

VESUVIO

1 - Sismicità

Nel corso del mese di marzo 2017 al Vesuvio sono stati registrati 59 terremoti (Fig. 1.1). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 41 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.2. La magnitudo massima è stata pari a 1.7 (evento del 21/03 alle 10:21 UTC).

33 eventi, di magnitudo compresa tra -1.0 e 1.7, sono stati registrati durante uno sciame sismico iniziato alle 09:16 UTC e terminato alle 14:51 UTC del 21/03.

Non si evidenziano trend significativi negli altri parametri sismologici (Fig. 1.3, 1.4, 1.5).

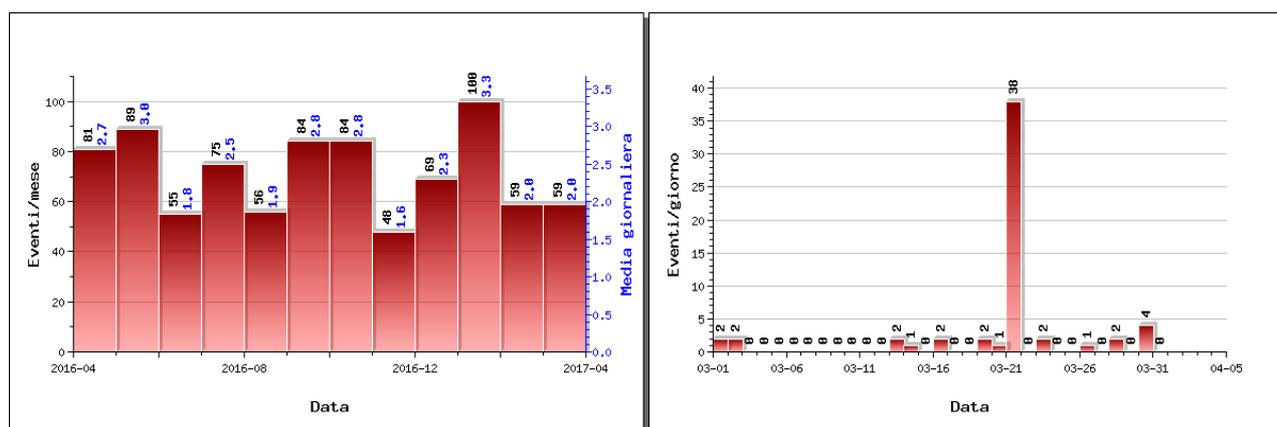


Figura 1.1 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 859), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 59).

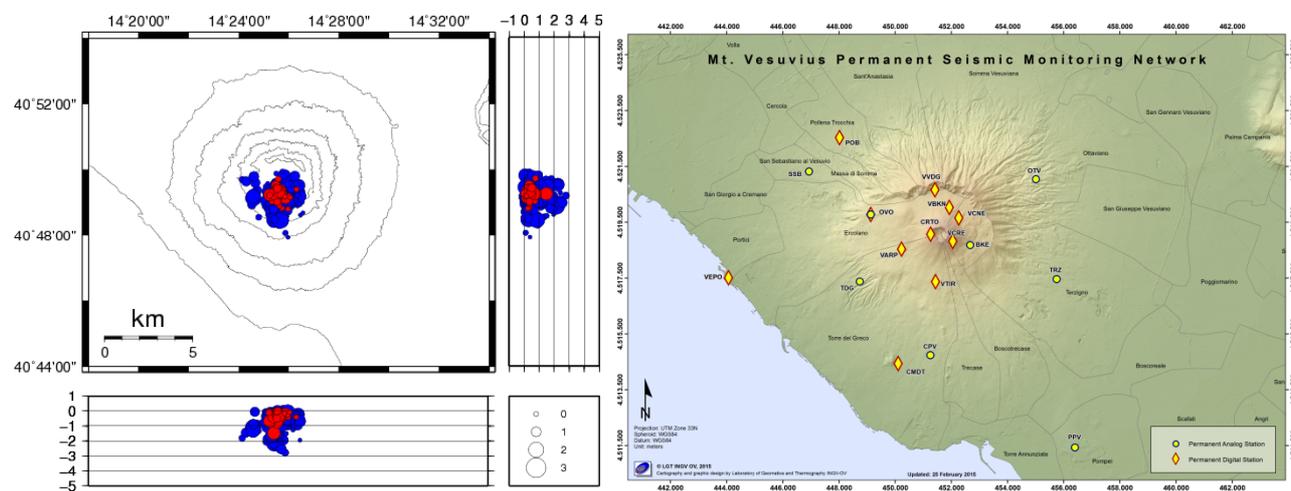


Figura 1.2 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.

