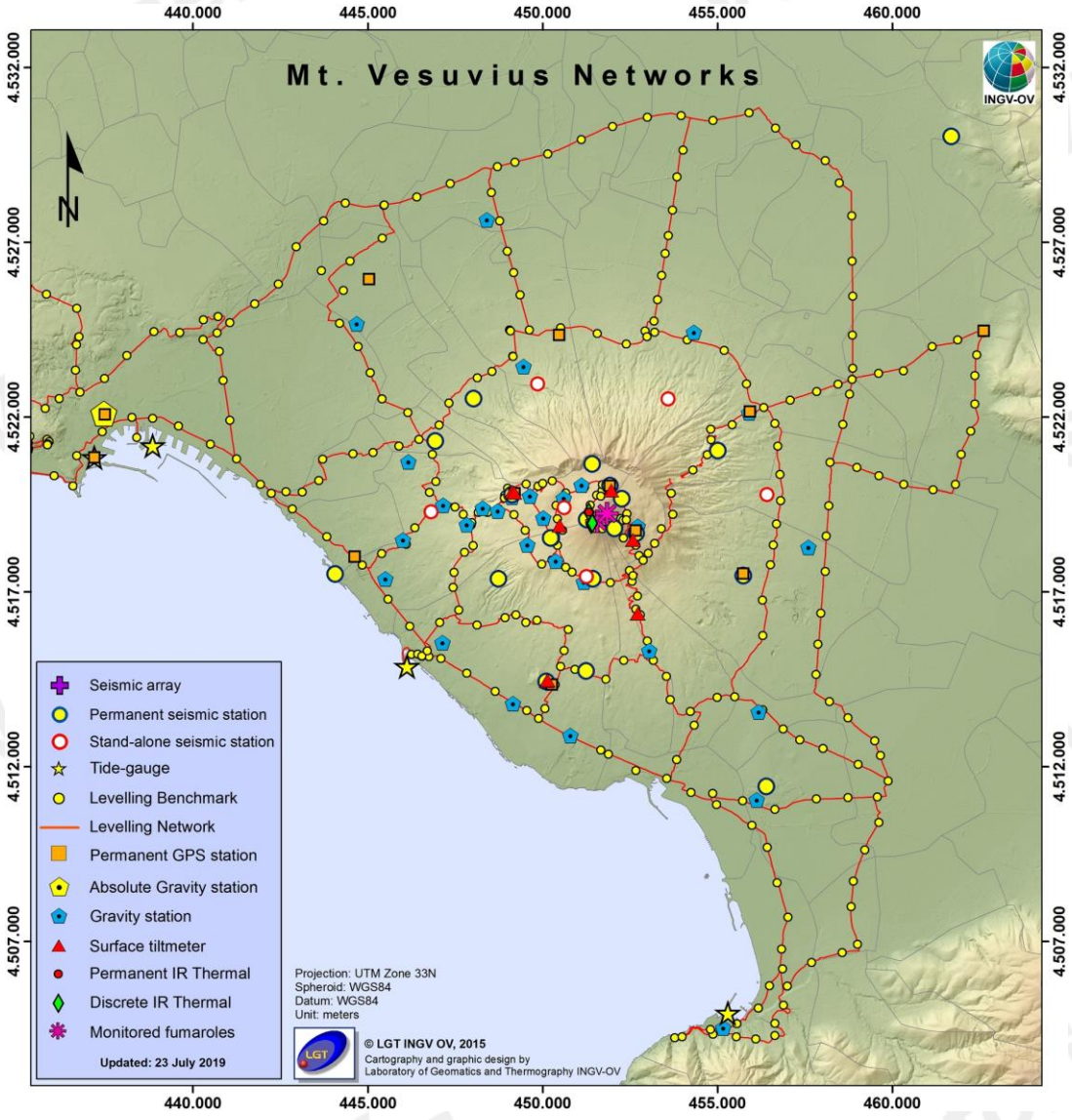
ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

DICEMBRE 2019



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.

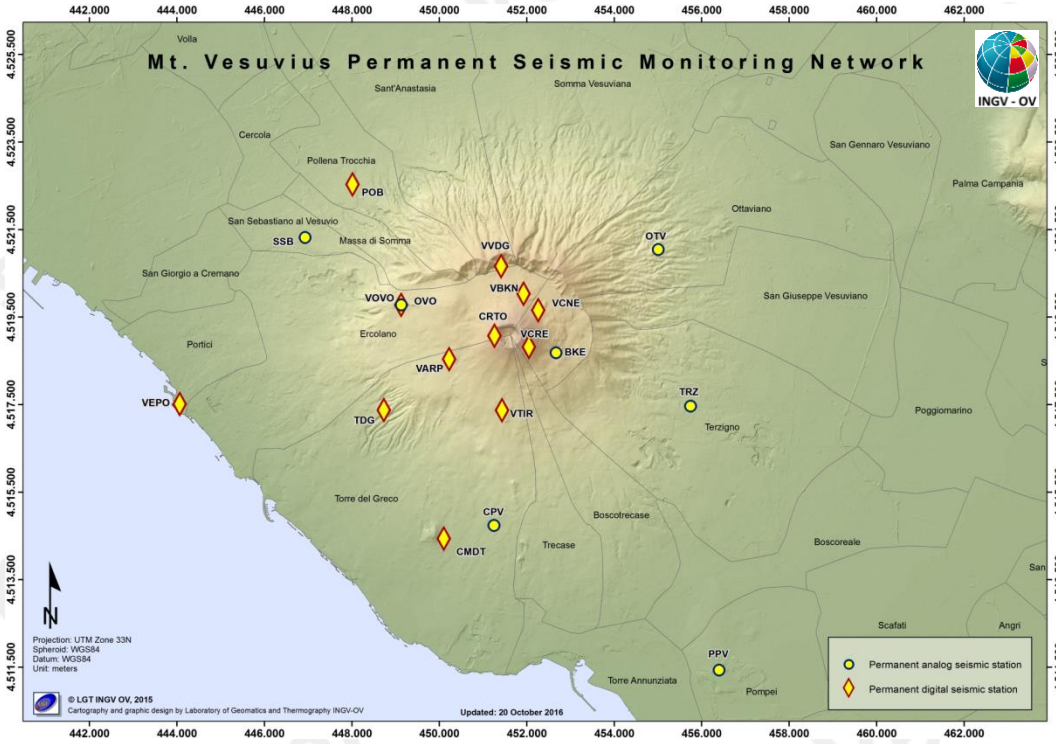


Figura 1.1 *- Mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.*

Nel corso del mese di dicembre 2019, al Vesuvio, sono stati registrati 81 terremoti (Fig. 1.2). La magnitudo massima è stata pari a M_d=1.2 (eventi del 03/12 alle 23:40 e 23:41 e del 04/12 alle 20:07 UTC).

E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 62 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.3.

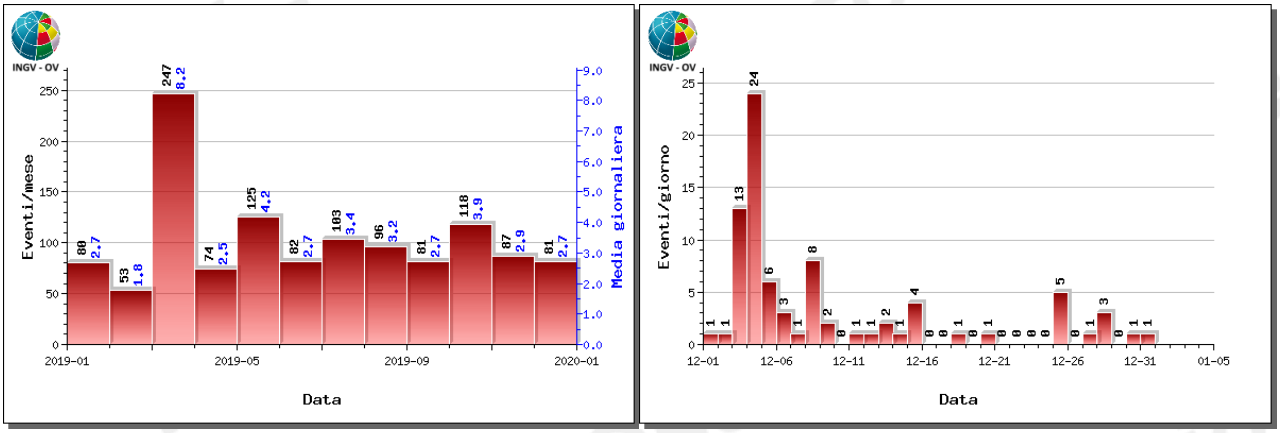


Figura 1.2 *- A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 1227), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 81).*

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).

