



INGV
terremoti
vulcani
ambiente

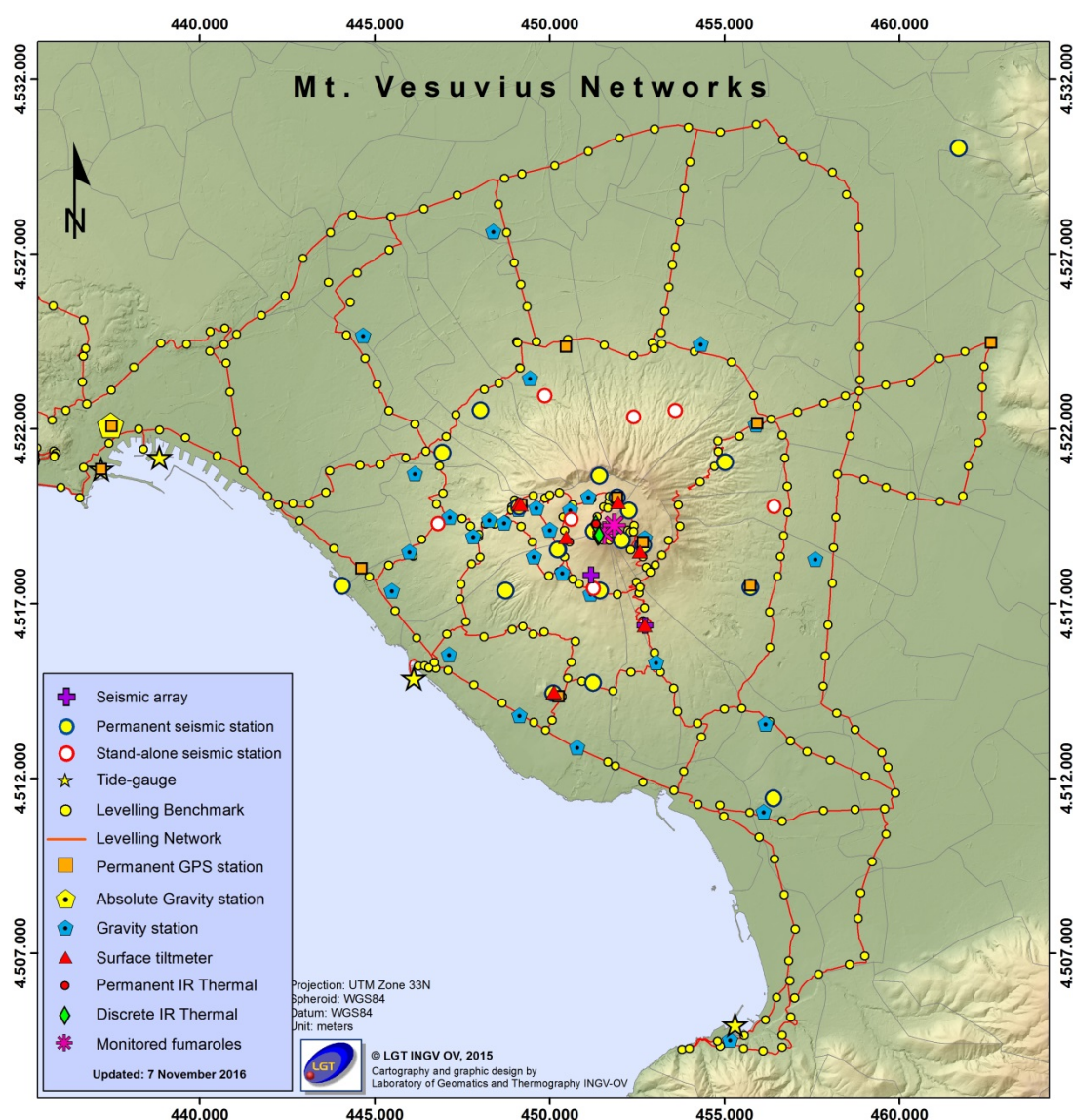
ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Bollettino di Sorveglianza

VESUVIO

GIUGNO 2017

Sezione di Napoli
OSSERVATORIO VESUVIANO



Via Diocleziano, 328
80124 NAPOLI | Italia
Tel.: +39 0816108483
Fax: +39 0816102304
aoo.napoli@pec.ingv.it
www.ov.ingv.it

VESUVIO

1 - Sismicità

Nel corso del mese di giugno 2017 al Vesuvio sono stati registrati 65 terremoti (Fig. 1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 60 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.2. La magnitudo massima è stata pari a 2.4 (evento del 04/06 alle 19:35 UTC).

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

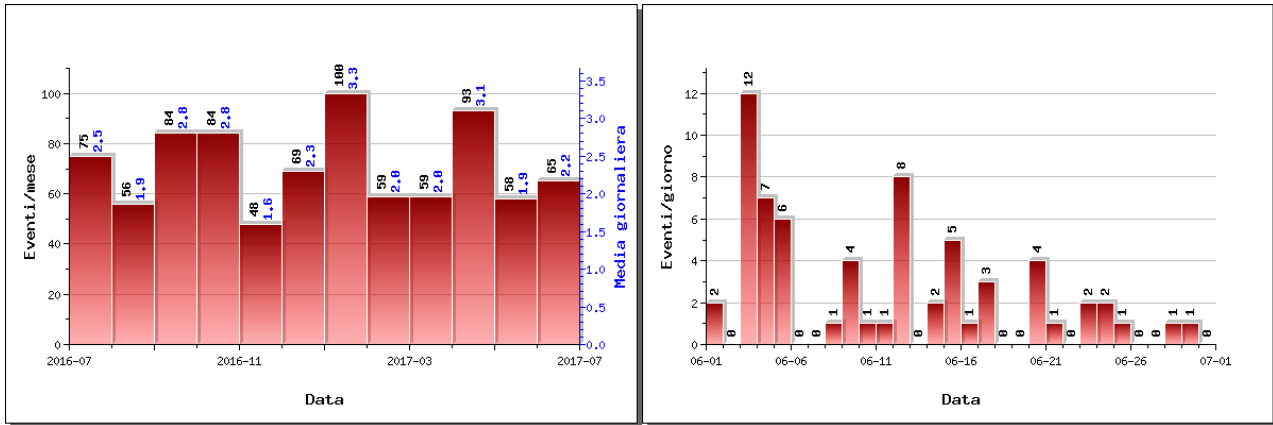


Figura 1.1 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 850), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 65).