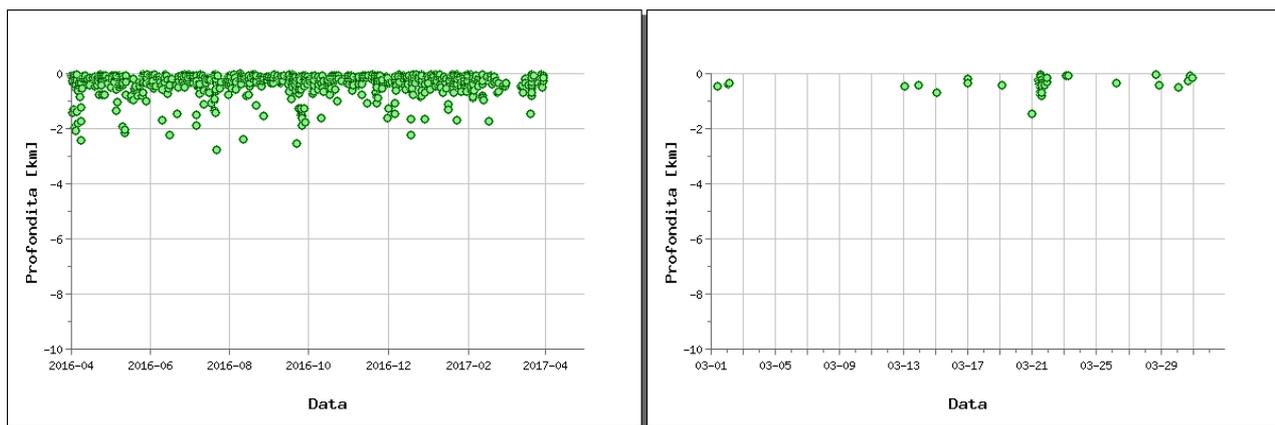


Figura 1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

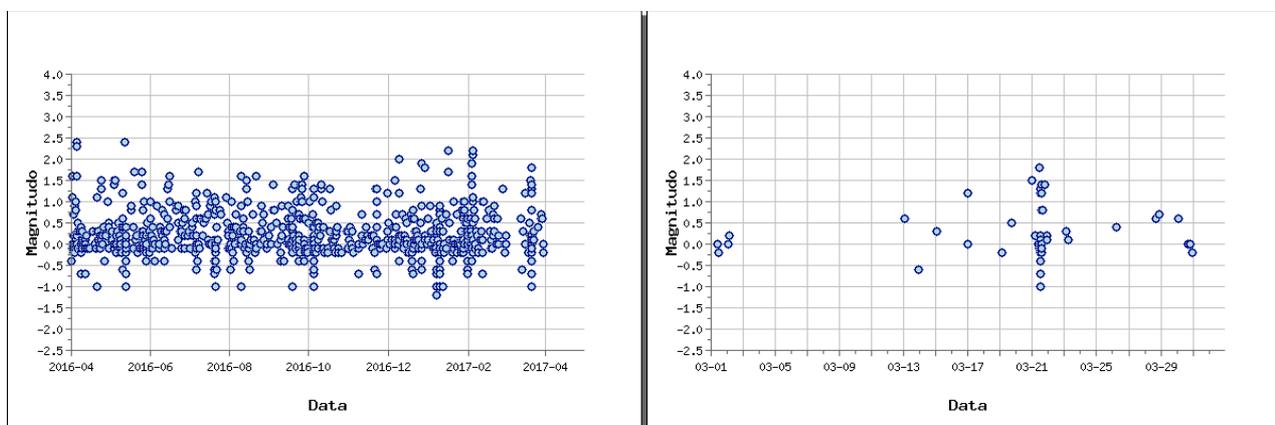


Figura 1.4 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

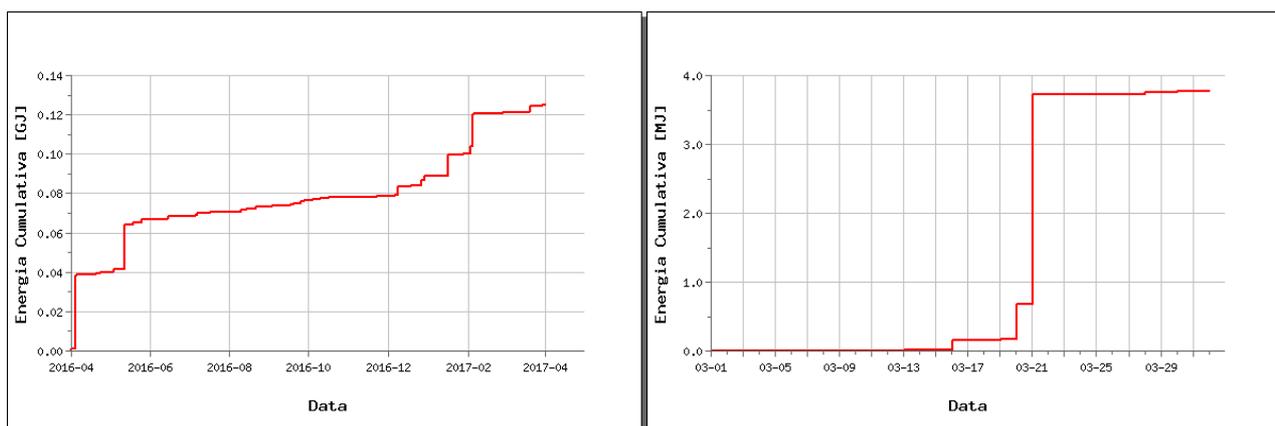


Figura 1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

