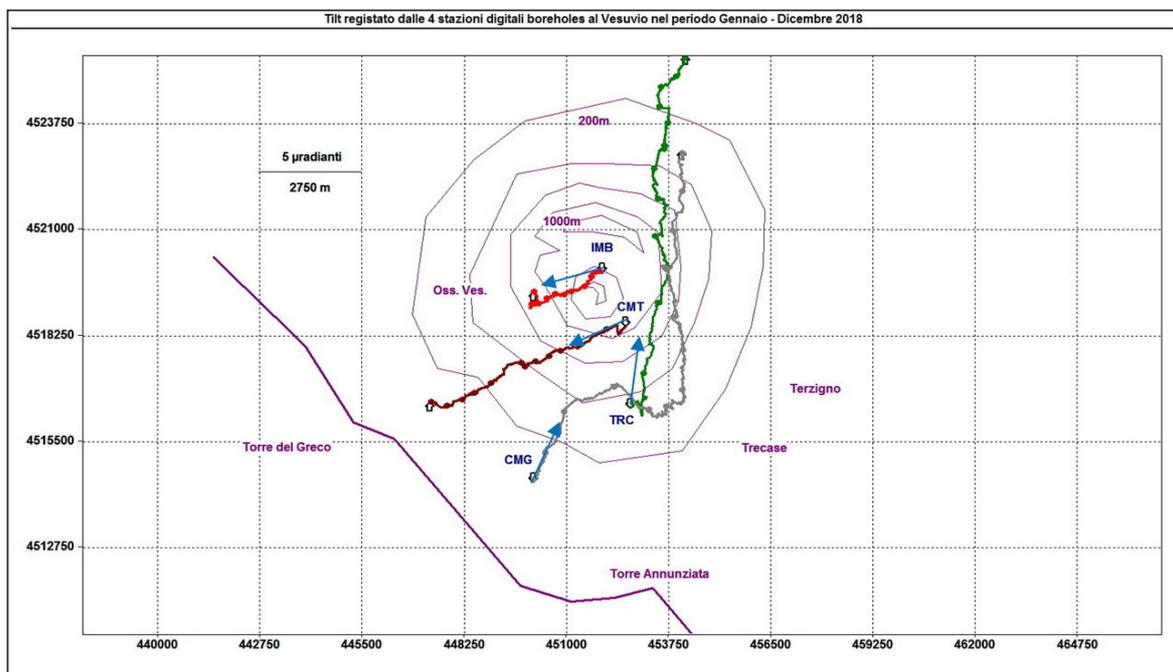


Figura 2.7 – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio nel periodo gennaio-dicembre 2018. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni borehole con sensori ubicati tra 20 e 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale ad 5 μradianti o 2.75 km. I pallini sovrapposti sui vettori tilt indicano l'inizio di ogni mese. Le freccette blu sovrapposte (non in scala) indicano la direzione di abbassamento del suolo.

La deformazione relativa ad 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.

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 periodo gennaio-dicembre 2018.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	16.8 μ radianti a N	0.02 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	3.5 μ radianti a WSW	0.10 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	17.3 μ radianti a NNE	-0.08 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	10.2 μ radianti a WSW	-0.15 °C

In Figura 2.8 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 2017; poiché, inoltre, i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da tale data.

Le componenti NS delle stazioni più in quota (IMB e CMT) mostrano un trend di inclinazione verso S mentre il trend di quelle EW è in direzione W, fatta eccezione per IMB che mostra una tendenza ad inclinarsi in direzione NE dall'ultima settimana di ottobre; una situazione opposta si ha invece alle stazioni situate a quote più basse (TRC e CMG) dove le componenti NS mostrano una inclinazione in direzione N. Inoltre, le componenti EW di TRC e CMG mostrano nuovamente, dall'ultima settimana di ottobre, una lieve tendenza ad inclinarsi maggiormente verso E.