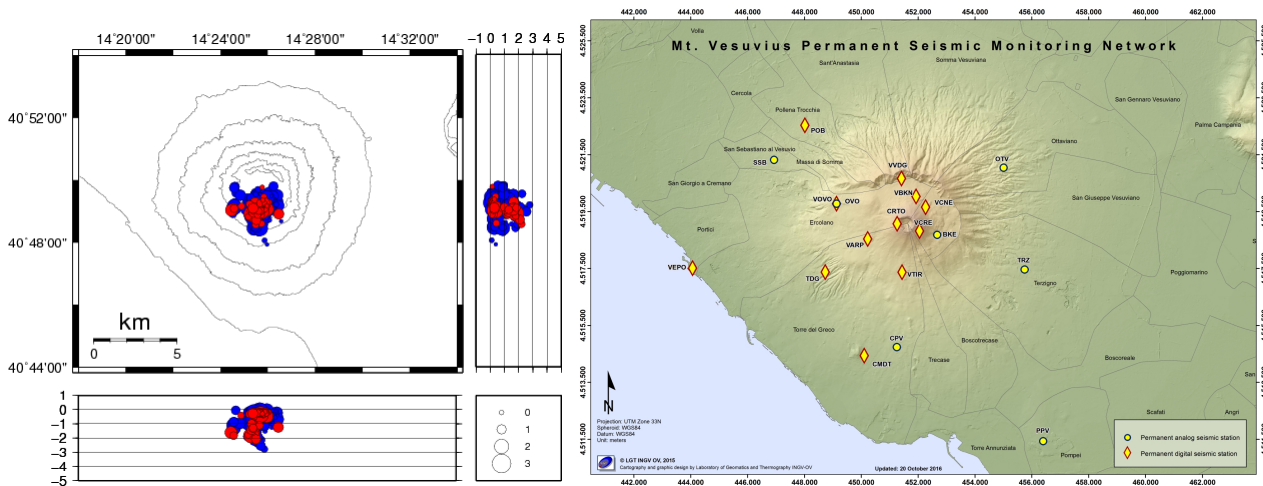


Figura 1.2 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.

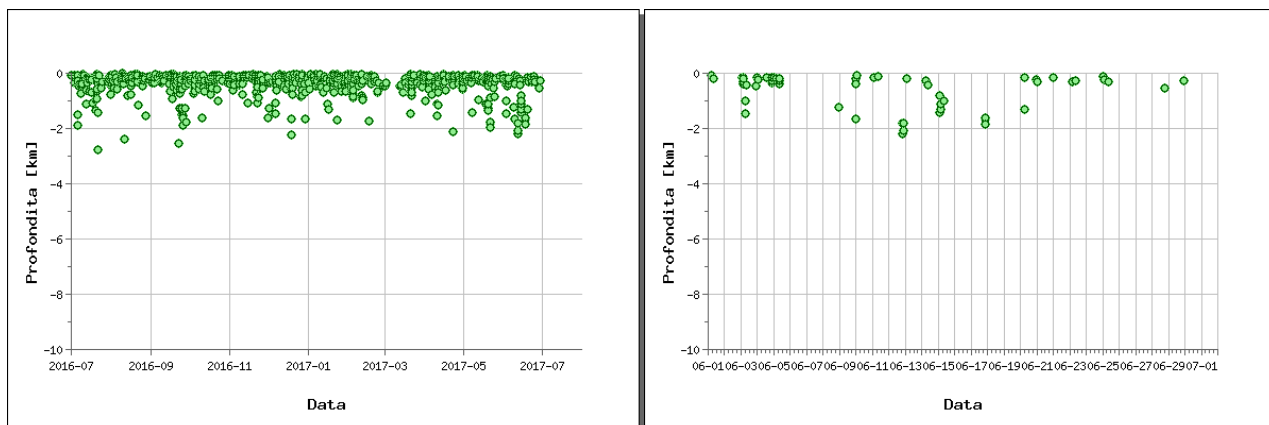


Figura 1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

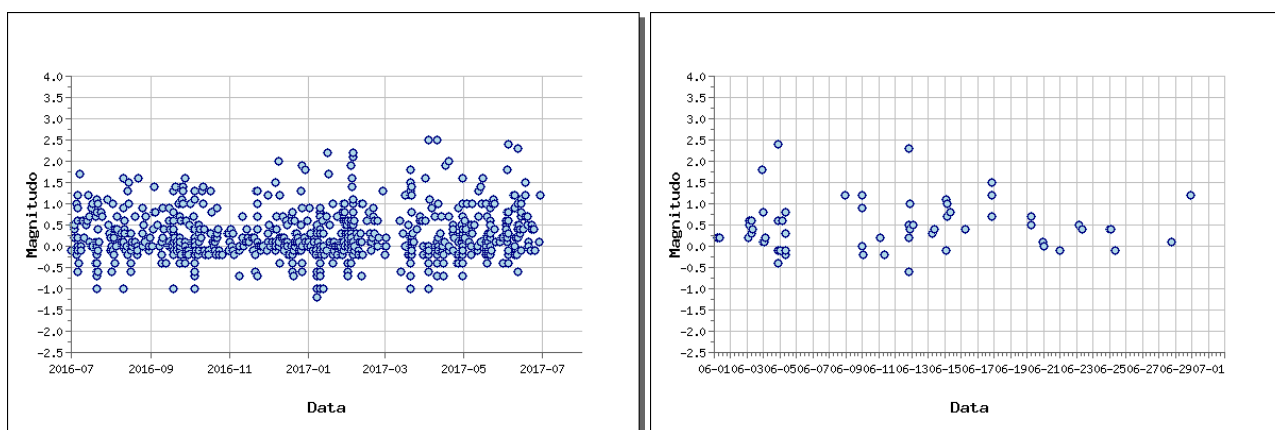


Figura 1.4 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

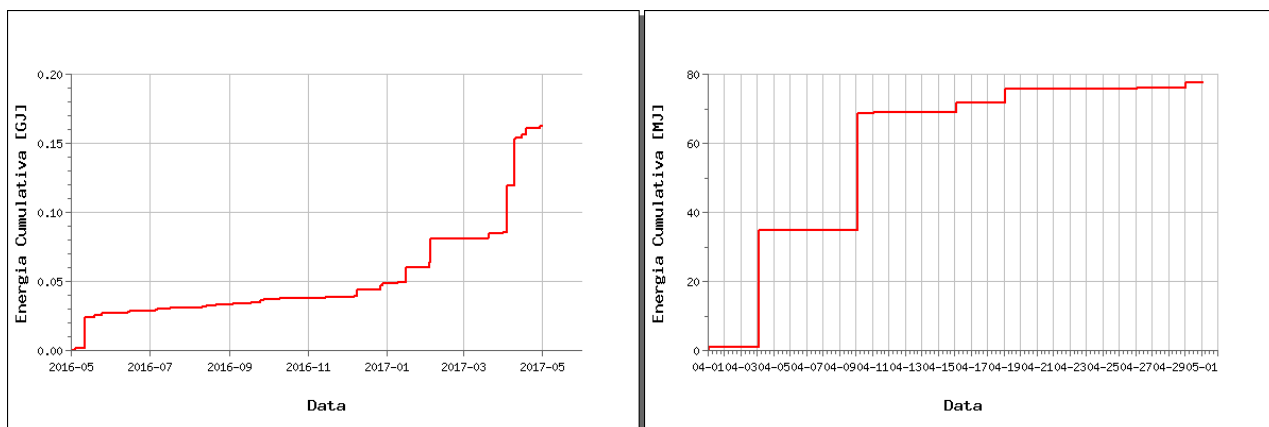


Figura 1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

In Fig. 1.6 sono riportate le analisi dei meccanismi focali dei terremoti di magnitudo ≥ 2.0 registrati nel mese di giugno (Tab. 1) che mostrano soluzioni associabili a componenti di movimento sia dip-slip che strike-slip.

