



**INGV**  
terremoti  
vulcani  
ambiente

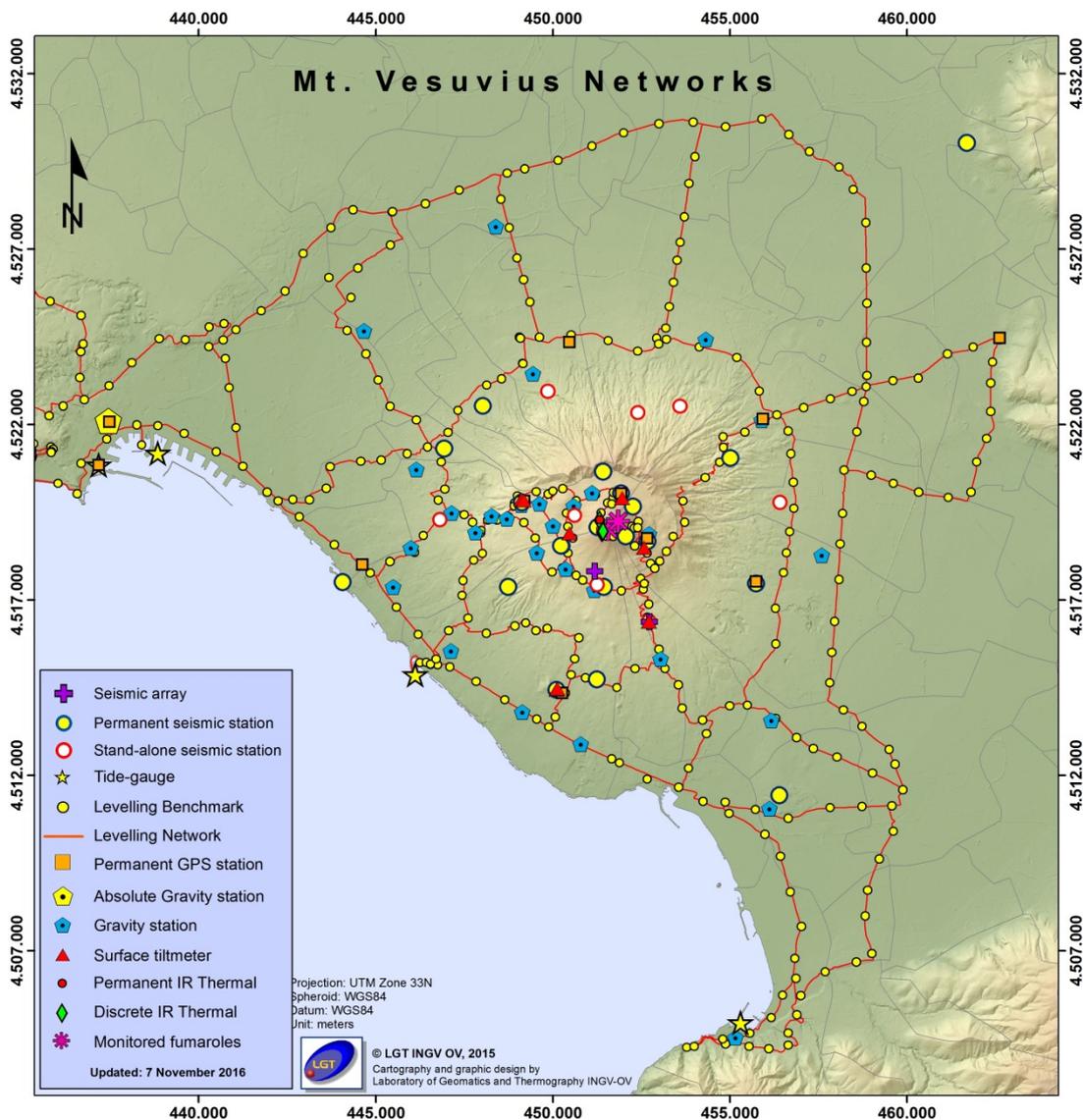
ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

# Bollettino di Sorveglianza

## VESUVIO

### DICEMBRE 2016

Sezione di Napoli  
OSSERVATORIO VESUVIANO



Via Diocleziano, 328  
80124 NAPOLI | Italia  
Tel.: +39 0816108483  
Fax: +39 0816102304  
[aoo.napoli@pec.ingv.it](mailto:aoo.napoli@pec.ingv.it)  
[www.ov.ingv.it](http://www.ov.ingv.it)