2 - Deformazioni del Suolo

GPS

In Figura 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).

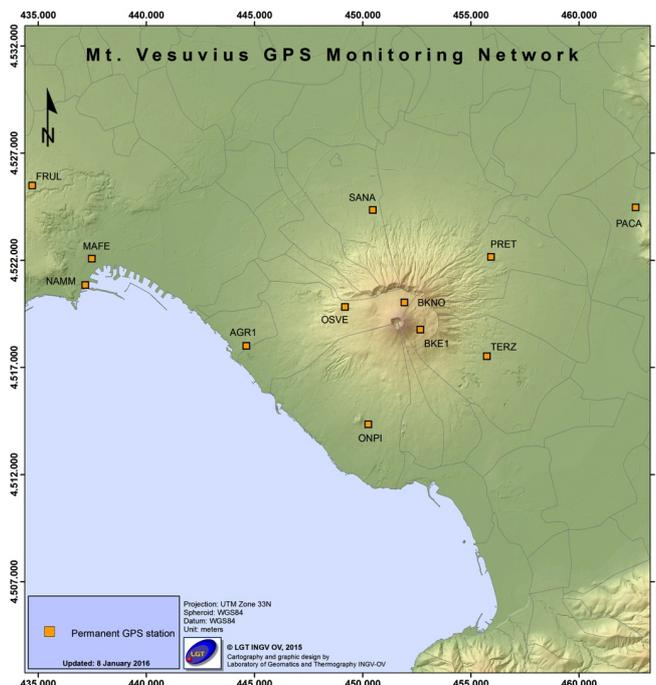


Figura 2.1 - Rete GPS Permanente del Vesuvio.

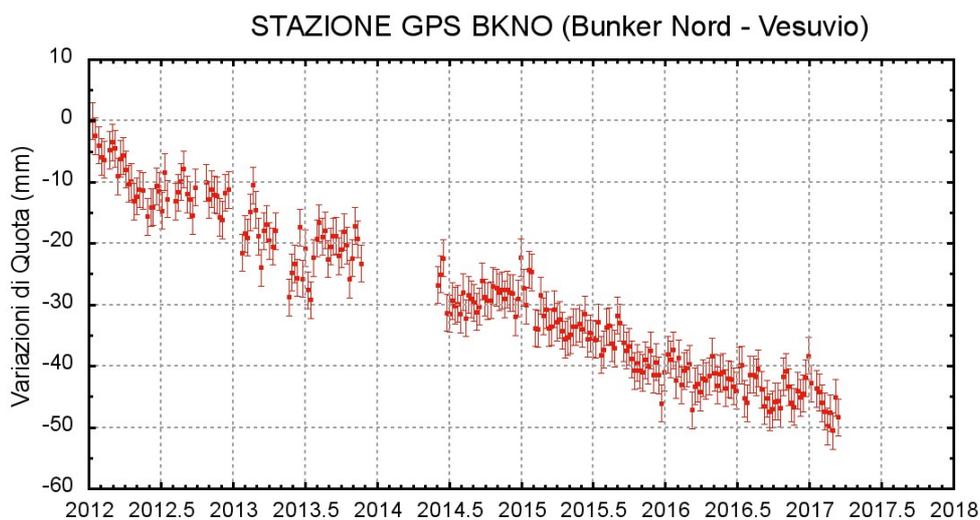


Figura 2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a marzo 2017.