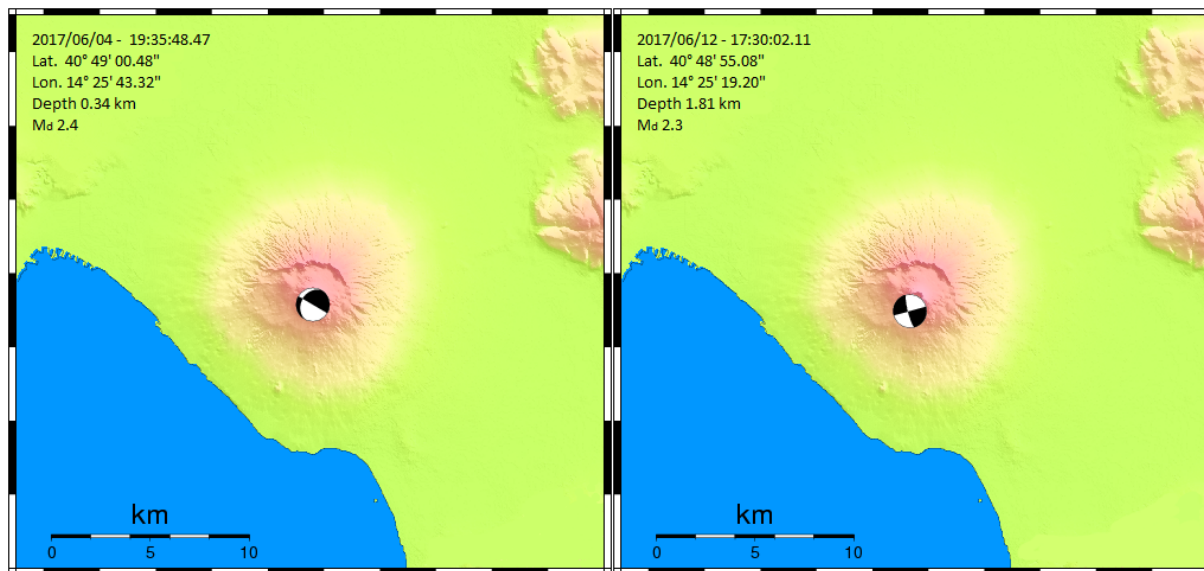


Figura 1.6 – Localizzazioni e meccanismi focali degli eventi del 04/06 alle 19:35 e del 12/06 alle 17:30.

Data	Md	Lat N	Long E	Prof. (km)
2017/06/04 19:35:48.47	2.4	40.8168	14.4287	0.34
2017/06/12 17:30:02.11	2.3	40.8153	14.4220	1.81

Tabella 1 – Parametri ipocentrali dei terremoti di magnitudo ≥ 2.0 registrati al Vesuvio nel mese di giugno

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. In Figura 2.2 viene riportata la serie temporale delle variazioni in quota della stazione GPS di BKNO (Bunker Nord).

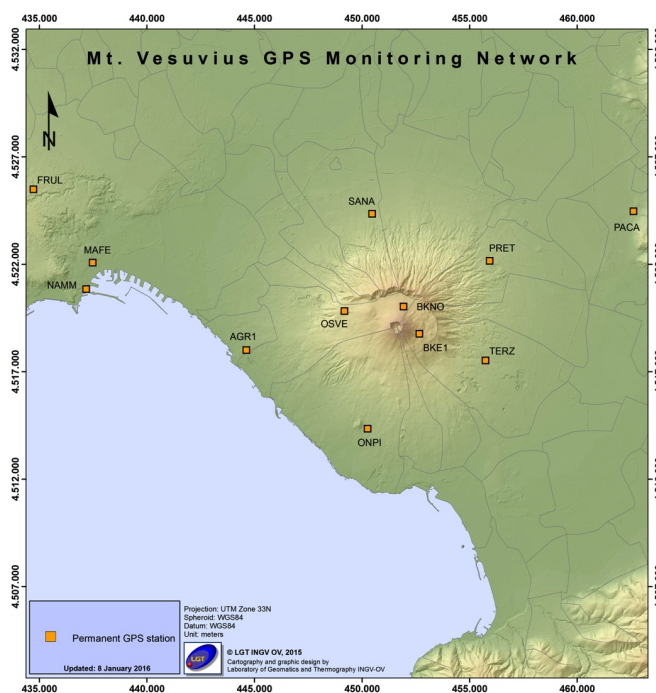


Figura 2.1 - Rete GPS Permanente del Vesuvio.

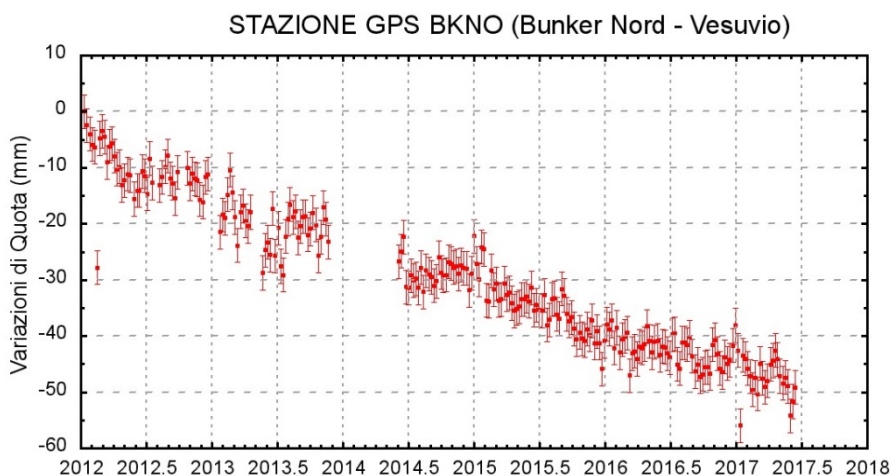


Figura 2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a giugno 2017.

Mareometria

In Figura 2.3 è mostrata la Rete Mareografica operativa al Vesuvio.