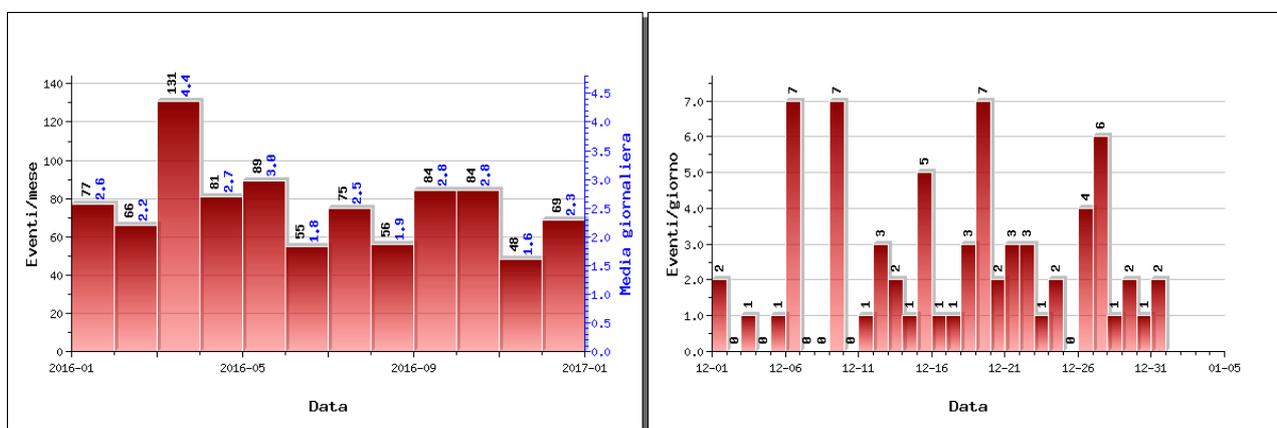
## VESUVIO

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. Si segnala, altresì, una marcata contaminazione da aria per la fumarola di fondo cratere (FC2) che se in futuro dovesse aumentare renderebbe la composizione dei gas inutilizzabile per applicazioni geotermobarometriche.

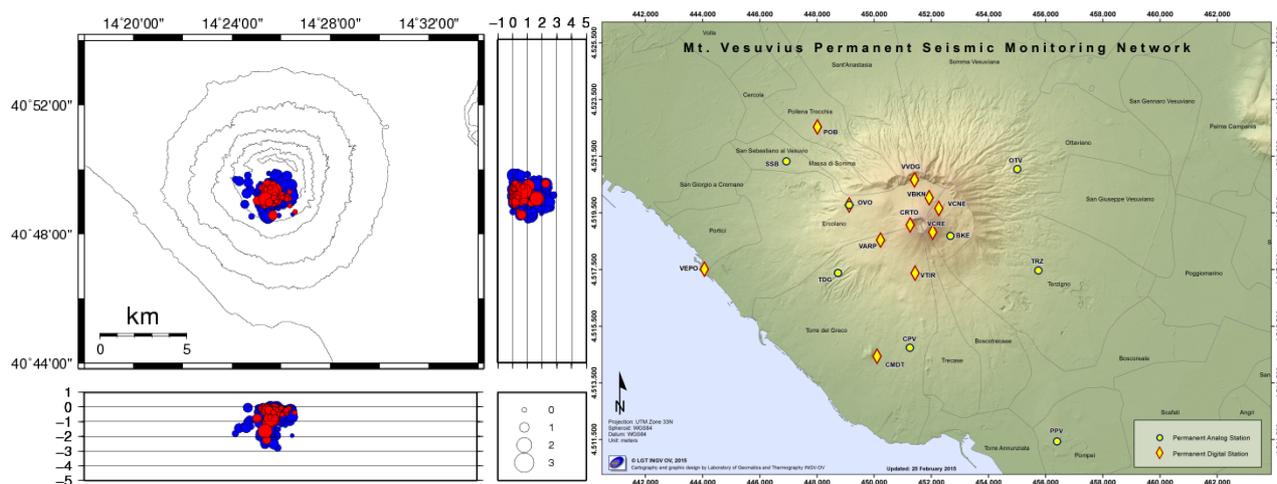
### 1 - Sismicità

Nel corso del mese di dicembre al Vesuvio sono stati registrati 69 terremoti (Fig. 1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 67 degli eventi registrati. La magnitudo massima è stata pari a 2.0 (evento del 09/12 alle 03:57).

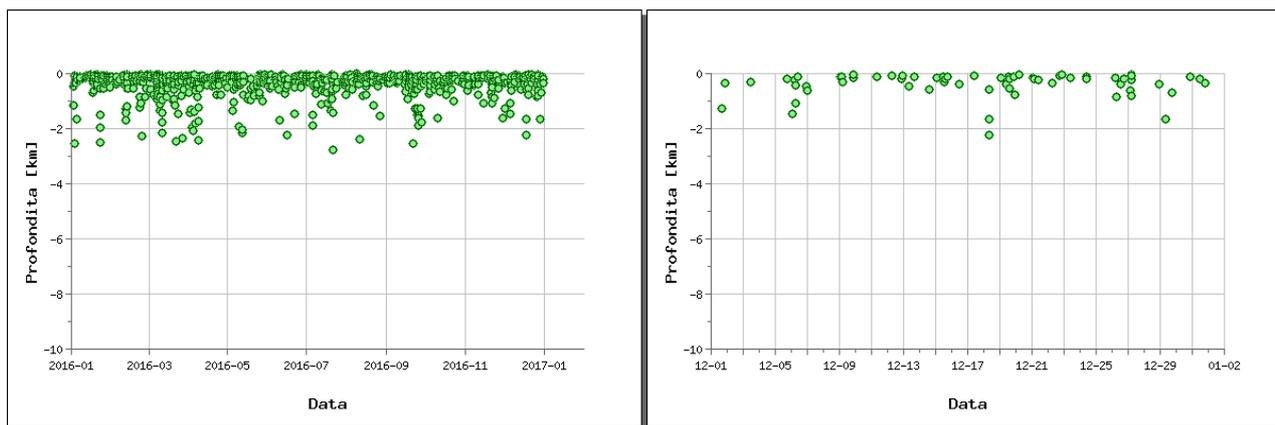
Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5).