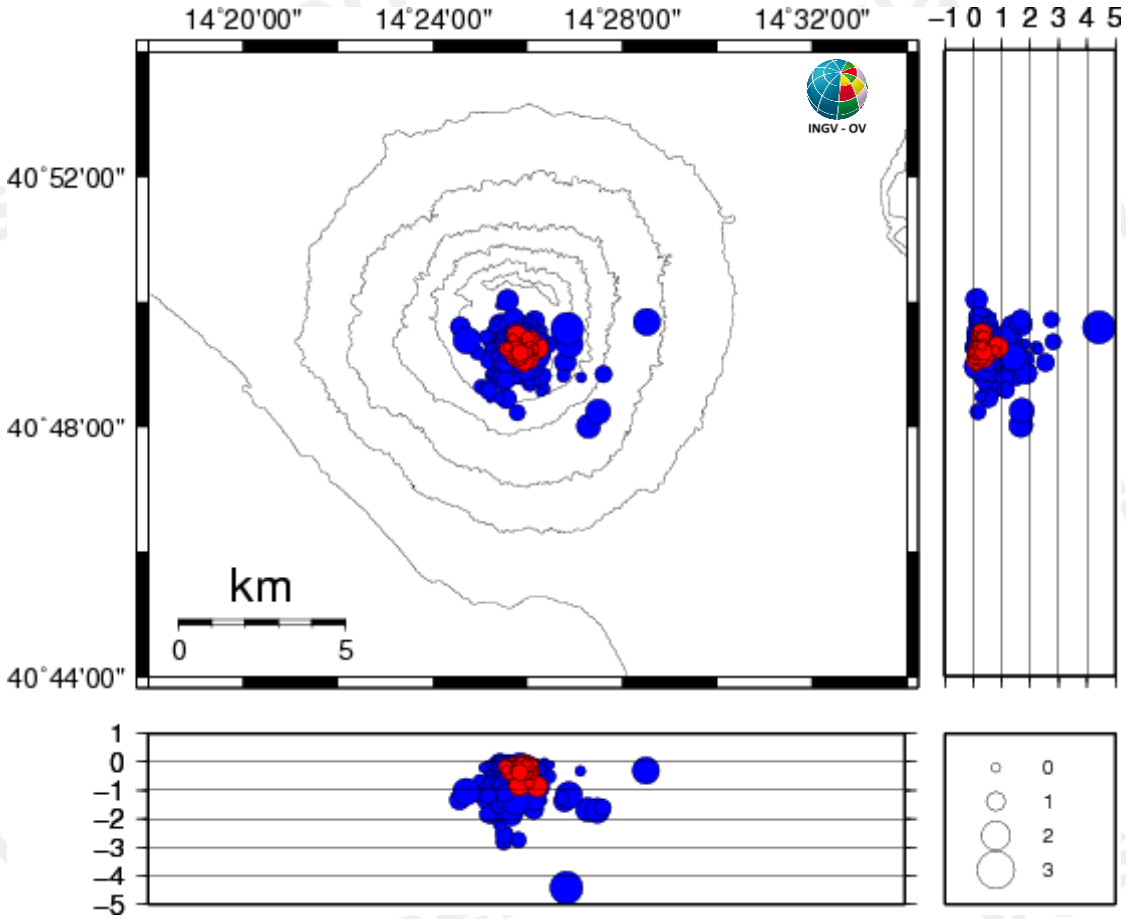


Figura 1.3 *- Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso.*

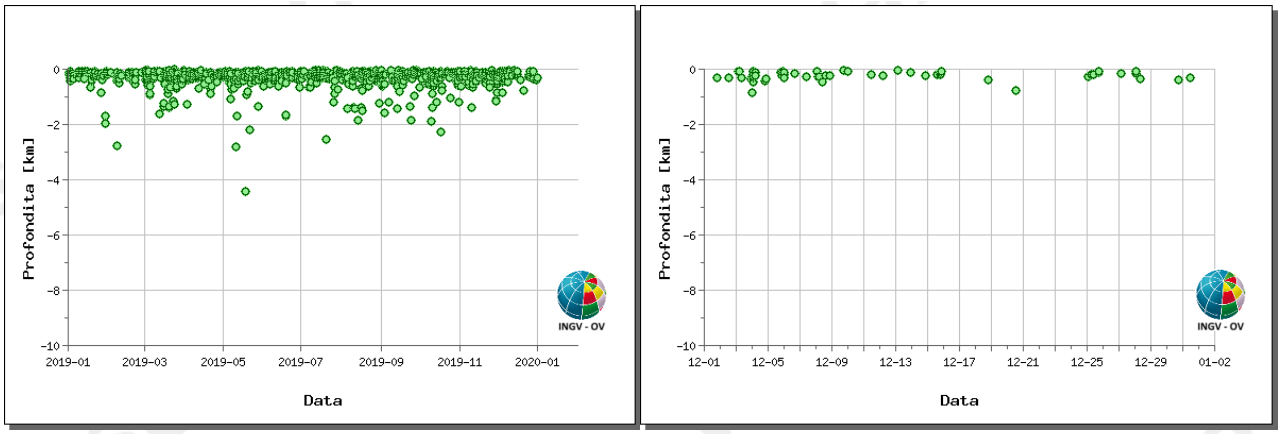


Figura 1.4 *- Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

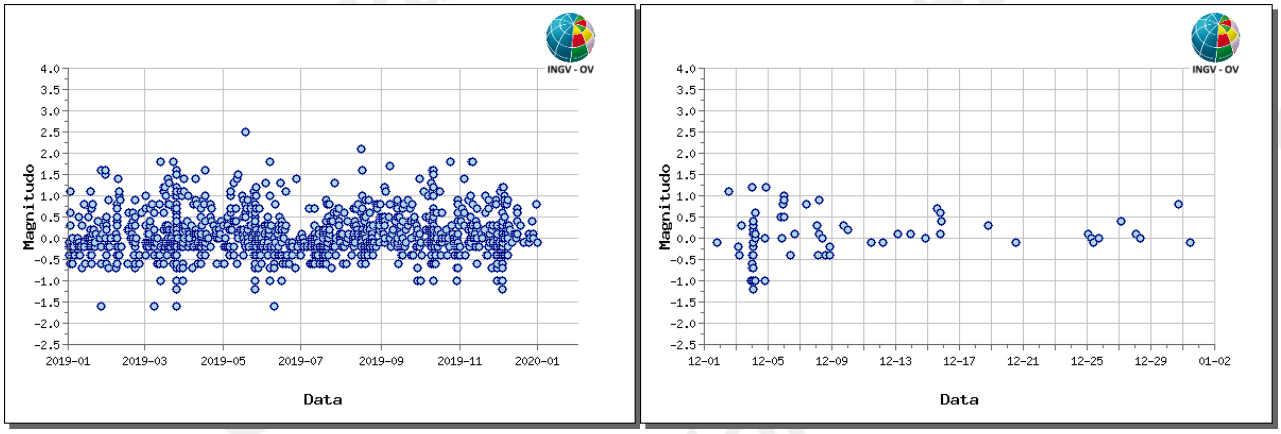


Figura 1.5 *- Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

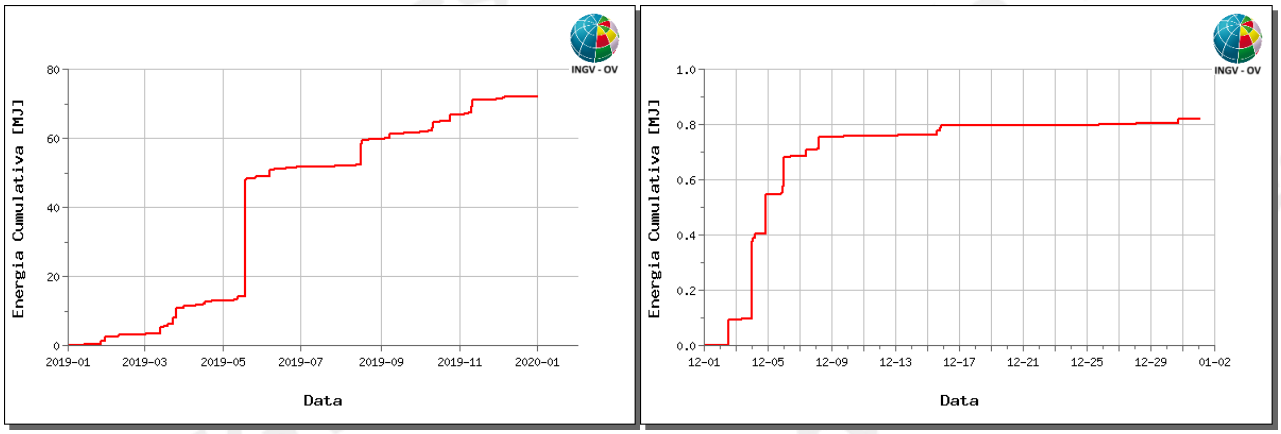


Figura 1.6 *- Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).*

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

Numero totale terremoti: 81		M_{dmax}=1.2
Numero terremoti con **Md < 0.0**	33	(40.74%)
Numero terremoti con **0.0 ≤Md< 1.0**	39	(48.15%)
Numero terremoti con **1.0 ≤Md< 1.5**	5	(6.17%)
Numero terremoti con **Md N.D.**	4	(4.94%)