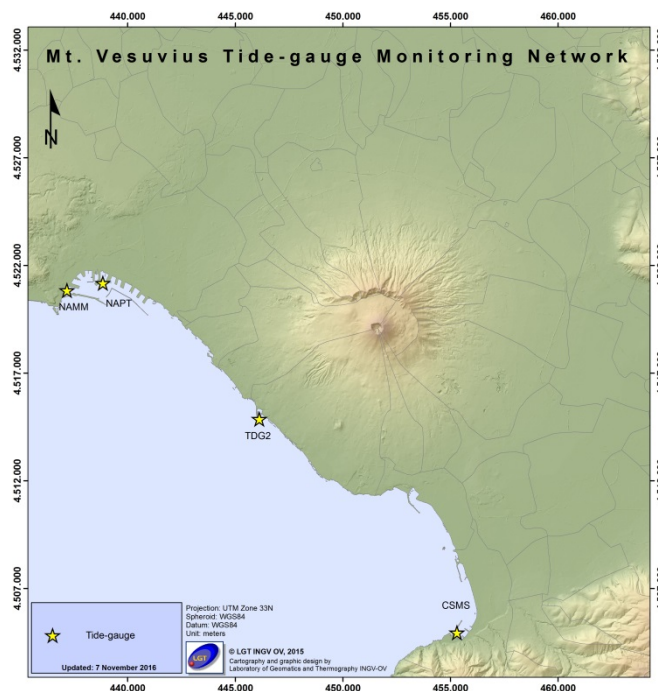


Figura 2.3 - Rete Mareografica del Vesuvio

Nell'area vesuviana non si osservano significativi movimenti verticali del suolo come rilevato dalle analisi dei dati alle stazione di Torre del Greco (TDG2) (Figura 2.4). Le analisi evidenziano delle lievi oscillazioni che rimangono confinate entro la soglia di significatività delle misure mareometriche.

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

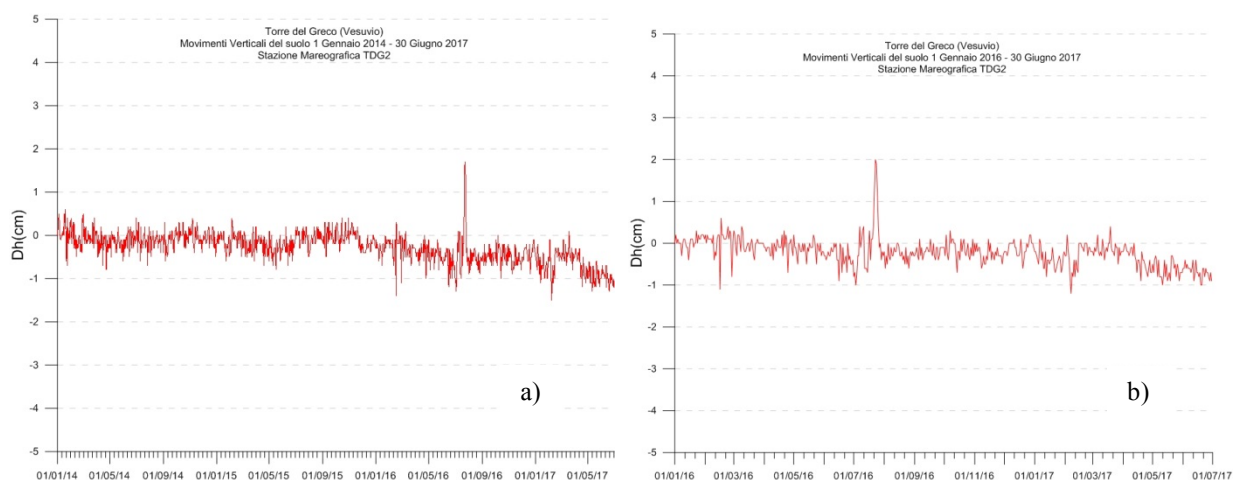


Figura 2.4 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - giugno 2017 (a) e gennaio 2016 - giugno 2017 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli Molo S.Vincenzo (NAMM).

Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni (Fig. 2.5) 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).

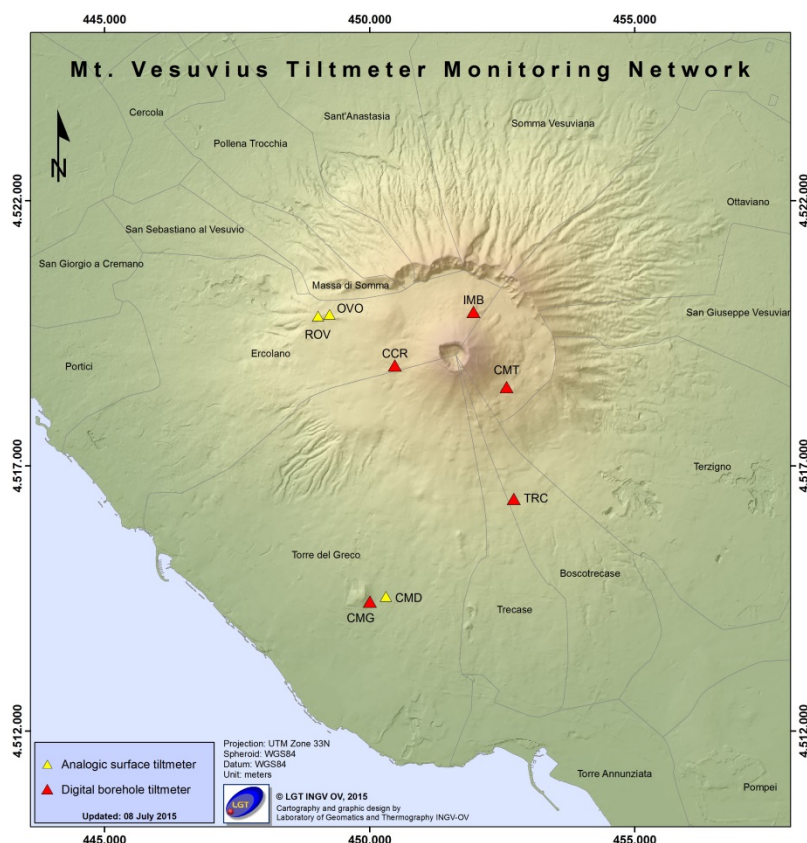


Figura 2.5 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.

Le serie temporali acquisite dai tiltmetri digitali (tra cui figurano anche la temperatura e la declinazione magnetica) non vengono decorrelate in quanto gli stessi sono posizionati a profondità a cui gli estremanti termici diurni ed annuali sono molto prossimi tra di loro. Il pattern di inclinazione calcolato al Vesuvio nel periodo gennaio-maggio 2017 è riportato in Figura 2.6.