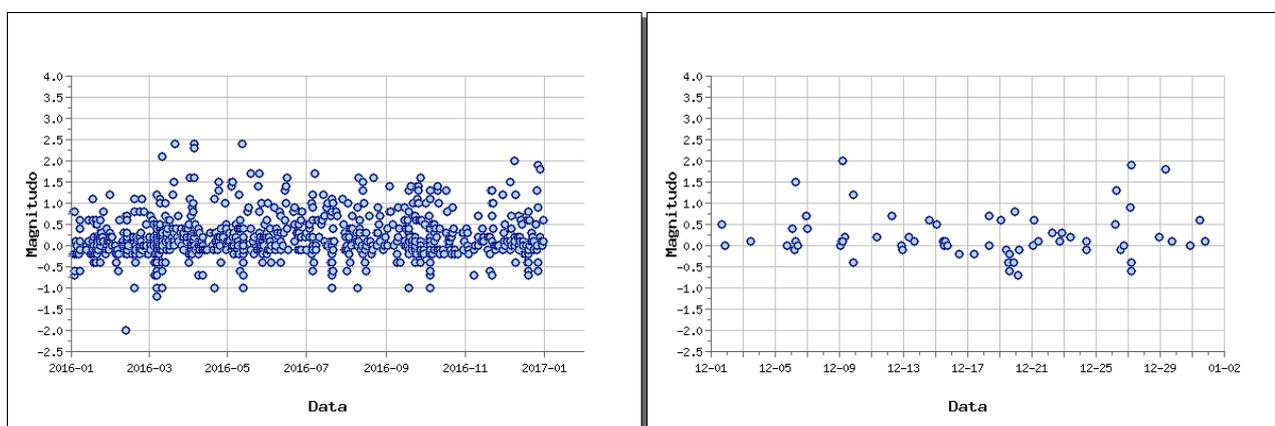
**Figura 1.1** - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 915), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 69).



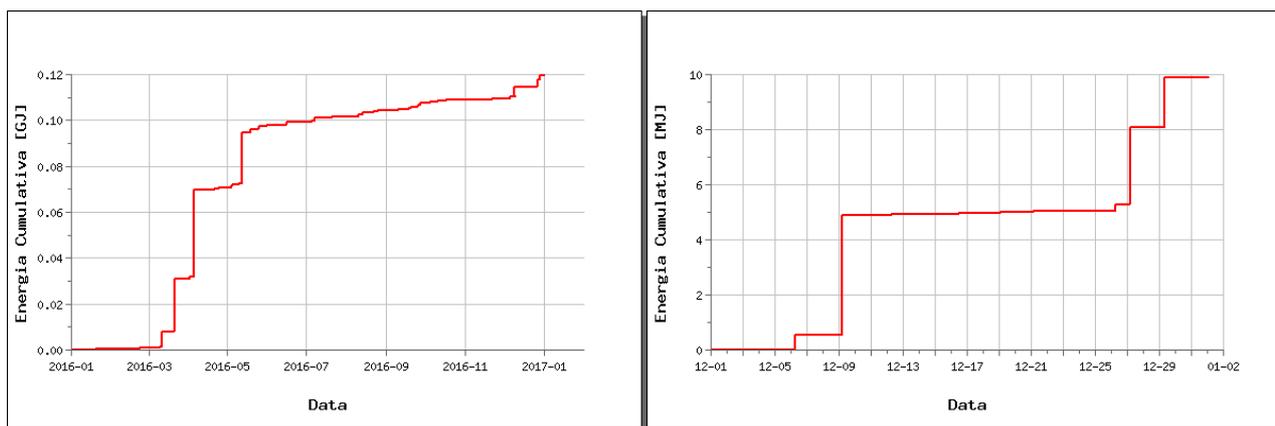
**Figura 1.2** - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.