Mareometria

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

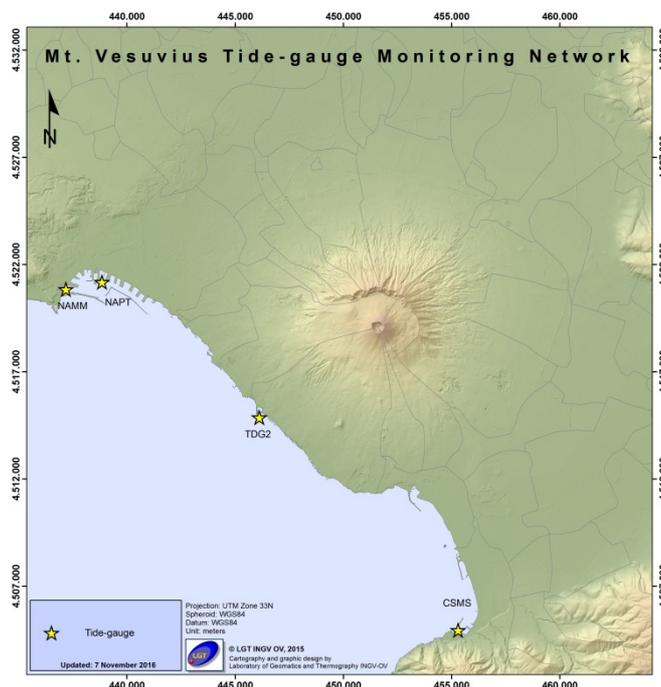


Figura 2.3 - Rete Mareografica del Vesuvio

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.

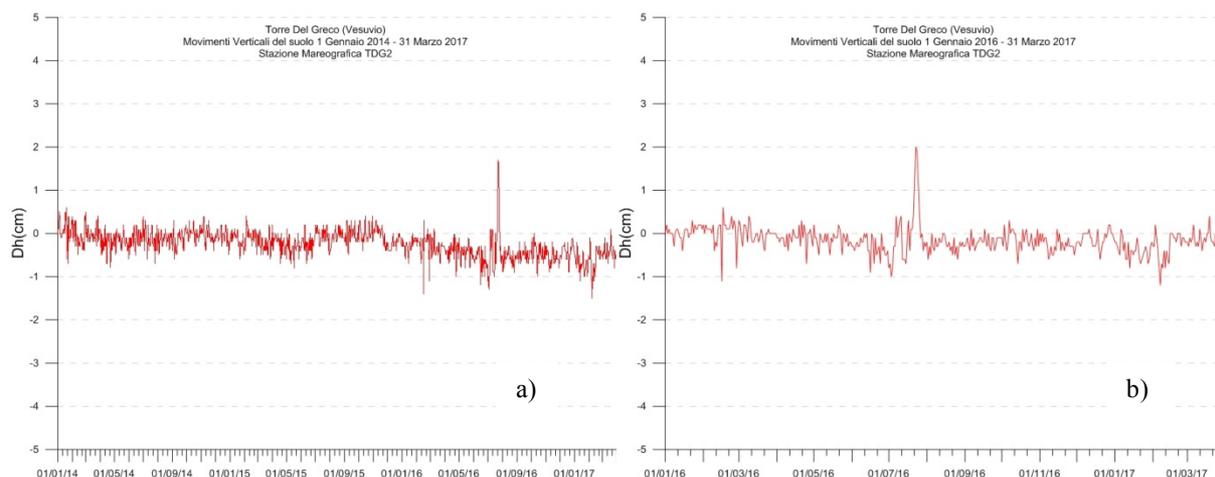


Figura 2.4 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - marzo 2017 (a) e gennaio 2016 - marzo 2017 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono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