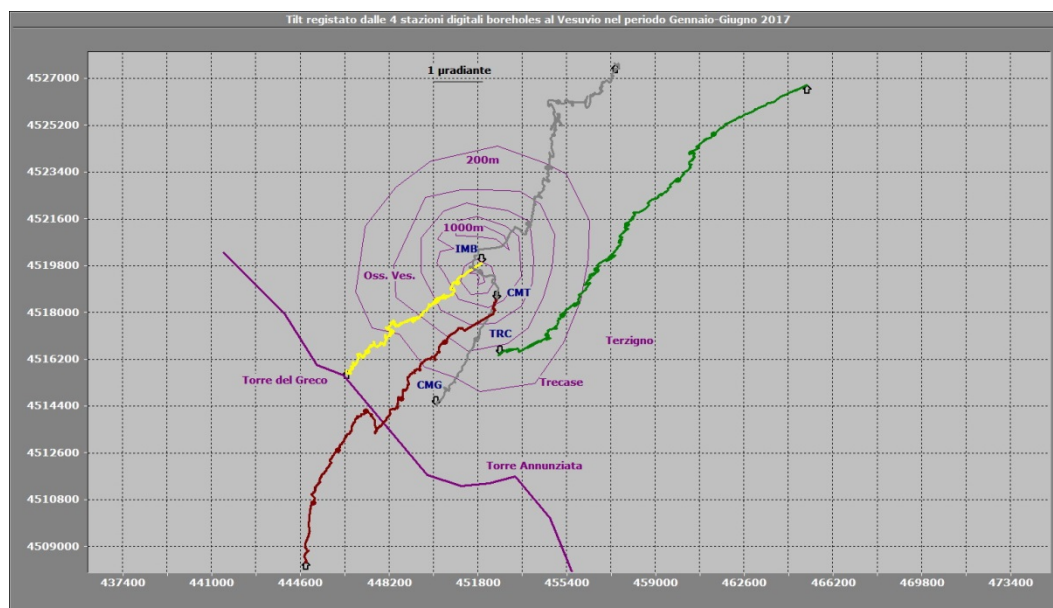


Figura 2.6 – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio nel periodo gennaio-giugno 2017. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni borehole con sensori ubicati tra 20 e 25 m di profondità.

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 (che indica settori di crosta in abbassamento) 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 nei primi sei mesi del 2017.

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	9.0 μ radianti a NE	- 0.02 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	3.8 μ radianti a SW	- 0.04 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	8.3 μ radianti a NNE	- 0.04 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	7.0 μ radianti a SW	0.20 °C

L'inclinazione dell'edificio vulcanico nel periodo gennaio-giugno 2017 è avvenuta in prevalenza in direzione NNE-NE nella parte meridionale del Vesuvio e quindi a quote più basse (CMG e TRC).

Il tilting prevalente, riguardante la porzione settentrionale del vulcano ed a quote maggiori (IMB e CMT), si concentra invece in direzione SW.

Nell'ultimo mese la temperatura di CMT ha subito una diminuzione ma il suo valore resta sempre più alto se confrontato con quello delle altre stazioni borehole. Si tratta di un fenomeno a carattere locale per il quale, allo stato attuale delle conoscenze e degli elementi noti, non appaiono esserci correlazioni con processi legati alla dinamica vulcanica.

Dal 23 maggio la stazione CMG mostra delle oscillazioni nelle 2 componenti tiltmetriche anche se tale fenomeno è molto più pronunciato sulla componente NS; la stranezza di tali ciclicità risiede nel fatto che la massima concentrazione si ha nelle ore diurne ma spesso

esse sono registrate anche di notte. Il periodo di oscillazione varia nel range 0.5÷2 ore ma le massime ampiezze spettrali ricadono nella banda 1.2÷1.4 ore (Fig. 2.7). Per verificare l'ipotesi che possa trattarsi di un fenomeno stagionale e/o dovuto a cause antropiche, è stato selezionato lo stesso periodo del 2016 ma, come si nota in Fig. 2.7, tali oscillazioni risultano completamente assenti.

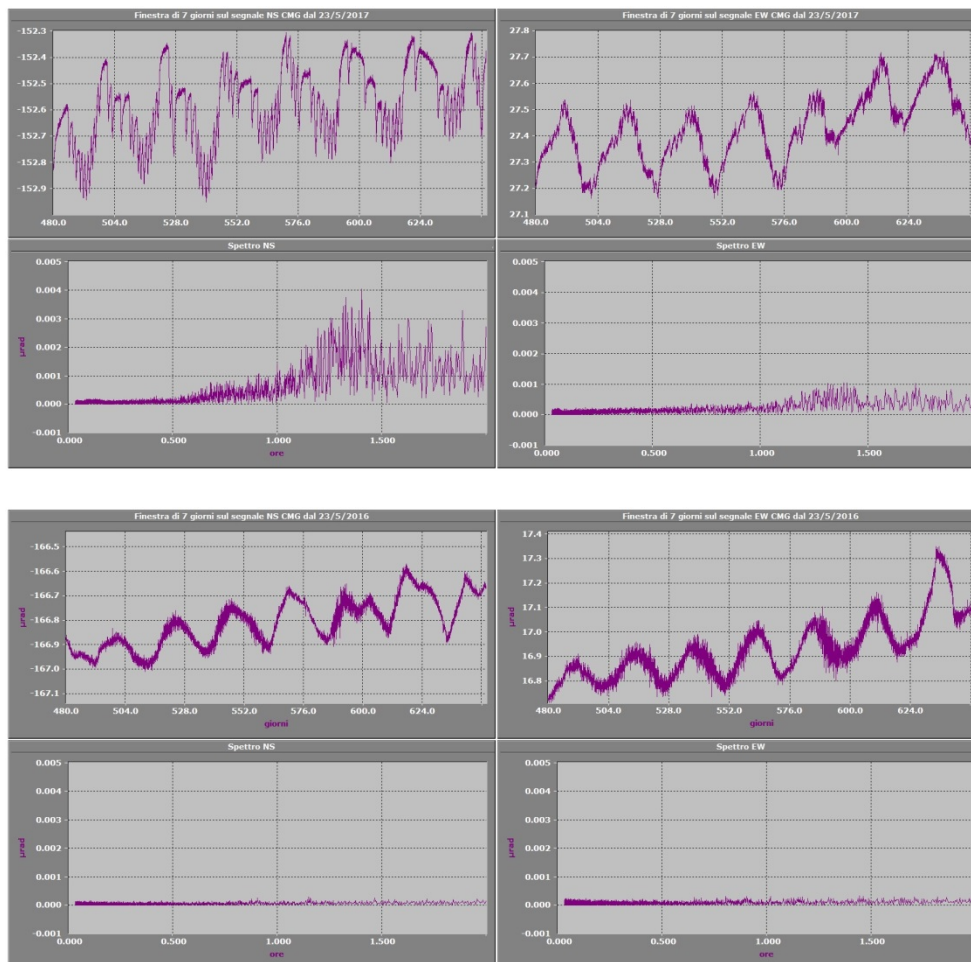


Figura 2.7 - Confronto tra la stessa parte di segnale tiltmetrico registrato alla stazione CMG nel 2016 e nel 2017 a partire dal 23 Maggio dei 2 anni. Sono riportate nella parte superiore le 2 componenti acquisite nel 2017 con i relativi spettri di ampiezza, mentre in quella inferiore il calcolo è stato effettuato per il 2016.