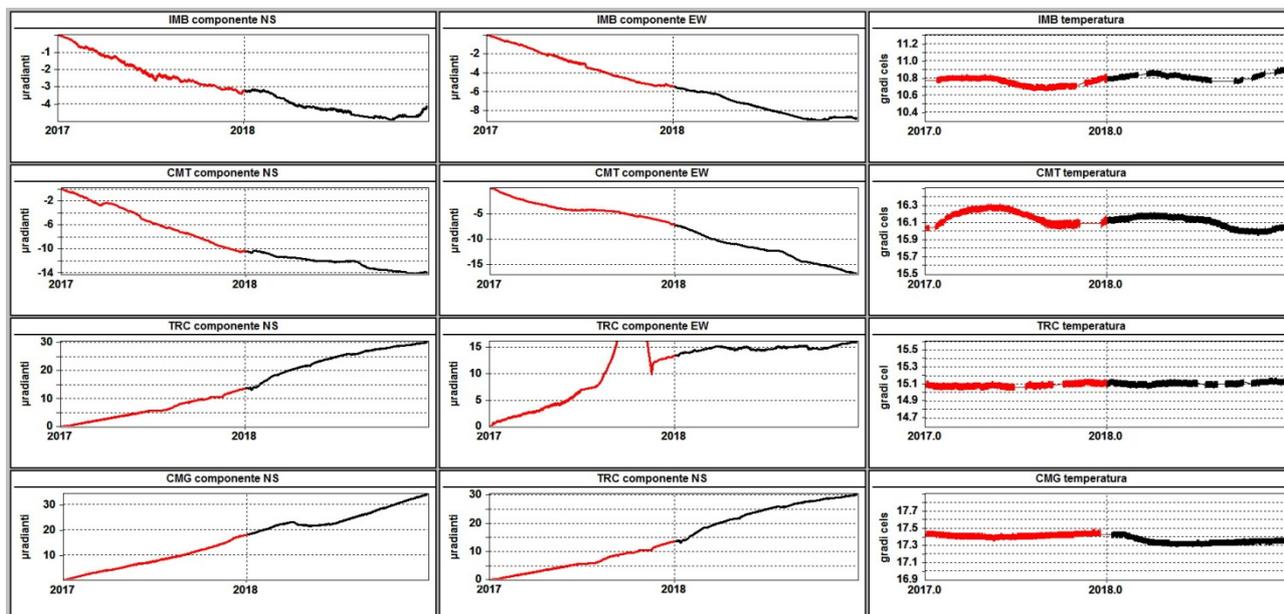


Figura 2.8 – Serie temporali dei segnali registrati a partire da gennaio 2017 dalle 4 stazioni “borehole” della rete vesuviana, con sensori ubicati a 25 m di profondità, ordinate dal basso verso l’alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in μ radianti i cui valori 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 °C registrata da ogni sensore. In rosso sono riportati i segnali relativi al 2017 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2018.

Dal 27 novembre il trend cambia almeno per le stazioni più in quota, poiché la componente NS di IMB inverte la sua direzione di tilting inclinandosi decisamente a N e lo stesso fenomeno interessa la stazione CMT anche se in misura meno marcata.

Si individuano dunque 2 direzioni prevalenti di tilting: NNE nella parte meridionale del Vesuvio ed a quote più basse (CMG e TRC), WSW nella porzione settentrionale del vulcano ed a quote maggiori (IMB e CMT).

Ma, come anticipato in precedenza, dal 27 novembre si osserva un cambiamento della direzione di tilting che interessa le stazioni più in quota, riassunto nell'odografo di Figura 2.9 che mostra come essa sia variata a CMT ma ancora di più ad IMB, anche se le ampiezze della deformazione risultano inferiori al μ radiante e quindi minime.