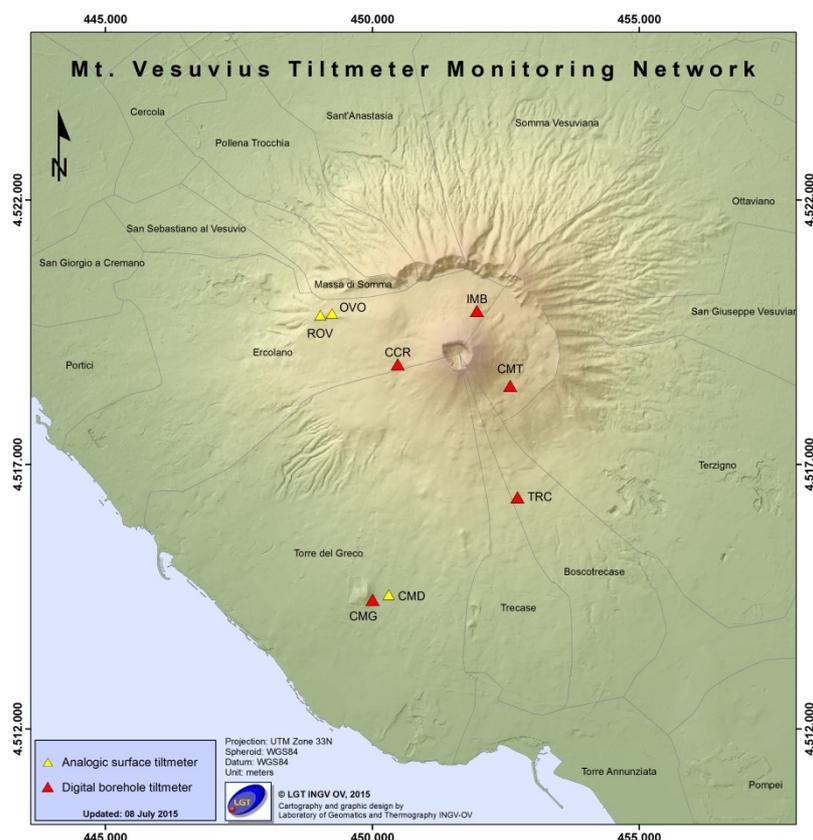


Figura 2.5 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. La stazione CCR è in corso di completamento.

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 serie temporali 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 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-marzo 2017 è riportato in Figura 2.6.

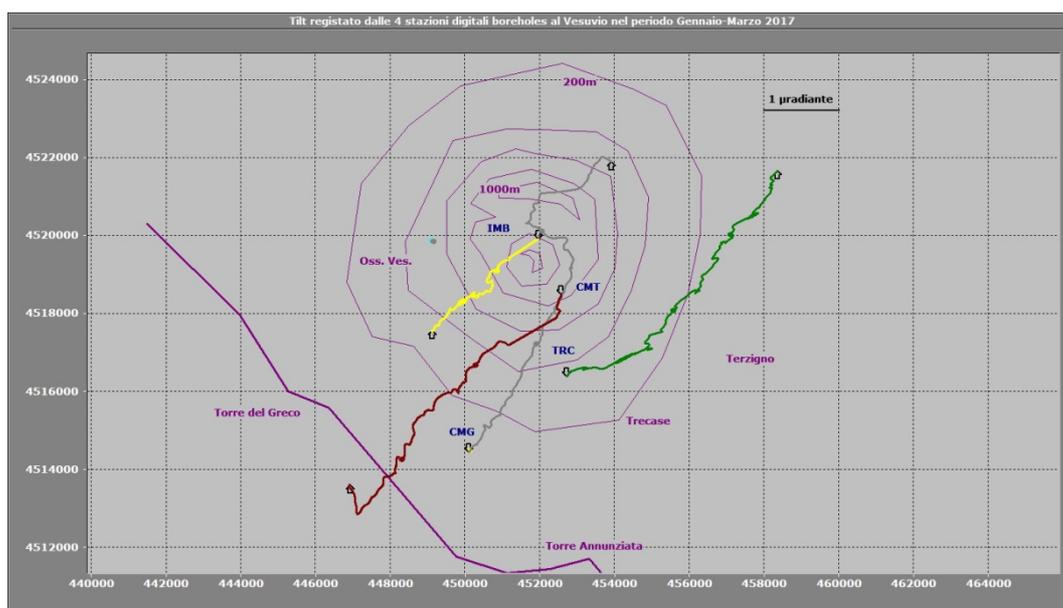


Figura 2.6 – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio nel periodo gennaio-marzo 2017. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni borehole con sensori ubicati tra 20 e 25 m di profondità.

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 nel primo trimestre 2017

Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	3.9 μ radianti a NE	- 0.02 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	1.8 μ radianti a SW	0.04 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	4.2 μ radianti a N-NE	- 0.02 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	3.7 μ radianti a SW	0.20 °C

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

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

Dall'analisi dei dati di tilt e di temperatura dell'ultimo mese possono essere fatte 3 osservazioni interessanti.

La prima è stata già comunicata nel Bollettino di Febbraio e riguarda la temperatura di CMT il cui valore è ulteriormente salito (0.2 °C in 3 mesi) e risulta decisamente alto se confrontato con quello delle altre stazioni borehole, la cui massima escursione termica annuale non eccede 0.2 °C. Si precisa che tale fenomeno si riscontra esclusivamente a livello locale presso questo sito ed è attualmente oggetto di studio per definirne le cause.

La seconda osservazione riguarda sempre la stazione CMT ed in particolare il suo pattern tiltmetrico, in cui è evidente una inversione nella direzione di tilting tra le ore 10:00 e le

11:00 del 20 marzo, quindi circa 11 ore prima dell'evento sismico avvenuto lo stesso giorno ($M_d = 1.5$), a sua volta seguito il 21 marzo da uno sciame sismico in asse craterico ($M_{dmax} = 1.7$) (Fig.2.7).