3 - Monitoraggio termico ad immagine

La stazione della Rete Permanente di Monitoraggio Termico acquisisce immagini all'infrarosso del versante interno sud occidentale del cratere del Vesuvio (Sansivero et al., 2013). La serie temporale in Fig. 3.1 non evidenzia la presenza di trend significativi del campo di temperatura superficiale nell'area d'analisi.

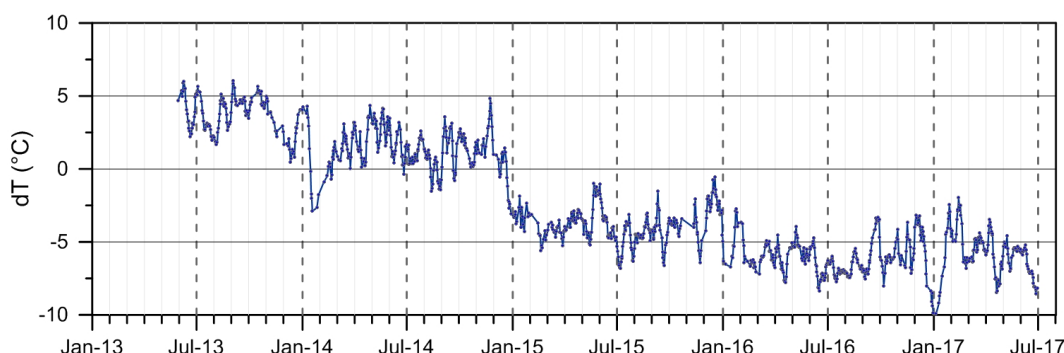


Figura 3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui (dT° ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

4 - Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di giugno 2017 ha riguardato (Fig. 4.1):

- 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 una stazione multiparametrica (FLXOV6) installata in area bordo cratere (settore SW) e la nuova stazione installata in area di fondo cratere (FLXOV7);
- il campionamento della fumarola FC2 sita sul fondo del cratere;
- misure di flusso di CO_2 dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati in area di Bordo Cratere;
- il campionamento delle fumarole di bordo cratere.

Le analisi di laboratorio dei campioni di gas prelevati della fumarola di fondo cratere (FC2), hanno mostrato una significativa riduzione della contaminazione atmosferica rispetto ai campioni relativi ai periodi precedenti.

Di seguito vengono riportate le osservazioni più rilevanti sui dati acquisiti.

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo del sistema idrotermale del Vesuvio è riportata nel lavoro scientifico Chiodini et al., (2001) e nei precedenti Bollettini di sorveglianza in cui sono state segnalate variazioni della composizione delle fumarole interne al cratere. In particolare, a partire dal terremoto del 9 ottobre 1999 ($M_d=3.6$), sono stati misurati per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto He/CO_2 che della $p\text{CO}_2$ stimata sulla base di geindicatori gassosi. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione del rapporto H_2/CO_2 e l'incremento del rapporto CO_2/CH_4 (Fig. 4.2, vedi rapporto finale 2001 e 2002). Tali variazioni sono state interpretate come un incremento dell'input di fluidi magmatici più ossidanti, poveri in CH_4 e ricchi in He nel sistema idrotermale. A partire dall'autunno 2002, le composizioni chimiche delle fumarole hanno mostrato un graduale ritorno dei valori verso le condizioni pre-1999.

Va comunque segnalato che nei campioni degli ultimi anni si registra un lieve aumento del rapporto CO_2/CH_4 ed He/CO_2 , rispetto ai valori più bassi raggiunti nel periodo 2009-2010, che potrebbe essere legato ad un aumento nella frazione di fluidi ossidanti (magmatici?).

Tuttavia, le analisi relative ai campioni prelevati negli ultimi periodi mostrano una diminuzione dei valori di equilibrio di temperatura e pressione parziale di CO_2 (stime basate sul CO), rientrando in un trend pluriennale di diminuzione dell'attività idrotermale all'interno del cratere del Vesuvio (Fig. 4.3).

La composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno del vapore delle fumarole è stata oggetto di un approfondito studio per la simulazione contemporanea del processo di mixing tra differenti componenti, effetti dovuti alla condensazione e/o aggiunta di acqua, scambio isotopico dell'ossigeno fra le molecole dell'acqua e della CO₂ (Caliro et al., 2011). Nel quadro interpretativo delineato in questo lavoro i campioni del 2014-2017 mostrano una diminuzione della frazione della componente magmatica (Fig. 4.4).

La composizione delle fumarole di bordo cratere, costituita essenzialmente da una miscela di aria e del componente idrotermale profondo (Caliro et al., 2011), nei campioni di Giugno 2017 (fumarole B1 e B3) non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 4.5).

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. 4.6). Le lievi variazioni osservate sono, comunque, da mettersi in relazione a particolari eventi meteorologici (pioggia, vento forte, bassa pressione, temperatura atmosferica etc.).

La stazione multiparametrica installata nell'area fumarolizzata di fondo cratere (FLXOV7, Fig. 4.7) misura: il flusso di CO₂ dal suolo (ogni ora), gradiente di temperatura nel suolo, temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area, pressione atmosferica e temperatura dell'aria (ogni 10 minuti). I dati misurati sono trasmessi in tempo reale al centro di monitoraggio. Il sito di installazione scelto, sebbene raggiungibile con estrema difficoltà e solo da esperti professionisti, è particolarmente indicato per gli scopi di monitoraggio in quanto sede delle maggiori manifestazioni dell'attività idrotermale di tutta l'area Vesuviana, con flussi di CO₂ dal suolo > 20.000 gm-2d-1 (due ordini di grandezza maggiore delle aree di bordo cratere) e temperatura del suolo di circa 96 °C. In Figura 4.7 sono riportati i primi dati acquisiti dalla stazione. Alcuni sensori (flusso di CO₂ e gradiente di temperatura del suolo), nonostante gli accorgimenti di protezione utilizzati, sono stati danneggiati dalla fauna locale e saranno sostituiti nelle prossime operazioni di manutenzione.

In conclusione le indicazioni fornite dalla geochimica dei fluidi sono di una sostanziale stabilità dei trend precedentemente osservati con variazioni di lieve entità ed ancora non chiaramente interpretabili.



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).