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

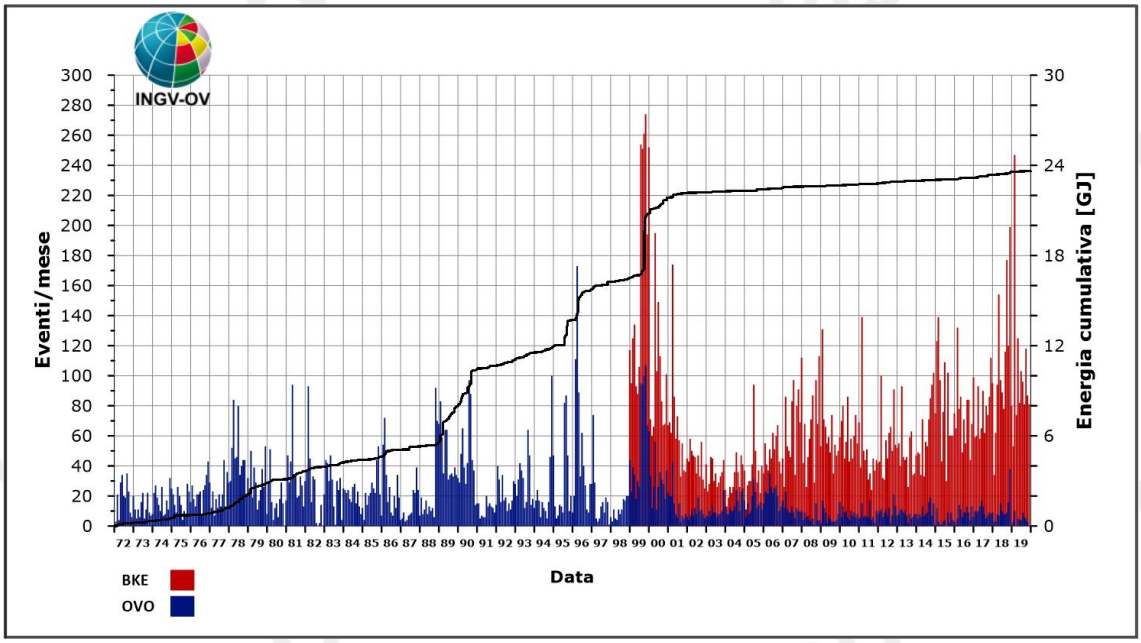


Figura 1.7 *– Frequenza di accadimento dei terremoti registrati dal 1972 alla Stazione OVO (in blu) e dal 1999 alla stazione BKE (in rosso). La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.*

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.

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.

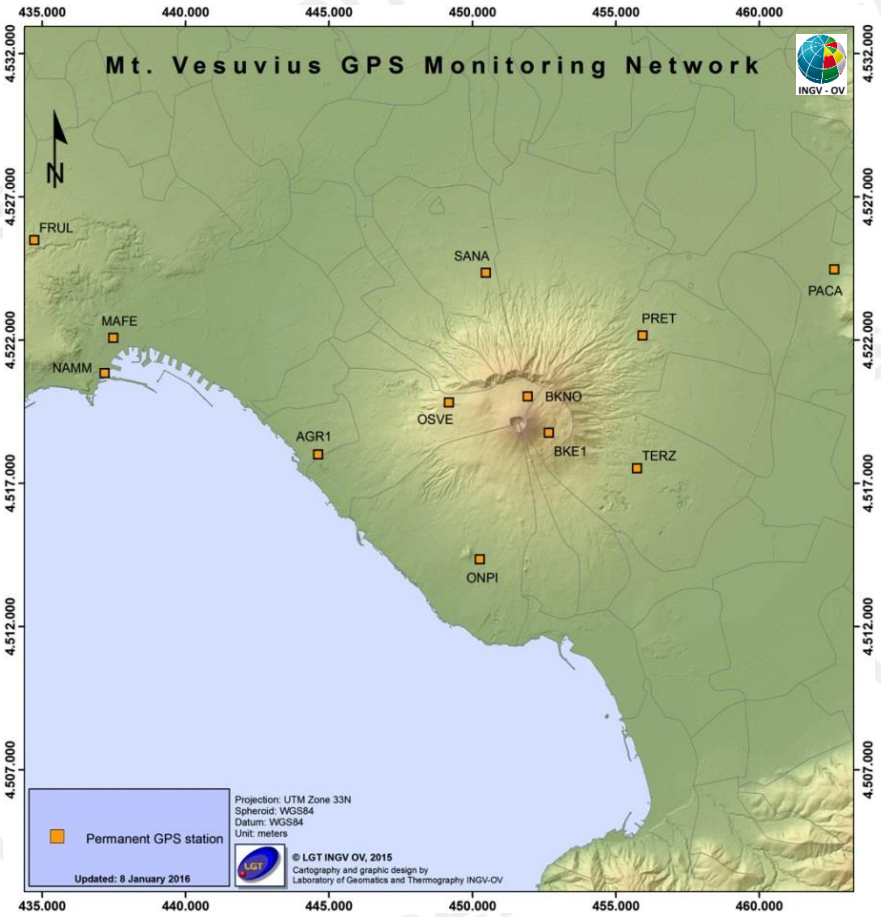


Figura 2.1.1 *- Rete GPS Permanente del Vesuvio.*

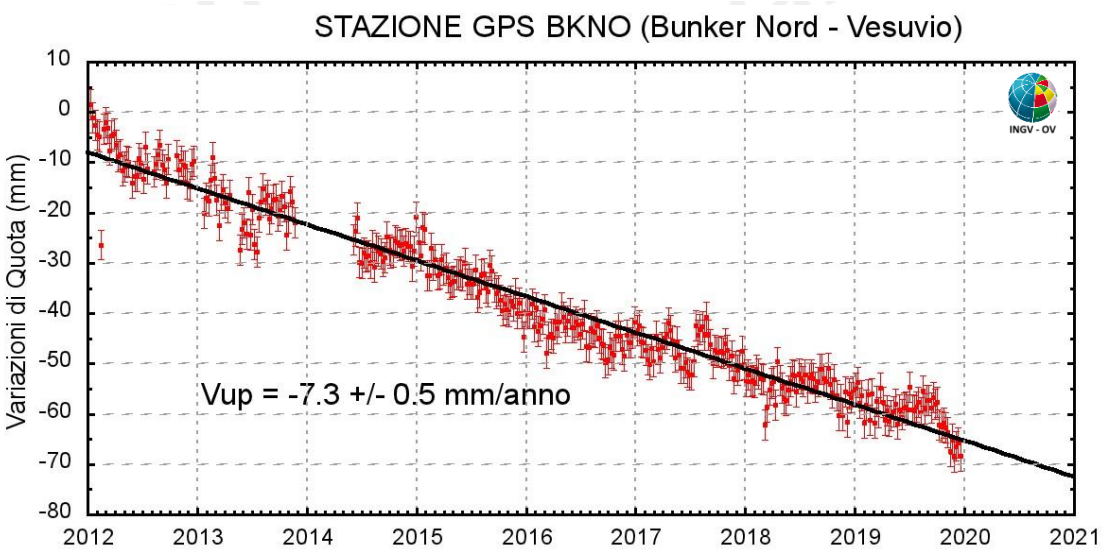


Figura 2.1.2 *- Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a dicembre 2019.*

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).