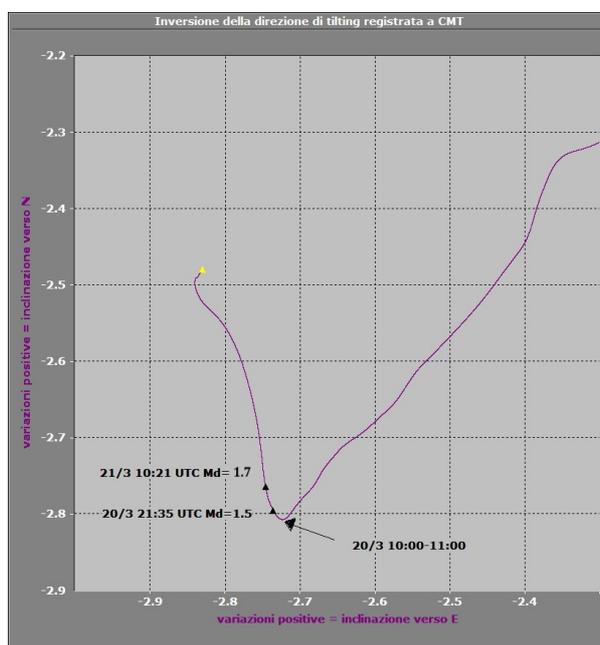


Figura 2.7 - Ingrandimento del plot tiltmetrico di CMT dal quale si evince la rotazione oraria del tilting osservato prima degli eventi sismici.

La terza ed ultima osservazione attiene alla lenta rotazione del tilting registrato dalla stazione CMG, da NNE a NW, visibile nel pattern tiltmetrico di Fig.2.6. Essa è avvenuta tra la fine di febbraio e la metà di marzo, procedendo prima in senso antiorario, subendo una stasi successivamente ed infine riprendendo in senso orario per raccordarsi alla direzione prevalente di inclinazione del suolo (NNE).

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.

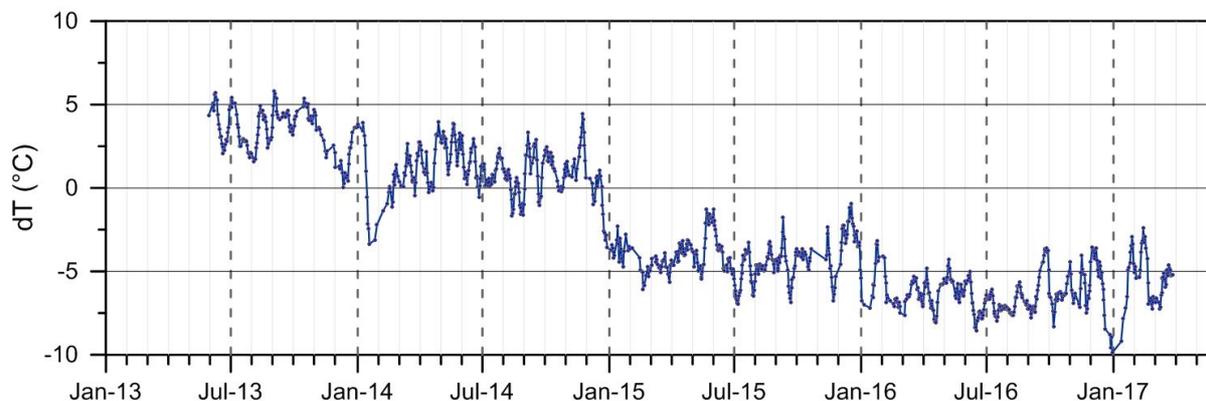


Figura 3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui (dT° ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

4 - Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di marzo 2017 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 una stazione multiparametrica (FLXOV6) installata in area bordo cratere (settore SW; Fig. 4.1);
- il campionamento della fumarola FC2 sita sul fondo del cratere, misure di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nelle area di bordo cratere, il campionamento delle fumarole B3 di bordo cratere (Fig. 4.1).

L'attività della fumarola di fondo cratere (FC2), dopo la diminuzione mostrata nei periodi precedenti, è ritornata ad un livello normale; i campioni di gas prelevati 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 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 (Md=3.6) sono stati misurati per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto He/CO₂ che della pCO₂ stimata sulla base di geindicatori gassosi. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione del rapporto H₂/CO₂ e l'incremento del rapporto CO₂/CH₄ (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 CH₄ 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 CO₂/CH₄ ed He/CO₂, 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 CO₂ (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 2014-2016 mostrano una diminuzione della frazione della componente magmatica (Fig. 4.4).

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (settore SW), misura il flusso di CO₂ dal suolo (ogni due ore), il gradiente di temperatura nel suolo, la temperatura della maggiore emissione fumarolica dell'area, la pressione atmosferica e la temperatura dell'aria (ogni 10 minuti).