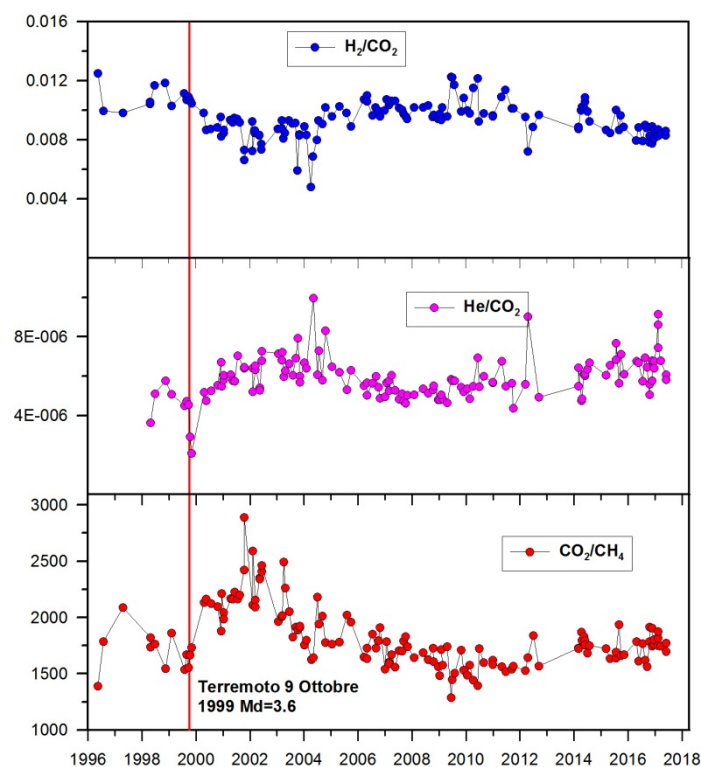


Figura 4.2 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2017.

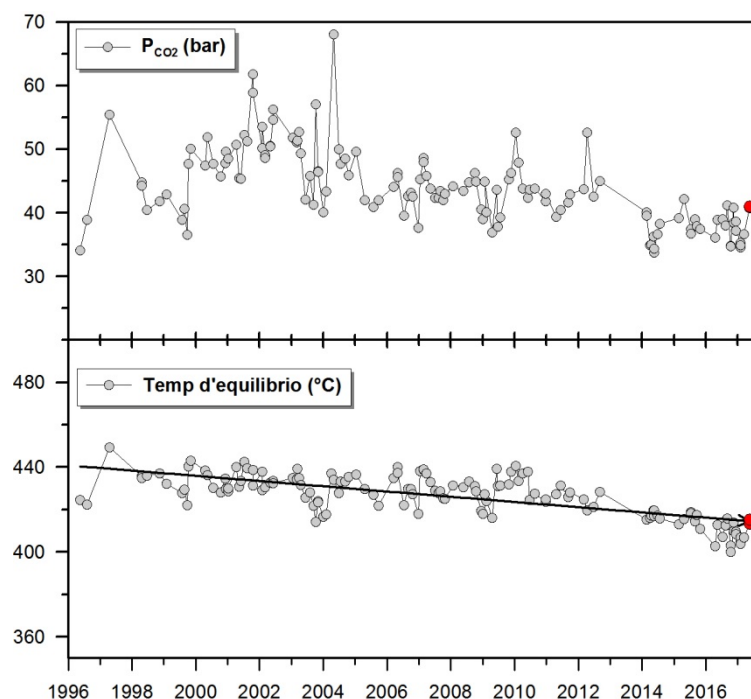


Figura 4.3 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO_2 stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. I campioni di Marzo 2017 sono riportati con il simbolo rosso.

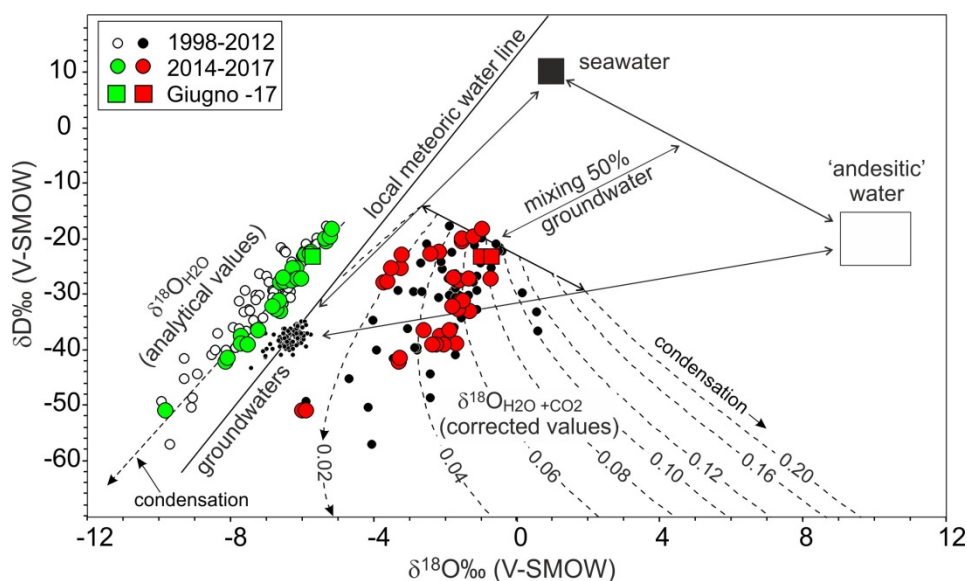


Figura 4.4 - Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratere del Vesuvio. I dati analitici (simboli verdi e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il CO_2 e il vapore e gli effetti di condensazione in accordo con il modello proposto in Caliro et al. (2011), al quale si rimanda per maggiori dettagli e approfondimenti. Tale modello prevede un'origine del vapore fumarolico dovuta al mixing di tre componenti: acqua magmatica di tipo andesitico, acqua di mare e acque meteoriche locali. Le linee tratteggiate indicano le variazioni composizionali del sistema $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ legate a processi di condensazione del vapore per un fluido originato da differenti miscele delle tre componenti, la cui frazione molare di CO_2 è indicata su ogni linea. La composizione dei campioni calcolata per il sistema $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ (simboli rossi e neri) individua, nel diagramma, la possibile frazione di CO_2 del fluido originale. Alti valori di questa frazione indicherebbero, quindi, un maggiore contributo di fluidi magmatici nei gas fumarolici.

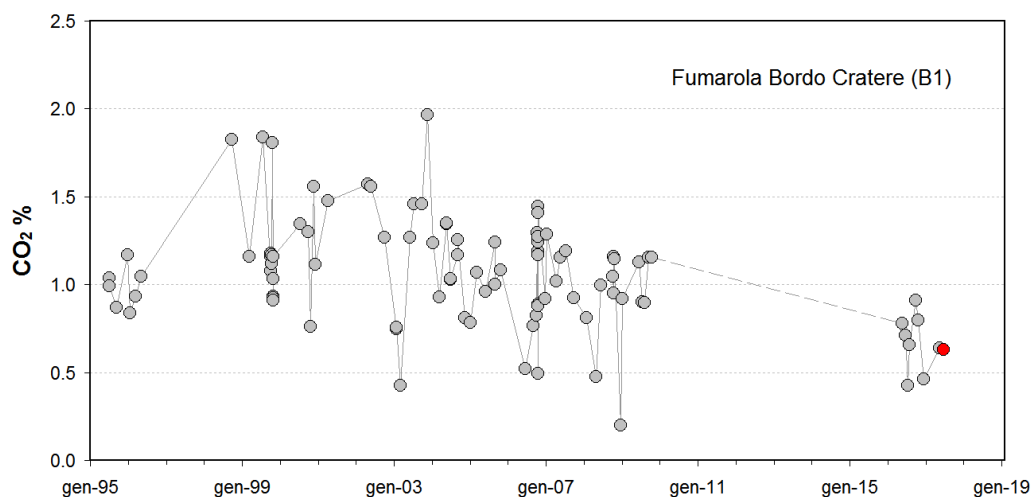


Figura 4.5 - Cronogramma della concentrazione di CO₂ della fumarola di bordo cratere B1 (area anemometro). Il campione di Giugno 2017 è riportato con il simbolo rosso.