**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).

Di seguito si riportano i parametri ipocentrali dei terremoti di magnitudo  $\geq 2.0$  registrati al Vesuvio nel mese di dicembre:

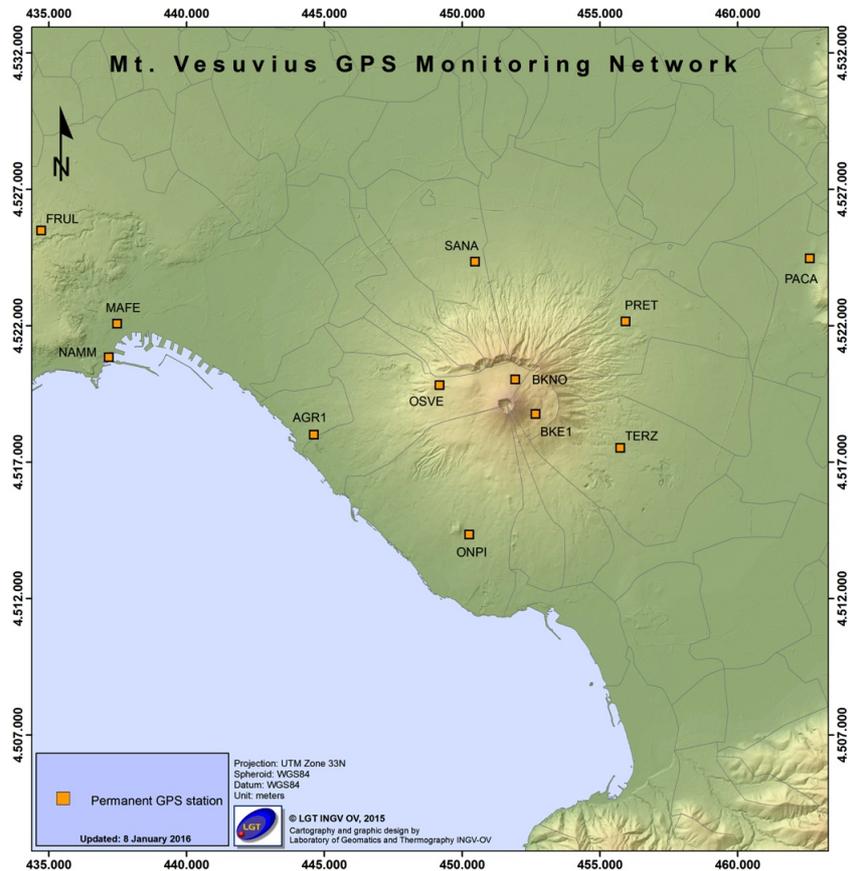
Data	Md	Lat N	Long E	Prof. (km)
2016/12/09 03:57:10.54	2.0	40° 49' 21.72"	14° 25' 43.32"	0.30

## 2 - Deformazioni del Suolo

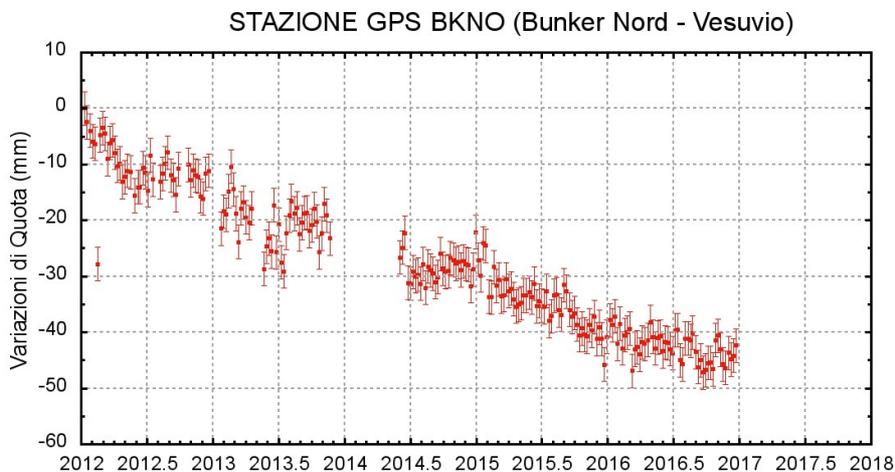
### GPS

In Fig. 2.1 è mostrata la Rete GPS Permanente operativa al Vesuvio.

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).



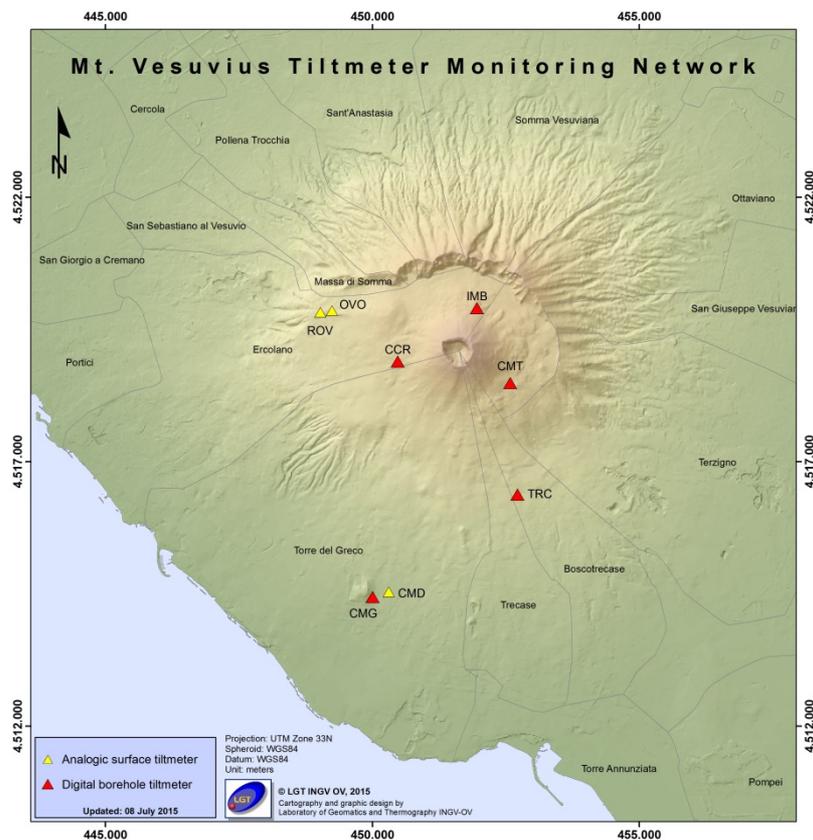
**Figura 2.1** - Rete GPS Permanente del Vesuvio.