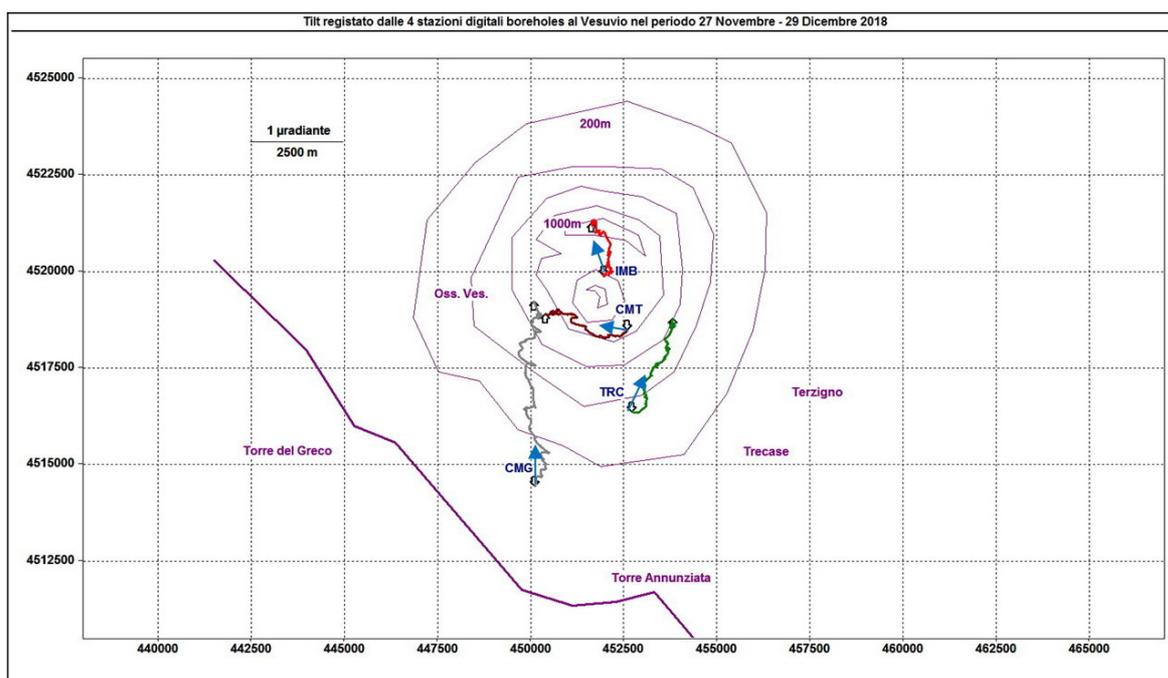


Figura 2.9 - Pattern tiltmetrico osservato al Vesuvio dal 27 novembre 2018. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale ad 1 μ radiante o 2.5 km. Le frecce blu sovrapposte (non in scala) indicano la direzione di abbassamento del suolo.

3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

La stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico VES1 acquisisce immagini all'infrarosso del versante interno sud occidentale del cratere del Vesuvio (Fig. 3.1; Sansivero et al., 2013).



Figura 3.1 - Mappa della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine operante al Vesuvio. Punto giallo: posizione della stazione; base del triangolo: area campionata.

La figura 3.2 mostra l'elaborazione della serie temporale dei valori di temperatura massima delle immagini IR processati in tempo reale con l'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal-Trend Decomposition).

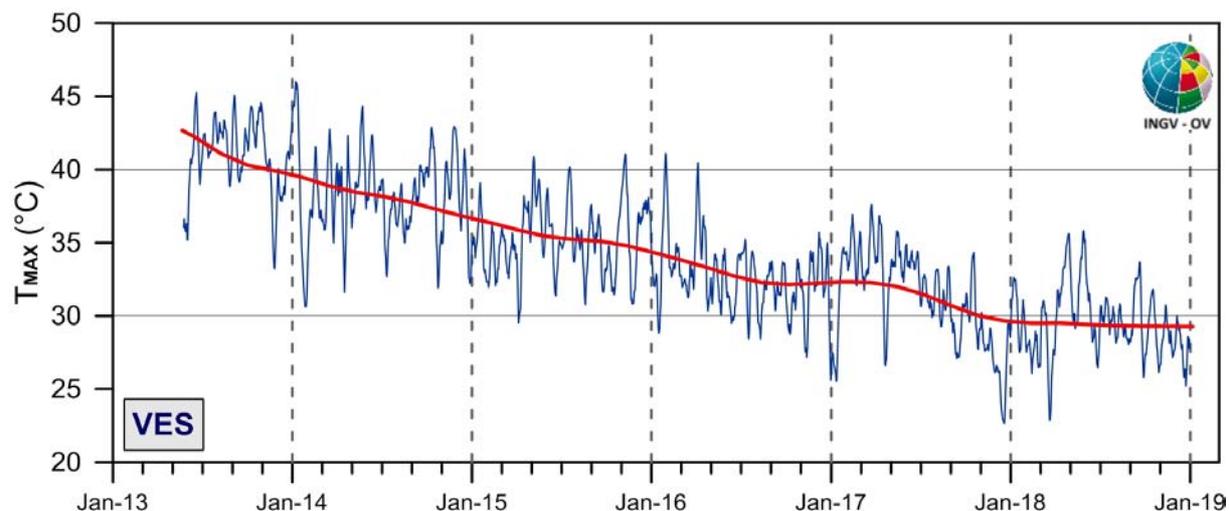


Figura 3.2 - Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali delle medie settimanali (blu) e del trend a lungo termine (rosso) dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR destagionalizzata mediante applicazione dell'algoritmo di filtraggio analitico STL.

Nel breve termine (linea blu in Fig. 3.2), l'analisi della serie temporale dei valori di temperatura massima, seppur in presenza di oscillazioni di varia ampiezza e periodo, evidenzia un costante decremento del campo di temperatura superficiale dell'area target fino a dicembre 2017. Dopo tale data, il trend della temperatura massima mostra un sensibile aumento a cui segue un andamento stabile che perdura a tutt'oggi.