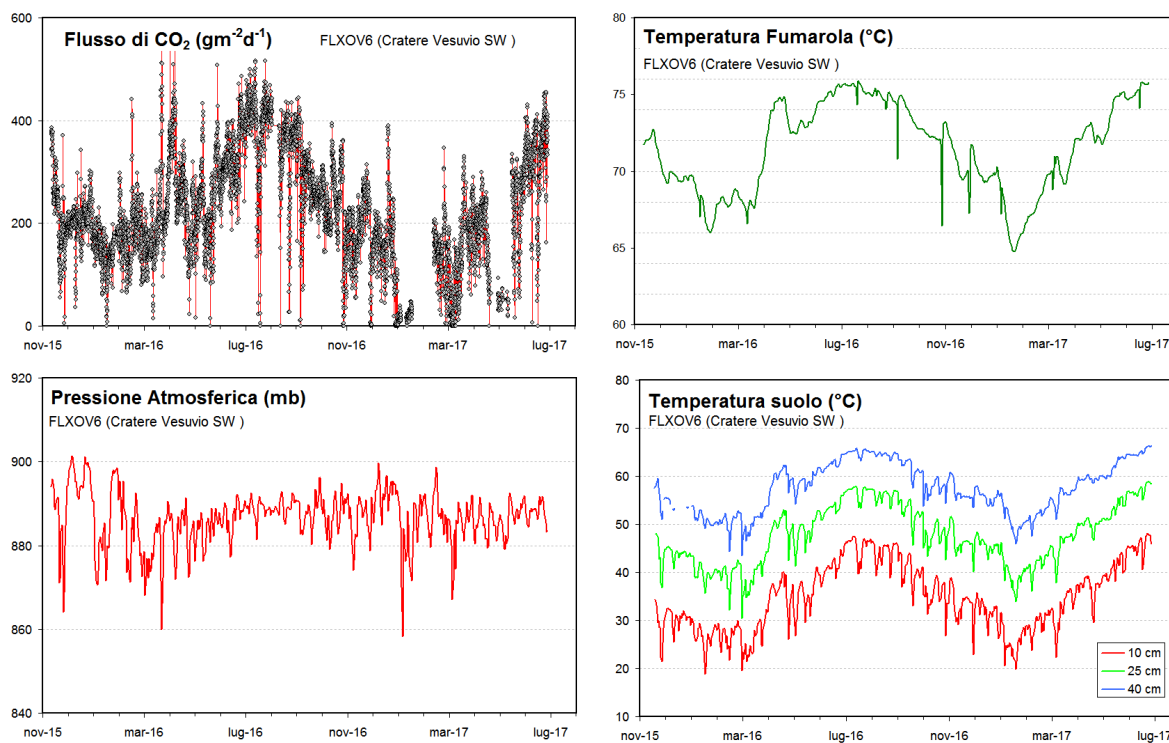


Figura 4.6 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

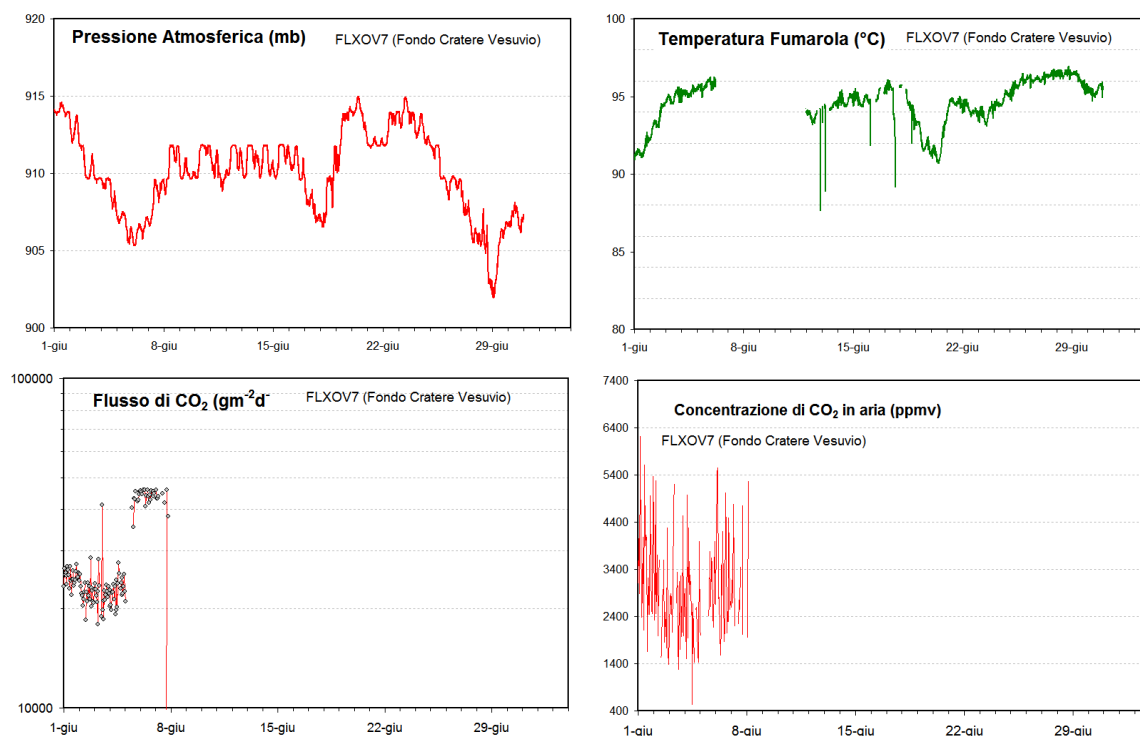


Figura 4.7 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV7) installata in area di fondo cratere del Vesuvio.

5 - QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI GIUGNO 2017 E VALUTAZIONI

Al Vesuvio permane una lieve sismicità di fondo ed un'assenza di deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche. I dati delle telecamere termiche e le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul versante del cratere né sul fondo.

Sulla base dell'attuale stato dell'attività vulcanica, non sono previste significative evoluzioni a breve termine.

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.
- 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 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.