I parametri misurati, nel periodo di interesse, non hanno mostrato variazioni significative (Fig. 4.5). Le lievi variazioni osservate sono, comunque, da mettersi in relazione a particolari eventi meteorologici (pioggia, vento forte, bassa pressione, temperatura atmosferica etc.). Sono quasi ultimate le attività di installazione della una nuova stazione

geochimica multiparametrica nell'area fumarolizzata di fondo cratere (Fig. 4.6). La stazione, una volta ultimati i test di funzionamento, misurerà il flusso di CO₂ dal suolo, il gradiente di temperatura verticale del suolo, la 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 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).

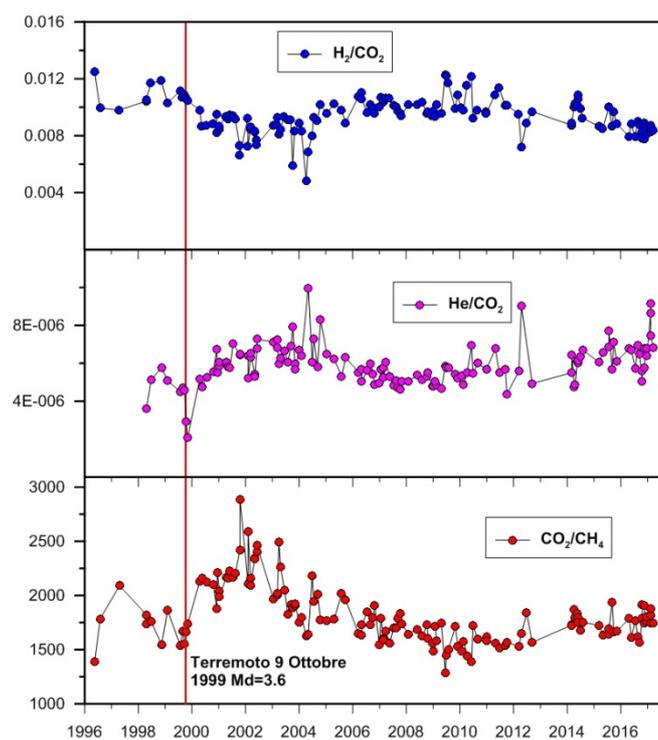


Figura 4.2 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2017.

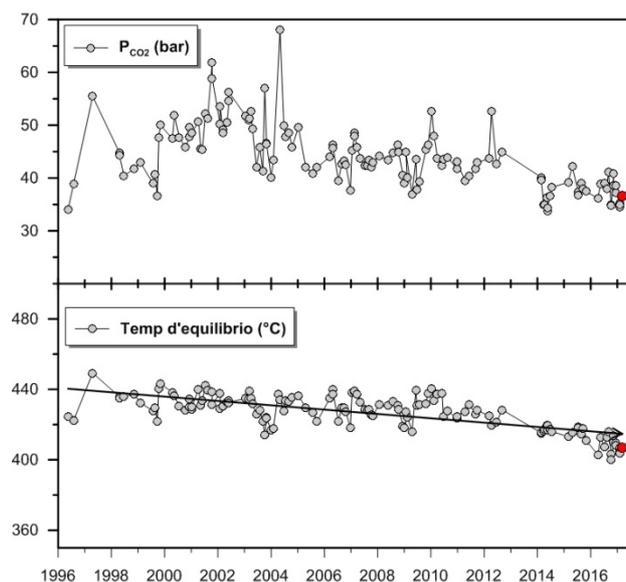


Figura 4.3 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO_2 stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. I campioni di marzo 2017 sono riportati con il simbolo rosso.