**Figura 2.2** - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a dicembre 2016.

## Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni (Fig. 2.3) 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).



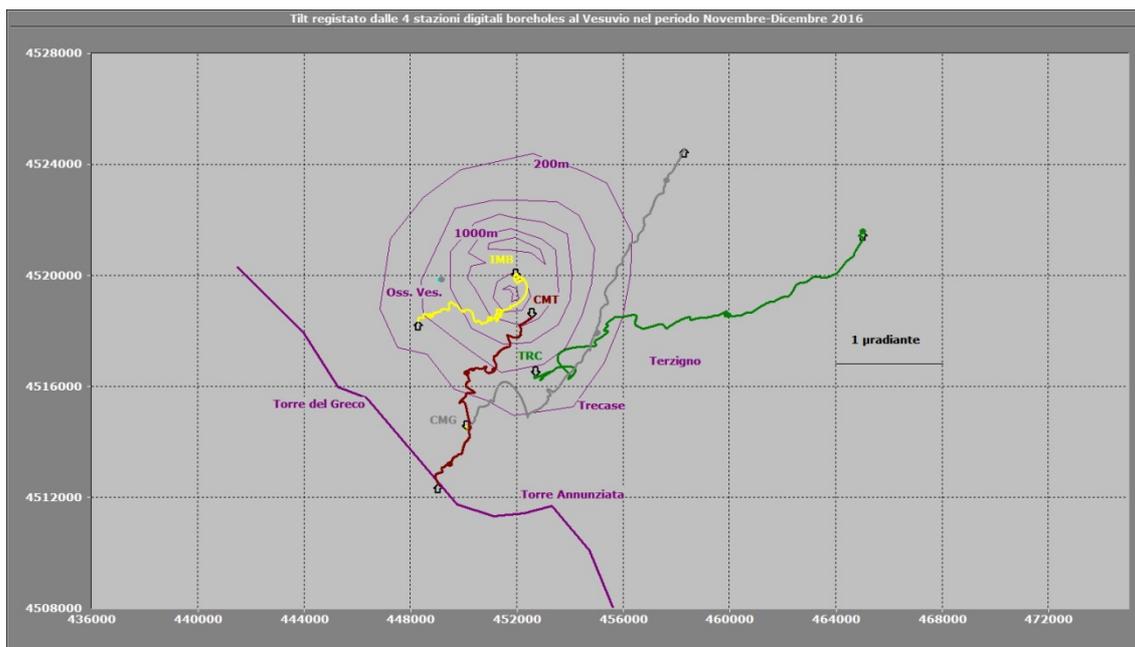
**Figura 2.3** – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.

Tutte le stazioni acquisiscono con passo di campionamento ogni minuto e trasmettono quotidianamente al Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano secondo 2 modalità di trasmissione (ADSL, GSM, Rete Hiperlan).

I segnali registrati dalle stazioni tiltmetriche analogiche vesuviane consistono in time-series di variazioni di inclinazione del suolo lungo due piani ortogonali (NS ed EW), di temperatura e di pressione atmosferica. Le sequenze tiltmetriche considerate per il calcolo del campo di inclinazione del suolo derivano dalle time-series registrate e sottoposte ad un trattamento statistico di decorrelazione dagli effetti termici (dovuti primariamente all'insolazione diurna) allo scopo di rimuoverne gli effetti sui segnali stessi.

Le time-series acquisite dai tiltmetri digitali (tra cui figura 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 novembre-dicembre 2016 è riportato in Fig. 2.4.



**Figura 2.4** – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio nel periodo novembre-dicembre 2016. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni boreholes con sensori ubicati a 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.