Il trend a lungo termine (linea rossa) dei valori di temperatura massima rilevati nella serie di immagini IR acquisite dalla stazione del Vesuvio mostra negli ultimi mesi un andamento stazionario.

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di dicembre 2018 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 (Fig. 4.1).

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (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 misurati nel periodo di interesse non hanno mostrato variazioni significative (Fig. 4.2). Le lievi variazioni osservate sono, comunque, da mettersi in relazione a variazioni stagionali e a particolari eventi meteorologici (pioggia, vento forte, bassa pressione, temperatura atmosferica etc.).

La stazione multiparametrica di fondo cratere (FLXOV7), reinstallata nel mese di settembre, ha acquisito i seguenti parametri: flusso di CO₂ dal suolo (ogni 4 ore), gradiente di temperatura nel suolo, temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area, pressione atmosferica (ogni 10 minuti). I parametri acquisiti dalla stazione non hanno mostrato variazioni significative (Fig. 4.3). Entrambe le stazioni sono collegate alla rete wi-fi e i parametri acquisiti sono trasmessi in tempo reale alla Sala di Monitoraggio.



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), 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) e in area di fondo cratere (simboli gialli).

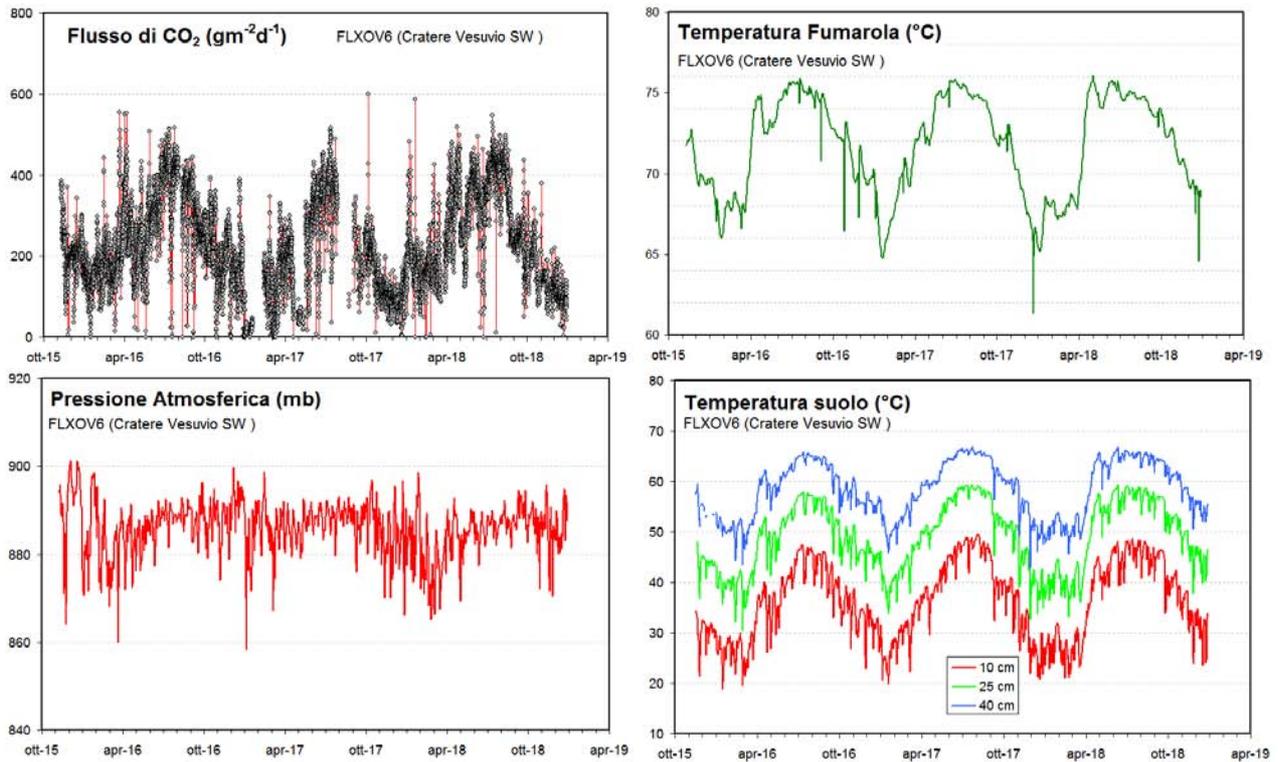


Figura 4.2 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