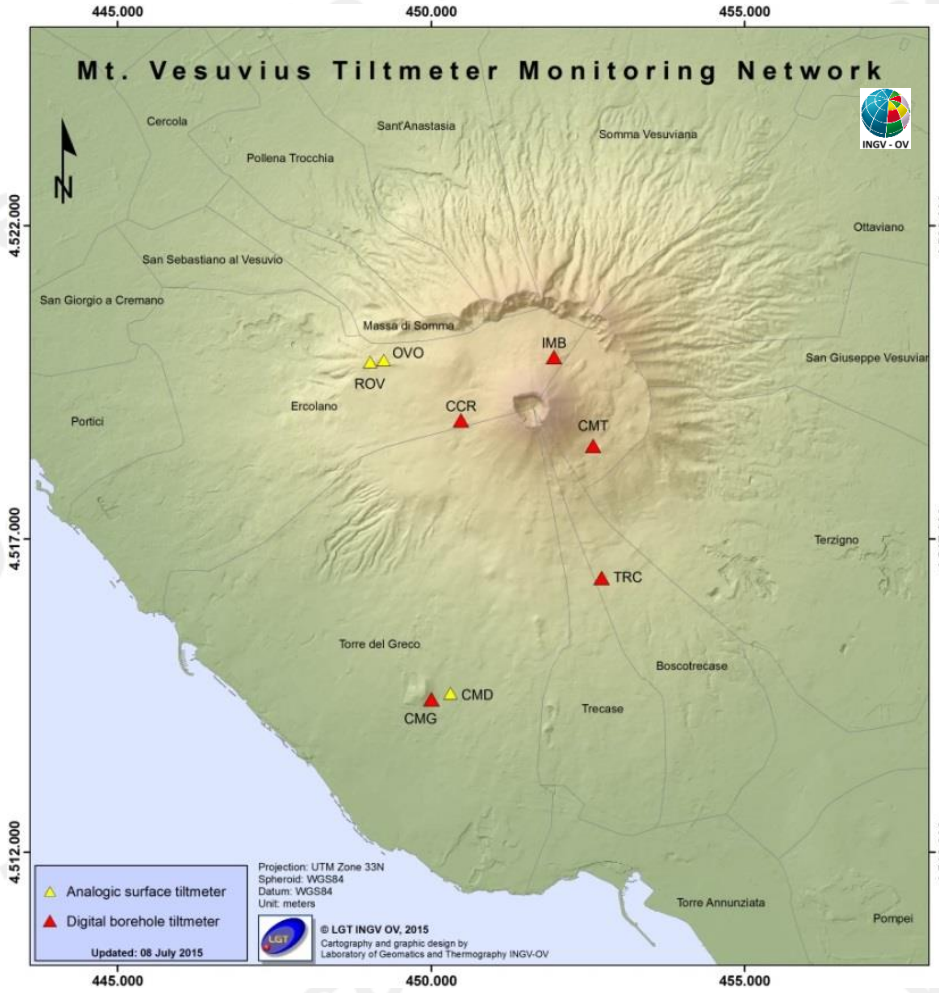


***Figura 2.2.1** – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.*

La variazione tiltmetrica osservata al Vesuvio nel corso del 2019 avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni (Figura 2.2.2).

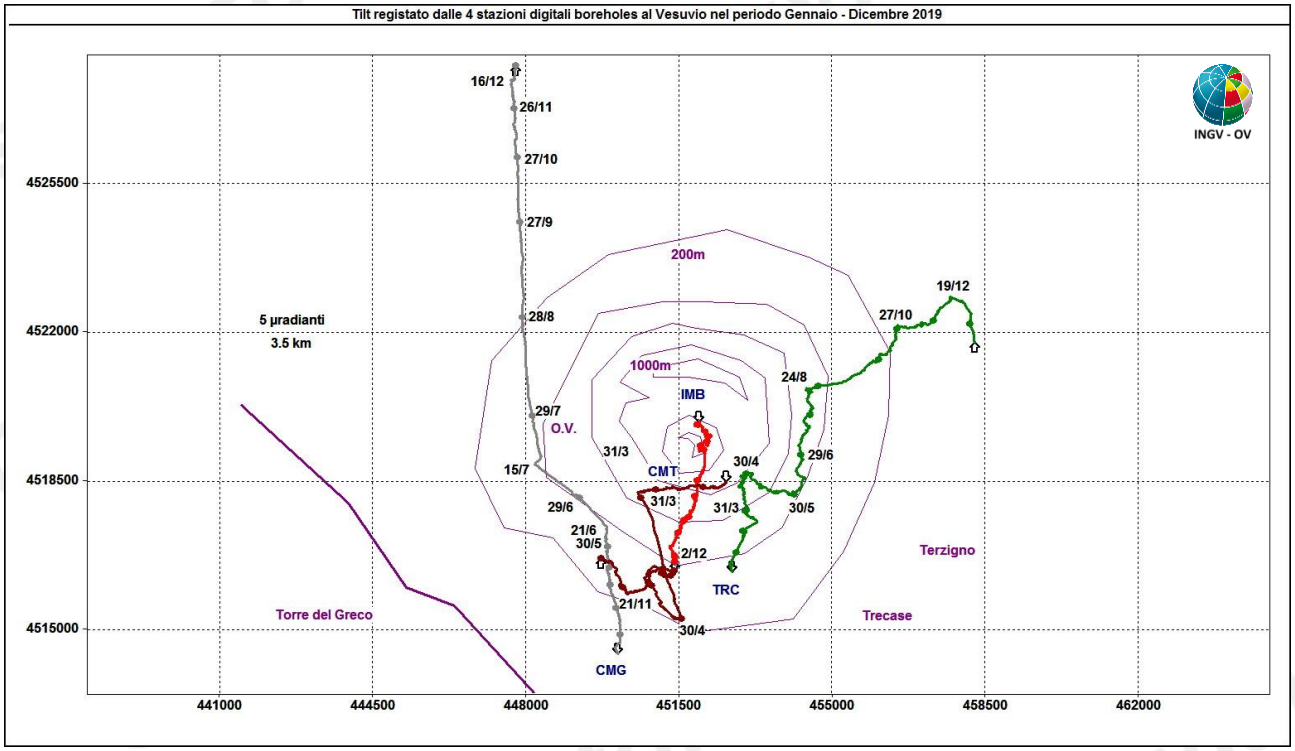


Figura 2.2.2 *– Pattern tiltmetrico osservato al Vesuvio nel corso del 2019. Per comodità di rappresentazione grafica e per una interpretazione più agevole, sono state selezionate in tale figura solo le 4 stazioni "borehole" con sensori ubicati a 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale a 5 µradianti o 3.5 km.*

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.
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 2019.
I dati acquisiti a IMB si interrompono il 2 dicembre per un malfunzionamento del datalogger.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	11.1 µradianti a NE	0.05 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	4.7 µradianti a SSW	-0.01 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	60.1 µradianti a NNW	-0.01 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	4.8 µradianti a SW	-0.02 °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 2018; 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 si osserva a CMG una contrazione nel segnale mentre TRC inverte il suo andamento dal 19/12 inclinandosi velocemente a S. Relativamente alle stazioni in quota, IMB si inclina a S mentre CMT inverte lentamente il suo trend ed inizia ad inclinarsi a N dal 21/11.
Componenti EW del tilt: CMG inverte il suo andamento dal 16/12 inclinandosi ad E mentre TRC continua ad inclinarsi ad E con un'accelerazione durata un solo giorno (19/12). Relativamente alle stazioni in quota, CMT continua ad inclinarsi ad W mentre IMB inverte lentamente il suo trend ed inizia ad inclinarsi ad E.