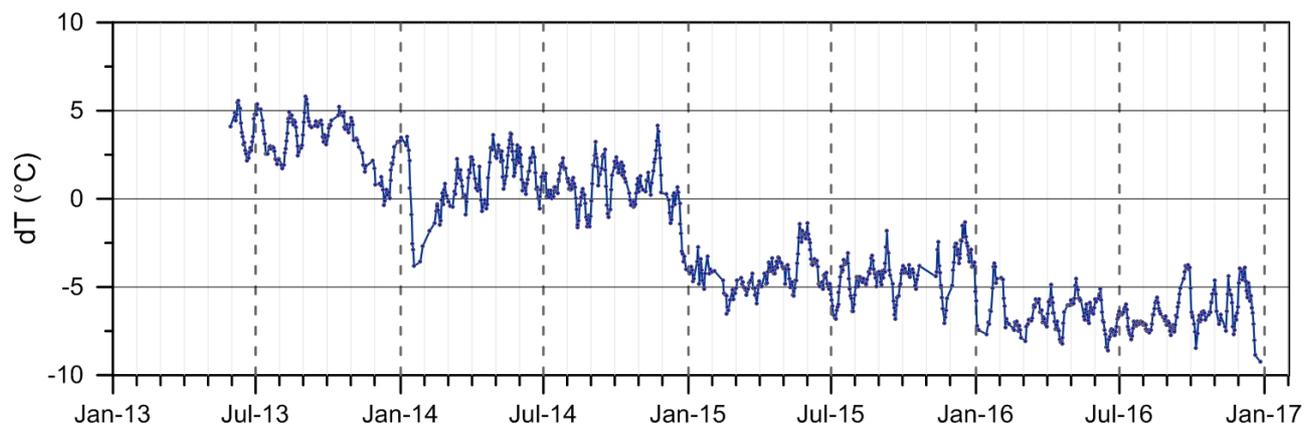
Nella Tabella seguente sono riportati i valori di inclinazione del suolo in 2 mesi, le rispettive direzioni del tilting e la variazione di temperatura registrata a fondo pozzo ( $\approx -25$  m dal p.c.)

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	3.3 $\mu$ radianti a ENE	+ 0.03 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	1 $\mu$ radiante a WSW	+ 0.06 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	3.3 $\mu$ radianti a NE	+ 0.01 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	0.9 $\mu$ radianti a SSW	+ 0.05 °C

L'inclinazione dell'edificio vulcanico avviene in direzione SE-NW ma con versi differenti in relazione alla posizione ed alla quota delle stazioni; nei 2 mesi considerati la direzione prevalente è NE nel settore meridionale ed a quote più basse (TRC e CMG) mentre risulta SW in quello settentrionale, in corrispondenza del cratere e quindi a quote maggiori (IMB e CMT).

### 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).



**Figura 3.1** - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui ( $dT^{\circ}$ ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

La serie temporale in Fig. 1.3.1 non evidenzia la presenza di trend significativi sebbene mostri una lieve ma costante diminuzione del campo di temperatura superficiale nell'area d'analisi.

### 4 - Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di dicembre 2016 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 una stazione multiparametrica (FLXOV6) installata in area bordo cratere (settore SW);
- 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 nelle area di fondo cratere e bordo cratere;
- il campionamento delle fumarole di bordo cratere (Fig. 4.1).

Va segnalato il perdurare delle condizioni di scarsa attività e la quasi assenza di flusso della fumarola di fondo cratere (FC2), della quale sono state prelevate diverse aliquote di gas. Le analisi chimiche dei campioni hanno mostrato una contaminazione di aria. Tale contaminazione dei gas, che avviene nel sottosuolo prima della emissione dalla fumarola, al momento risulta ancora bassa, ma se in futuro dovesse aumentare insieme a possibili fenomeni di frazionamento renderebbe la composizione dei gas inutilizzabile per applicazioni geotermobarometriche.

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 rapporti 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  $pCO_2$  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. Una dettagliata descrizione delle variazioni e delle possibili interpretazioni sono riportate nel lavoro scientifico Caliro et al. (2011).

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) rispetto ai periodi precedenti, 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 recentemente 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  $CO_2$  (Caliro et al., 2011). Nel quadro interpretativo delineato in questo lavoro i campioni del 2014-2016 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 dicembre 2016 non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (fumarola B1, Fig. 4.5).

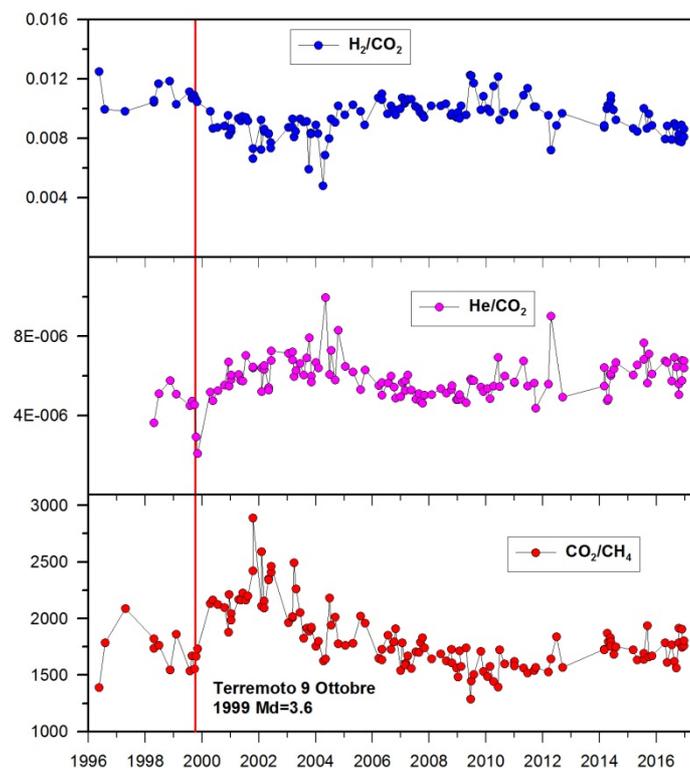
La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (settore SW), misura: il flusso di  $CO_2$  dal suolo (ogni due ore), gradiente di temperatura nel suolo, temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area, pressione atmosferica e temperatura dell'aria (ogni 10 minuti). I parametri 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.).