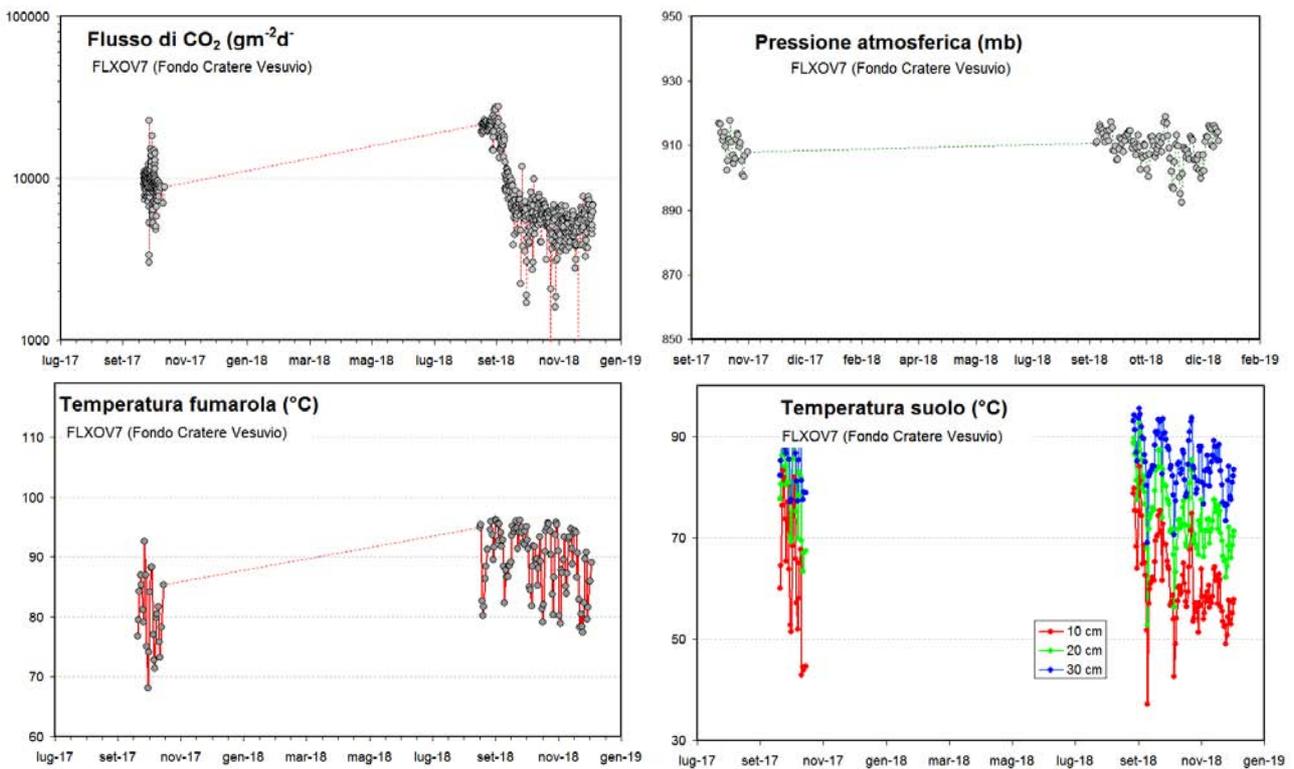


Figura 4.3 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV7) installata in area di fondo cratere del Vesuvio. I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI DICEMBRE 2018 E VALUTAZIONI

- 1) SISMOLOGIA: Al Vesuvio permane una sismicità di fondo con 199 terremoti registrati nel mese di dicembre 2018 ($M_{dmax}=2.5$).
- 2) DEFORMAZIONI: Dai dati GPS, Marografici e Tiltmetrici non si osservano deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche. Dai soli dati tiltmetrici dal 27 novembre si osserva un cambiamento della direzione di tilting, per quanto di entità estremamente ridotta, che interessa le stazioni più in quota.
- 3) TERMOGRAFIA: I dati della telecamera termica evidenziano nel mese di dicembre 2018 un andamento sostanzialmente stabile 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.
- La Rocca M. and Galluzzo D. (2016) Volcanic tremor at Mt Vesuvius associated with low frequency shear failures. *Earth Planet. Sci. Lett.* **442**, 32-38. doi:10.1016/j.epsl.2016.02.048.
- 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.
- Vilardo G., Sansivero F. and G. Chiodini (2015). Long-term TIR imagery processing for spatiotemporal monitoring of surface thermal features in volcanic environment: a case study in the Campi Flegrei (Southern Italy). *J. Geophys. Res. - Solid Earth*, **120** (2), 812-826, doi:10.1002/2014JB011497.

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.