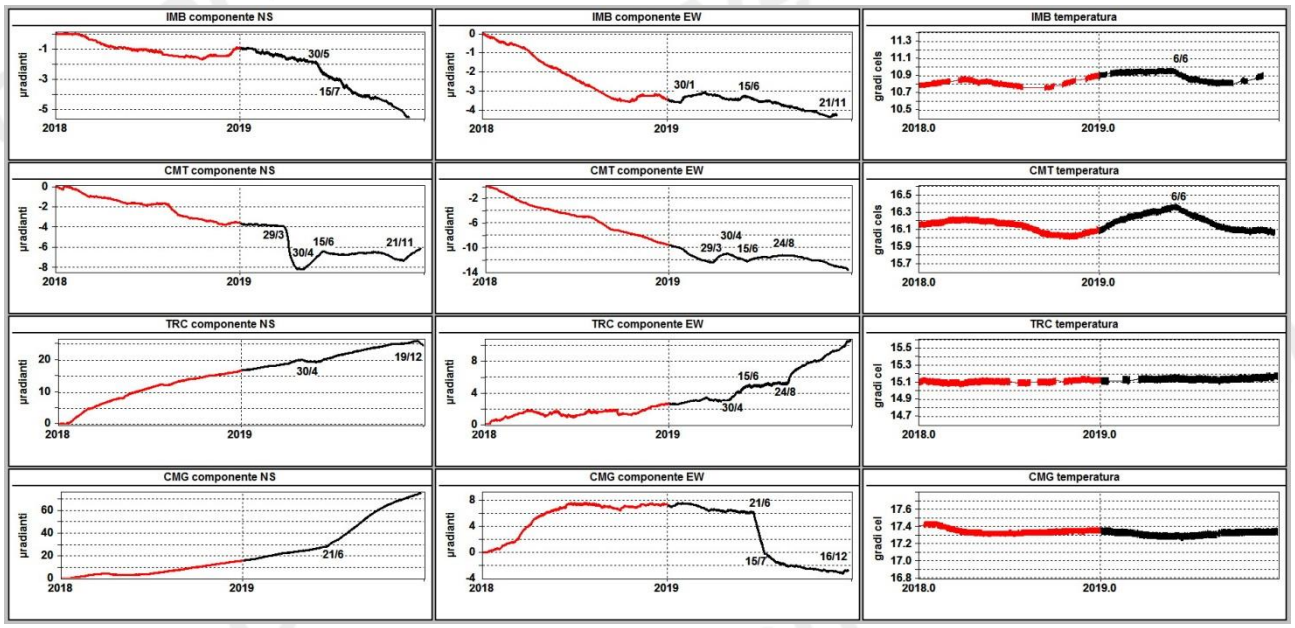


***Figura 2.2.3** – Segnali registrati dalle 4 stazioni "borehole" della rete vesuviana ordinati dal basso verso l'alto secondo la latitudine e ad ognuna di esse è riservata una riga, mentre ogni colonna è relativa ad una componente acquisita. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in μradianti 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 2018 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2019.*

Le 3 direzioni prevalenti di tilting risultano quindi: NNW, NE nella parte meridionale del Vesuvio ed a quote più basse (rispettivamente CMG e TRC), SW nella porzione settentrionale del vulcano, a quote minori ed a SE del Gran Cono (CMT), SSW sempre nella porzione settentrionale del vulcano, a quote maggiori ed a N del Gran Cono (IMB).
Le anomalie tiltmetriche in azimuth ed in modulo osservate dalla fine di marzo di quest'anno indicano la presenza di una articolata cinematica legata probabilmente ad effetti locali.

2.3 Mareometria

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

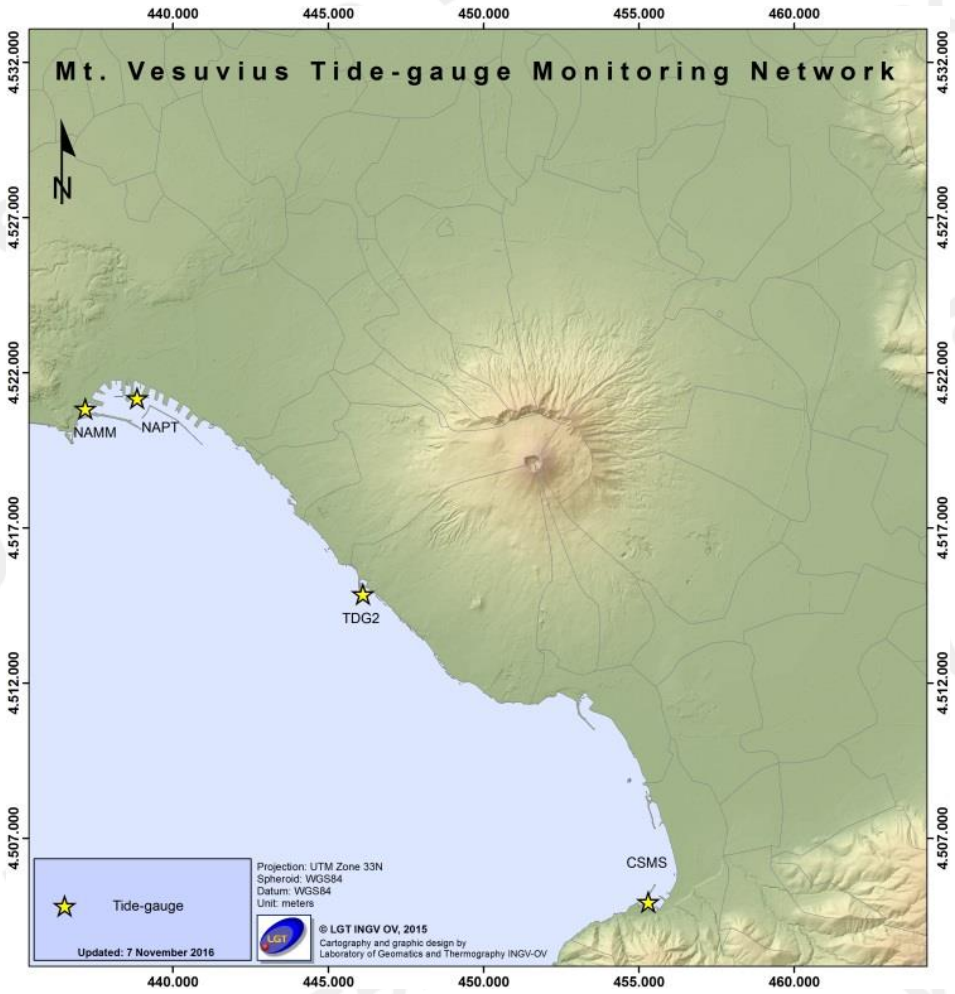


Figura 2.3.1 *- Rete Mareografica del Vesuvio*

Nell'area vesuviana si osservano nell'ultimo periodo movimenti verticali del suolo di qualche centimetro in abbassamento, come rilevato dalle analisi dei dati alla stazione di Torre del Greco (TDG2) (Figura 2.3.2), non imputabili a fenomeni vulcanici.

Con lo scopo di verificare la correttezza dei dati acquisiti, dal mese di giugno 2019 è stata affiancata nello stesso sito della stazione "TDG2", una nuova stazione mareometrica ("TDG3") in prova, per monitorare in sicurezza i movimenti del suolo nell'area. L'analisi della correlazione delle due serie temporali ha evidenziato che la deformazione rilevata era dovuta al malfunzionamento della stazione TDG2; per questo motivo, a partire da luglio 2019, i dati rappresentati sono relativi alla nuova stazione TDG3.
Il picco visibile verso la fine del mese di luglio 2016 è stato determinato dal malfunzionamento temporaneo del sensore della stazione di riferimento NAMM.

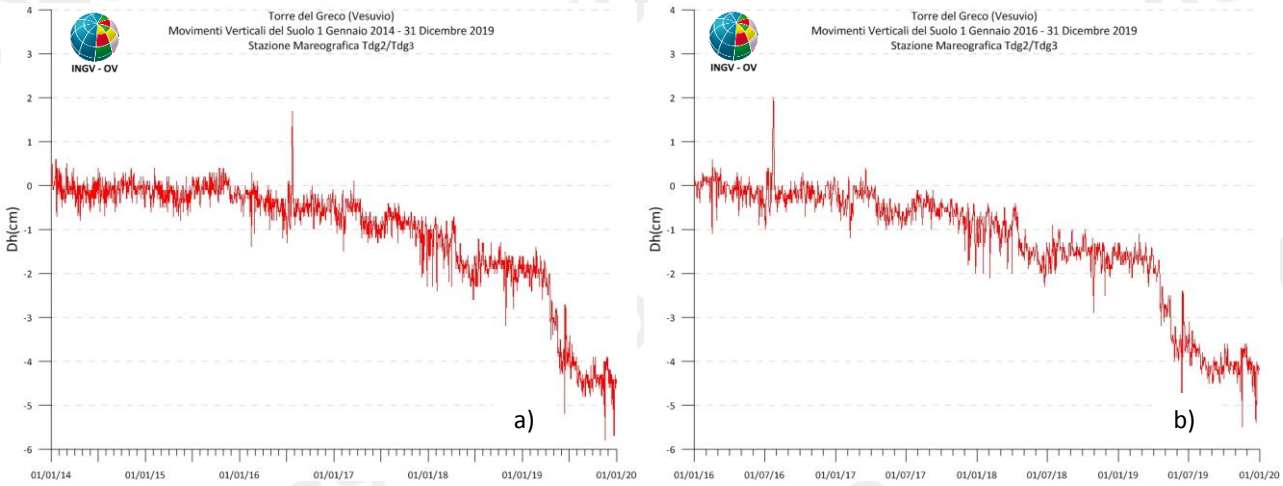


Figura 2.3.2 *- Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - dicembre 2019 (a) e gennaio 2016 - dicembre 2019 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2/TDG3). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere 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.