È iniziata nel mese di dicembre l'installazione di una nuova stazione geochimica multiparametrica nell'area fumarolizzata di fondo cratere per la misura del flusso di  $CO_2$  dal suolo, del gradiente di temperatura e della temperatura del suolo, pressione atmosferica e temperatura dell'aria.

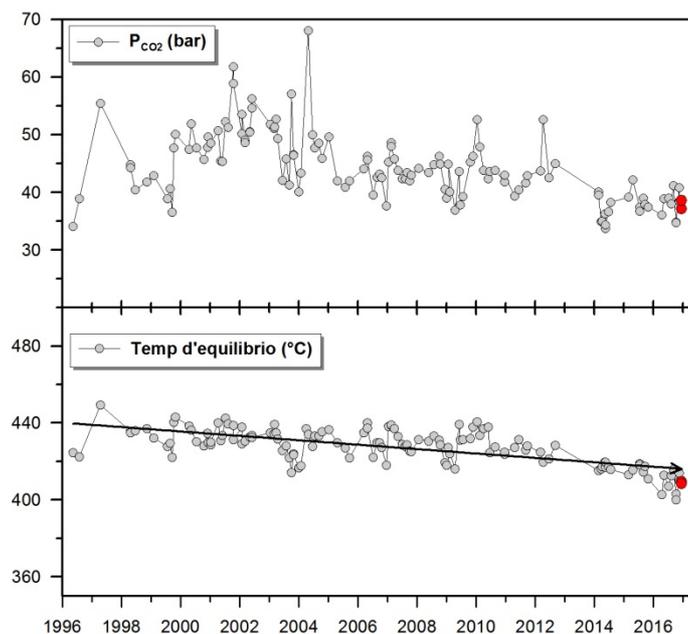
In conclusione le indicazioni fornite dalla geochimica dei fluidi sono di una sostanziale stabilità dei trend precedentemente osservati con variazioni di lieve entità ed ancora non chiaramente interpretabili.



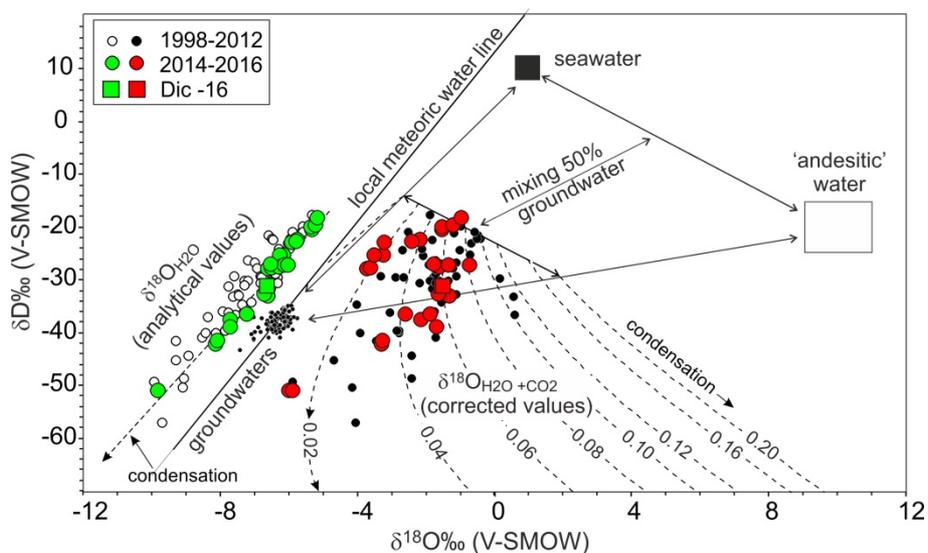
**Figura 4.1** - Ubicazione della stazione multiparametrica FLXOV6 e dei siti oggetto delle attività di sorveglianza geochemica in area craterica. In particolare, sono riportate le principali fumarole di bordo cratere (B1-B3) e di fondo cratere (FC2), sono inoltre riportati i punti fissi per la misura del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e della temperatura del suolo, in area bordo cratere (simboli bianchi) e in area di fondo cratere (simboli gialli).