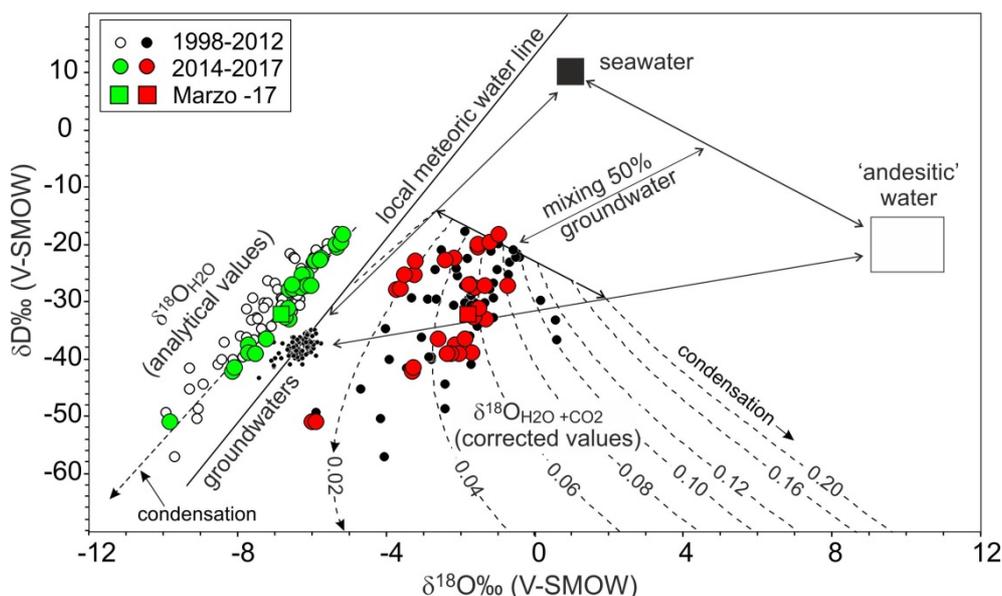


Figura 4.4 - Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratere del Vesuvio. I dati analitici (simboli verdi e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il CO₂ e il vapore e gli effetti 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 H₂O+CO₂ legate a processi di condensazione del vapore per un fluido originato da differenti miscele delle tre componenti, la cui frazione molare di CO₂ è indicata su ogni linea. La composizione dei campioni calcolata per il sistema H₂O+CO₂ (simboli rossi e neri) individua, nel diagramma, la possibile frazione di CO₂ del fluido originale. Alti valori di questa frazione indicherebbero, quindi, un maggiore contributo di fluidi magmatici nei gas fumarolici.

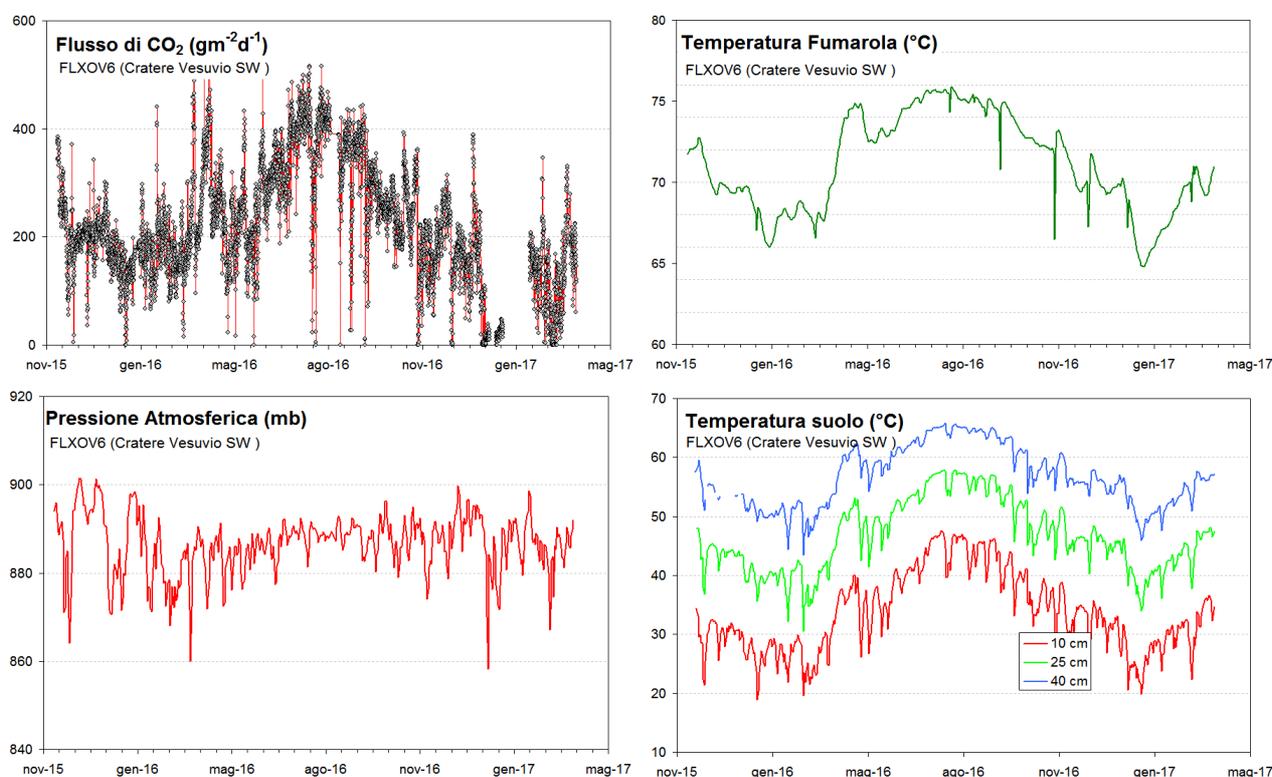


Figura 4.5 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settoe SW). I valori, eccetto il flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.



Figura 4.6 - Installazione della nuova stazione geochimica in area di fondo cratere. La particolare struttura è necessaria per difendere la stazione da possibili eventi franosi.

5 - QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI MARZO 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 cratero nè 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.