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.*

La figura 3.1.2 mostra l'elaborazione della serie temporale dei valori di temperatura massima delle immagini IR processati con l'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal-Trend Decomposition).

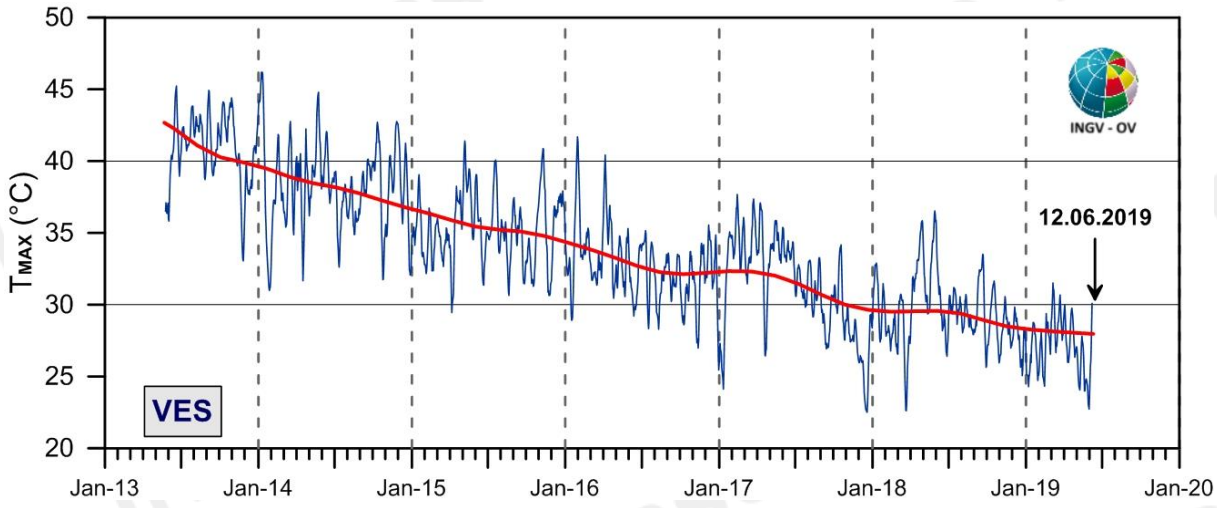


Figura 3.1.2 *- Stazione Vesuvio VES1. Serie temporali delle medie settimanali (blu) e del trend a lungo termine (rosso) dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR destagionalizzata mediante applicazione dell'algoritmo di filtraggio analitico STL.*

La serie temporale dei dati in figura 3.1.2 si interrompe il 12 giugno 2019 a causa di problemi di malfunzionamento della strumentazione remota per la risoluzione dei quali, il 18 giugno 2019, è stato effettuato un intervento di manutenzione straordinaria che ha riguardato la sostituzione della termocamera, della custodia in acciaio e dell'intera elettronica della stazione remota.
Dopo il necessario periodo di test e collaudo dell'intera catena strumentale, la regolare acquisizione di n. 3 scene IR nel corso della notte (00:00; 02:00; 04:00) è ripresa il 12 luglio.
Per quanto riguarda i risultati dell'analisi delle serie temporali mostrati in figura 3.1.2 si riporta nel seguito quanto già commentato nei bollettini mensili precedenti.
Nel breve termine (linea blu in Fig. 3.1.2), 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 e fino al 12 giugno 2019, il trend della temperatura massima mostra un'alternanza di periodi durante i quali si osservano sensibili diminuzioni cui seguono periodi con andamento stabile o in lieve incremento.
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 sostanzialmente stazionario con tendenza in leggero decremento.
Per quanto invece riguarda l'analisi dei dati acquisiti con la nuova stazione va considerato che, in virtù dell'ancor troppo breve periodo di acquisizione, non è possibile applicare metodi statistici per la rimozione dei trend stagionali dalla serie temporale dei valori di temperatura grezzi ricavati dal processamento dei nuovi dati immagine IR.
Per tale motivo, ed allo scopo di effettuare un confronto anche se molto qualitativo tra i dati acquisiti dalle due differenti stazioni, nel grafico di Figura 3.1.3 sono riportati i valori medi di temperatura relativi ad ogni immagine acquisita con la precedente strumentazione (linea nera) e con la nuova (linea rossa).

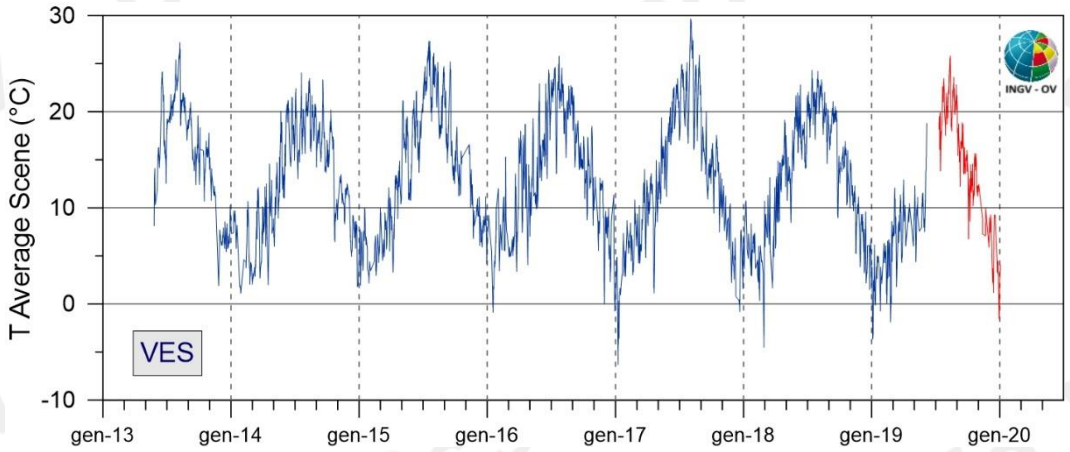


***Figura 3.1.3** - Stazione Vesuvio: Serie temporale dei valori medi di temperatura relativi ad ogni immagine acquisita con la precedente stazione (linea nera) e con quella di recente installazione (linea rossa).*

Ciò che si rileva è che i valori di temperatura media, relativi alla serie temporale delle immagini IR acquisite dalla nuova stazione del Vesuvio fino a tutto dicembre 2019, sono del tutto confrontabili con quelli misurati in precedenza nello stesso periodo dell'anno.
Tale osservazione suggerisce il perdurare di un andamento sostanzialmente stazionario delle temperature superficiali dell'area monitorata.

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.

Ubicazione dei punti di misura al Vesuvio
I rilievi sono 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).