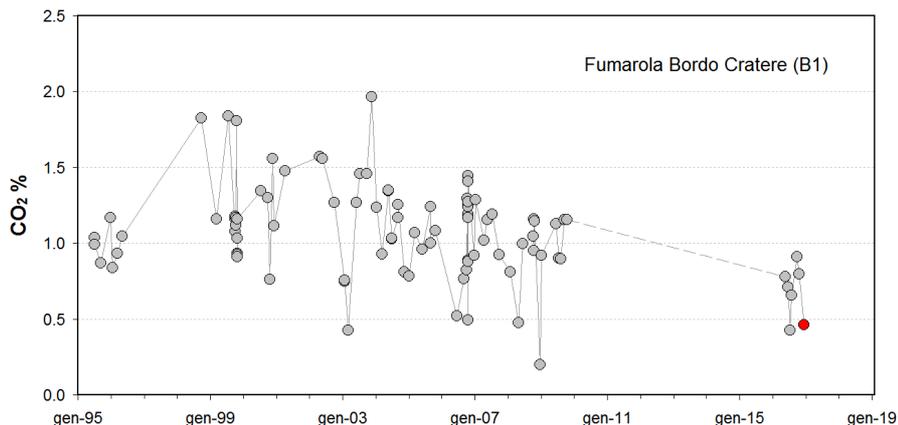
**Figura 4.2** - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2016.



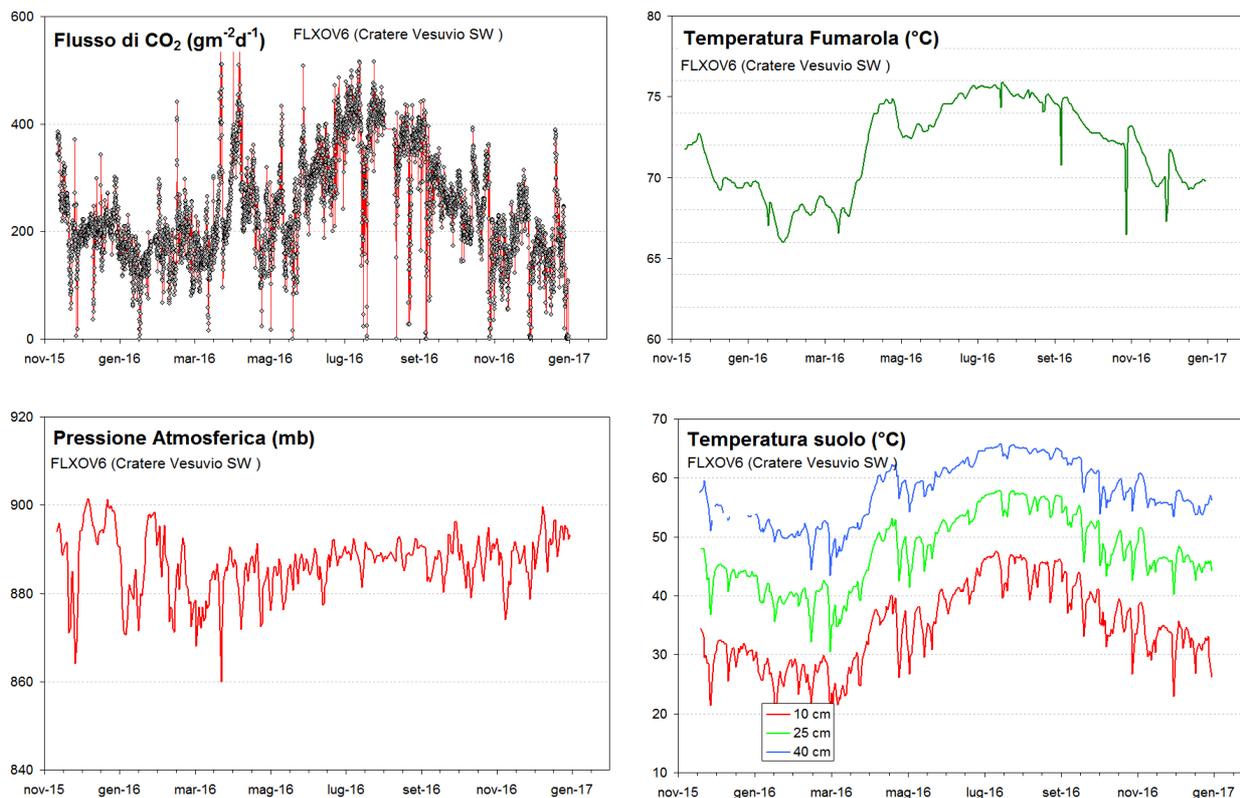
**Figura 4.3** - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO<sub>2</sub> stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. I campioni di dicembre 2016 sono riportati con i simboli rossi.



**Figura 4.4** - Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratero del Vesuvio. I dati analitici (simboli verdi e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il CO<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub> legate a processi di condensazione del vapore per un fluido originato da differenti miscele delle tre componenti, la cui frazione molare di CO<sub>2</sub> è indicata su ogni linea. La composizione dei campioni calcolata per il sistema H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub> (simboli rossi e neri) individua, nel diagramma, la possibile frazione di CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> della fumarola di bordo cratere B1 (area anemometro). Il campione di dicembre 2016 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, ad esclusione del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

## 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.*