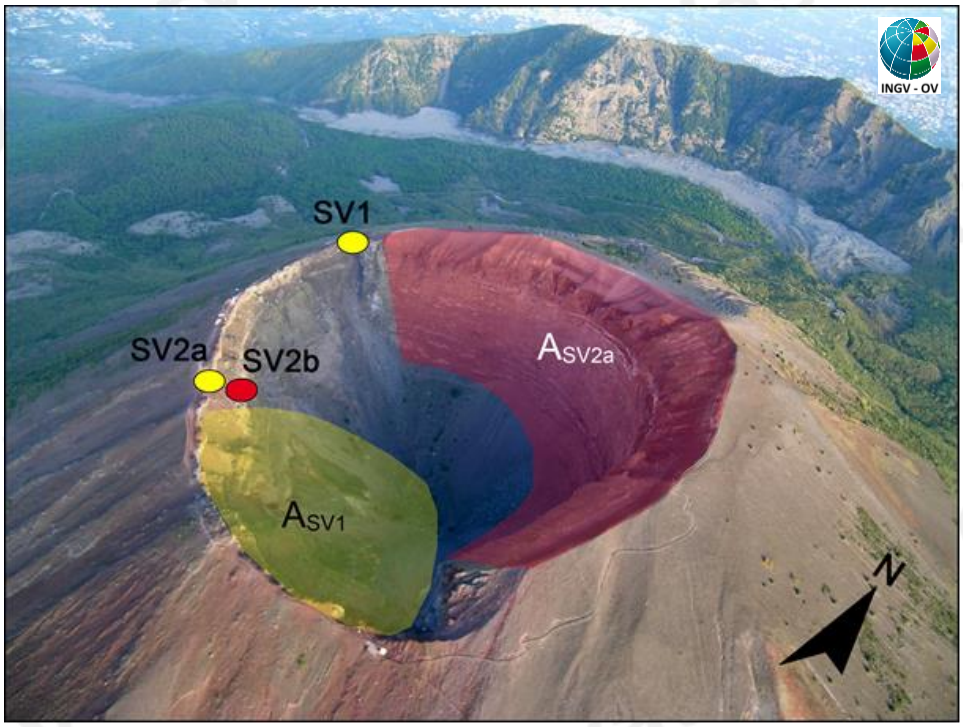


Figura 3.2.1 *– Cratere del Vesuvio. In giallo sono riportati i punti stazione dai quali vengono effettuati i rilievi termici con telecamera termica, in rosso quello nel quale vengono effettuati anche rilievi con termocoppia rigida. L'area in rosso (ASV2a) è quella ripresa dal punto stazione SV2a, mentre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

In generale, la comparazione delle fotocomposizioni delle immagini termiche rilevate nel mese di dicembre 2019 dai punti stazione SV1 e SV2 (Fig. 3.2.1) con quelle dei mesi precedenti non evidenzia significative modifiche nella distribuzione areale del campo fumarolico.
Di seguito vengono mostrati le osservazioni e i dati relativi al sito di misura selezionato, SV2b (Fig. 3.2.1).
I valori di temperatura rilevati nel mese di dicembre 2019 con telecamera termica e termocoppia rigida al punto stazione SV2b sono stabili, nell'ultimo anno come nei precedenti, a meno di variazioni stagionali (Fig. 3.2.2).

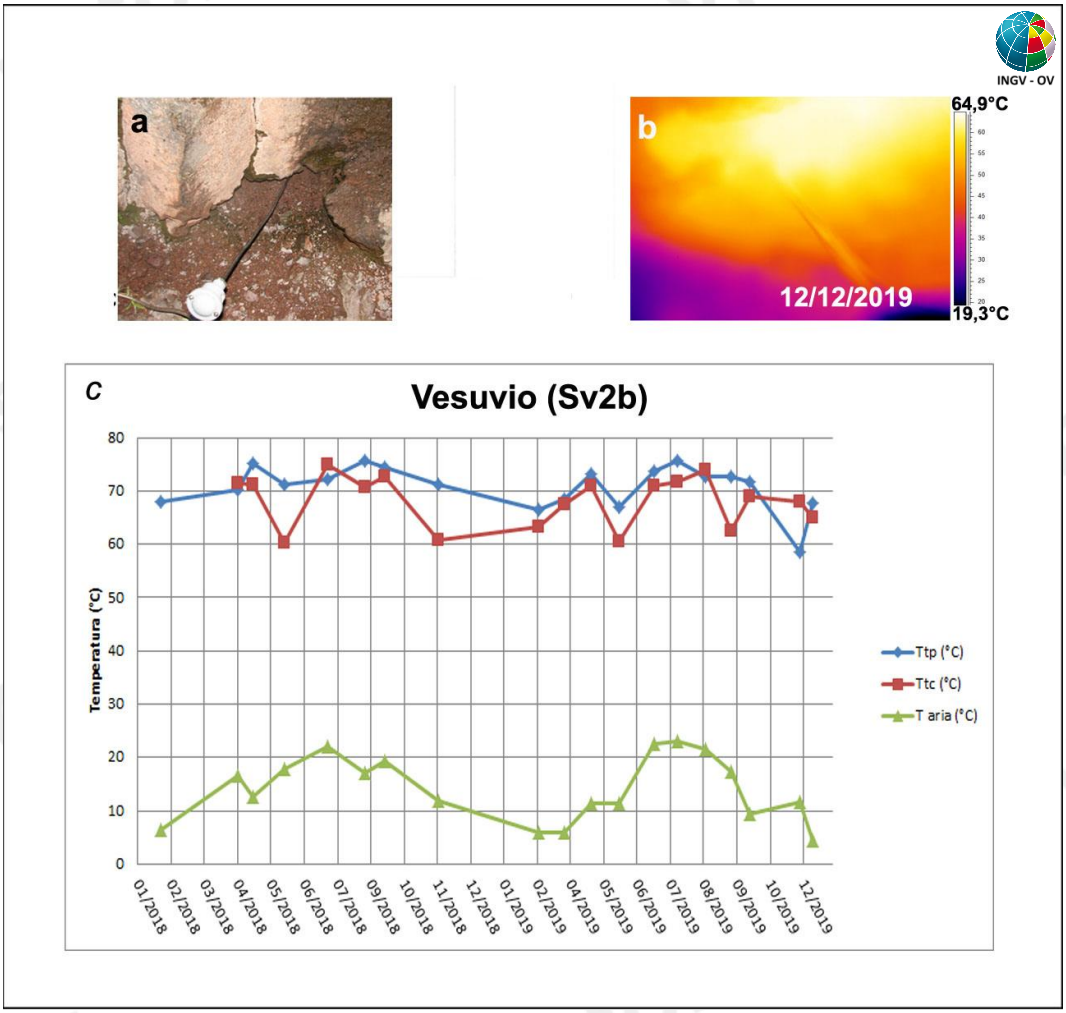


Figura 3.2.2 *– Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese al punto SV2b di figura 3.2.1, di una fumarola ubicata sul settore occidentale del cratere del Vesuvio. Valori massimi di temperatura con termocamera (Ttc) e valori di temperatura dalla termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria misurata nel momento del rilievo termico, da gennaio 2018 a dicembre 2019 (c).*

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di dicembre 2019 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) e la stazione FLXOV7 installata in area di fondo cratere (Fig. 4.1).

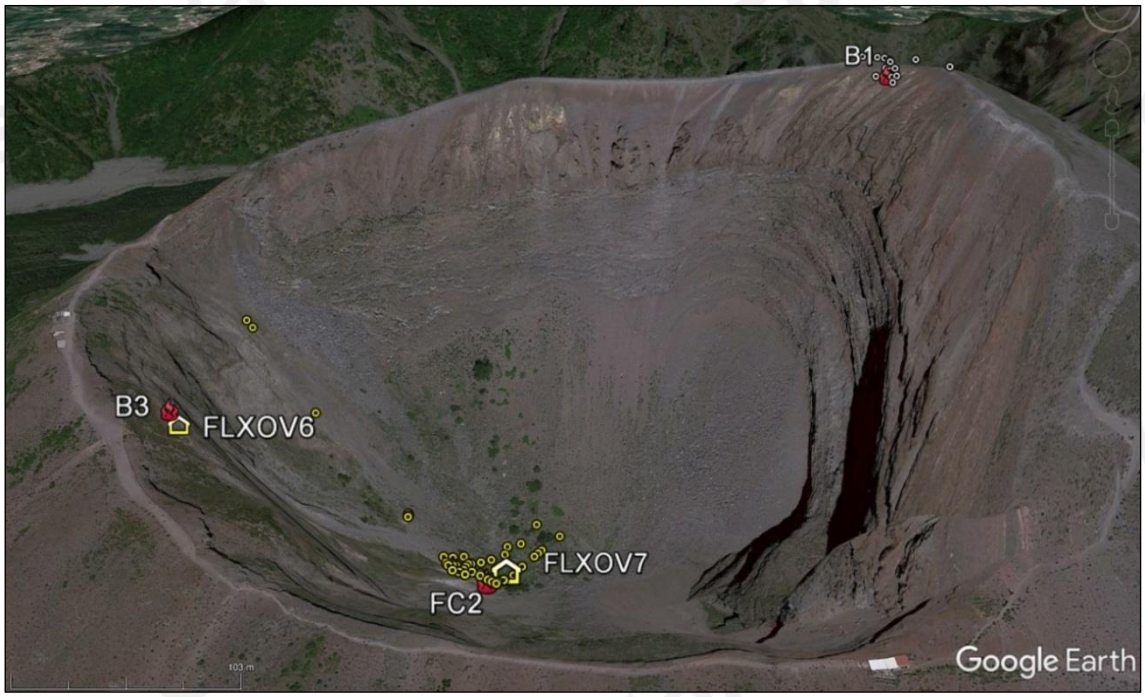


Figura 4.1 *- Ubicazione delle stazioni multiparametriche FLXOV6 e FLXOV7, e dei siti oggetto delle attività di sorveglianza geochimica in area craterica. In particolare, sono riportate le principali fumarole di bordo cratere (B1-B3) e di fondo cratere (FC2), sono inoltre riportati i punti fissi per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

Le difficili condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato il mese di dicembre 2019 non hanno consentito il regolare svolgimento delle attività di monitoraggio in area craterica.
La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (FLXOV06, 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.).
La stazione di fondo cratere (FLXOV7) acquisisce i seguenti parametri: flusso di CO_2 dal suolo (ogni 4 ore); gradiente di temperatura nel suolo; temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area; pressione atmosferica (ogni 10 minuti). I parametri misurati dalla stazione non hanno mostrato variazioni rilevanti riconducibili a modifiche dell'attività vulcanica (Figura 4.3).
Entrambe le stazioni sono collegate alla rete wi-fi e i parametri acquisiti sono trasmessi in tempo reale alla Sala di Monitoraggio. Al momento il sistema di trasmissione non è operativo, probabilmente danneggiato durante i violenti eventi meteo degli ultimi giorni del mese di dicembre. Sono in corso le operazioni per il ripristino del collegamento con le stazioni.

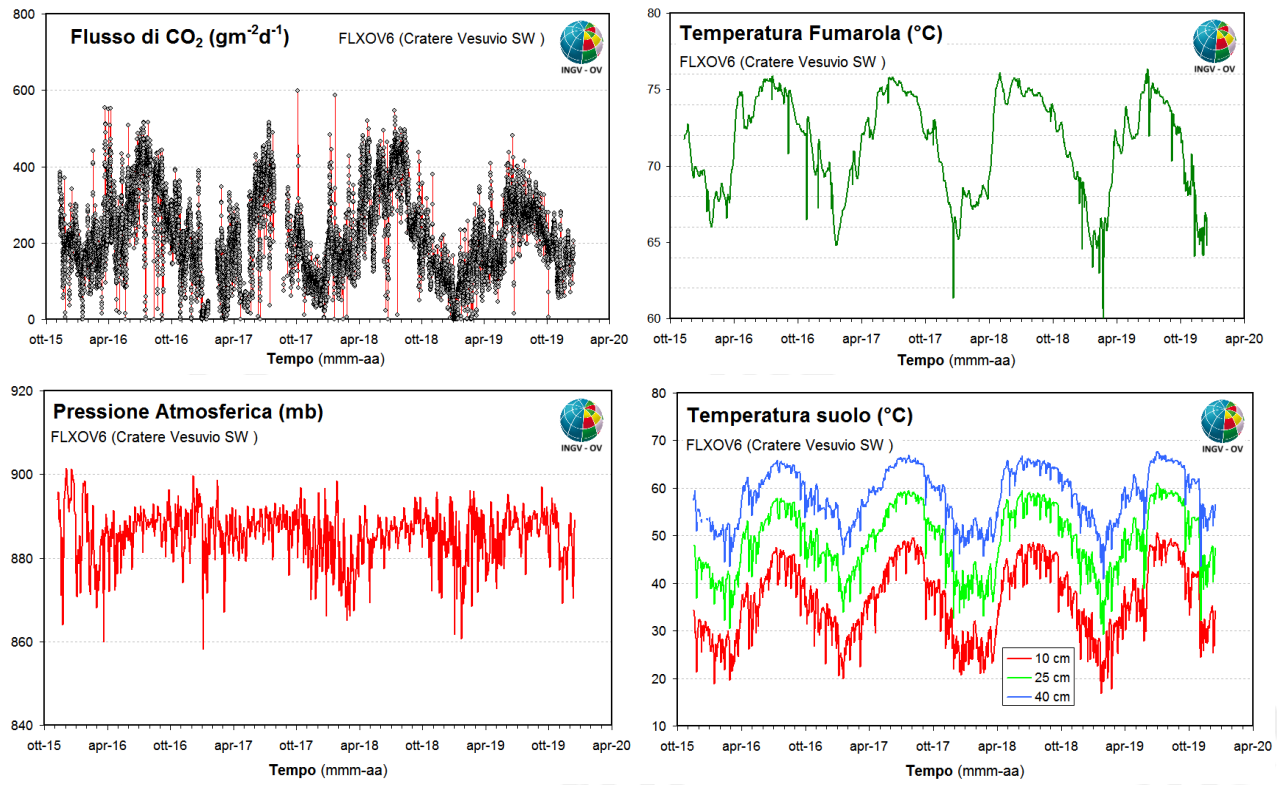


Figura 4.2 *- Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO_2 dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.*

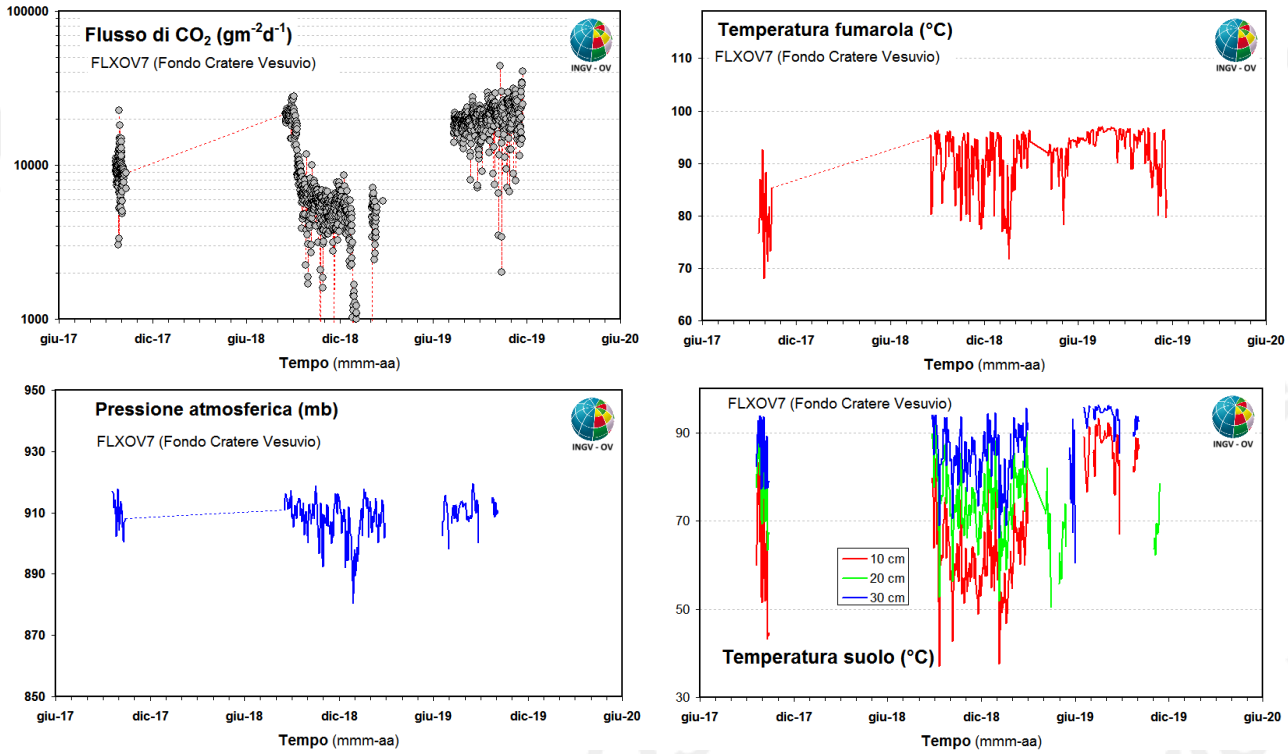


Figura 4.3 *- Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV7) installata in area di fondo cratere del Vesuvio. I valori, eccetto il flusso di CO_2 dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.*

5. QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI DICEMBRE 2019 E VALUTAZIONI

1) SISMOLOGIA: Al Vesuvio permane una sismicità di fondo con 81 terremoti registrati (M_{dmax}=1.2) di cui 62 localizzati prevalentemente in area craterica con profondità che non hanno superato il chilometro.
2) DEFORMAZIONI: Dai dati GPS, Mareografici e Tiltmetrici non si osservano deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche.
3) TERMOGRAFIA: I dati delle telecamere termiche permanenti e mobili 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.

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.

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 simiche 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.