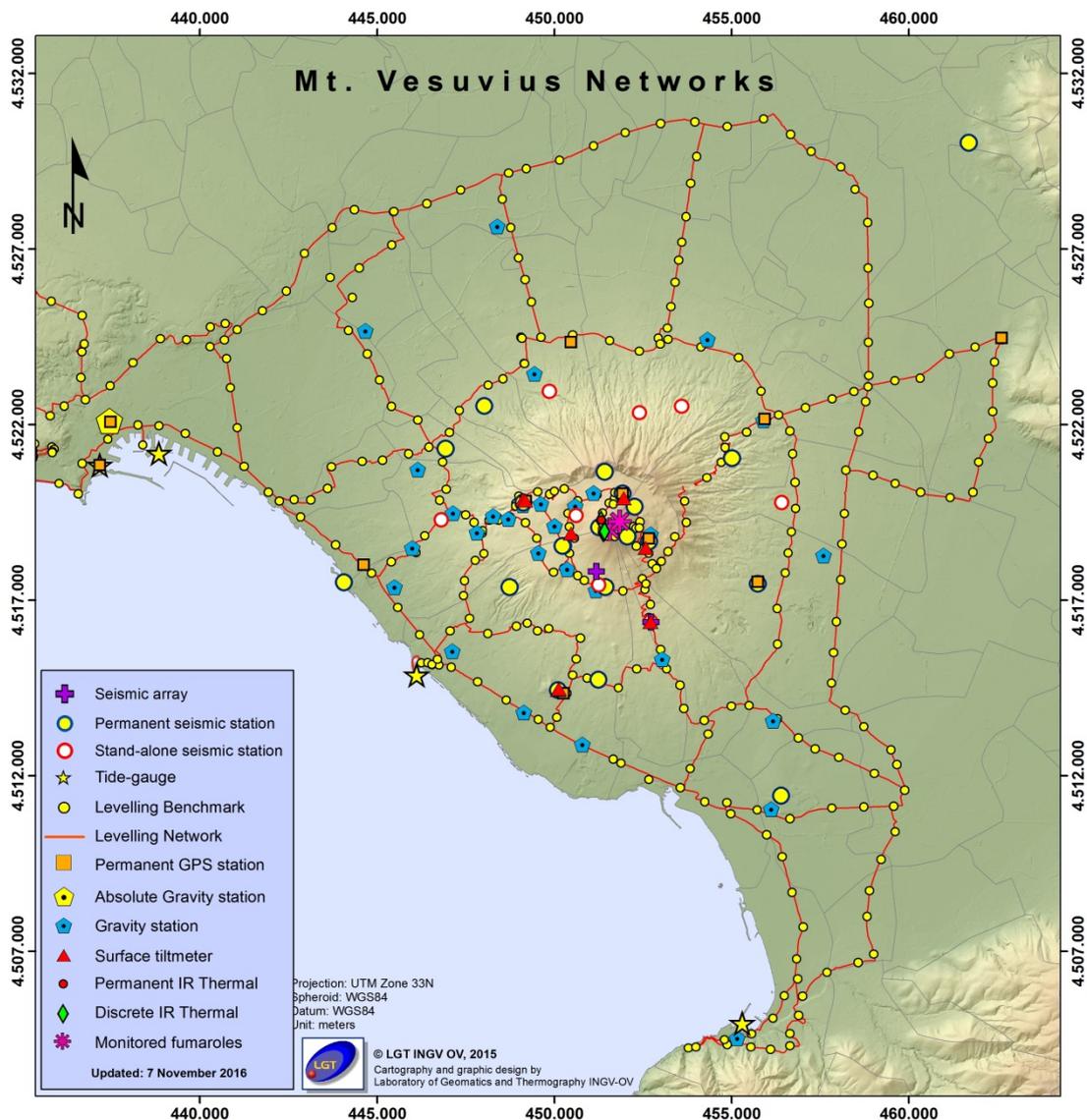




# Bollettino di Sorveglianza

## VESUVIO

### APRILE 2018

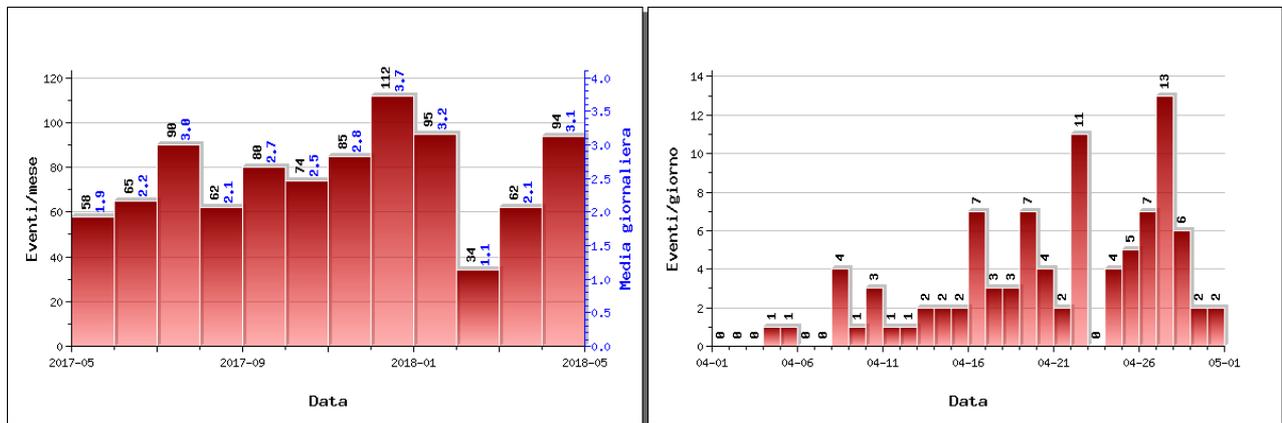


## 1. SISMOLOGIA

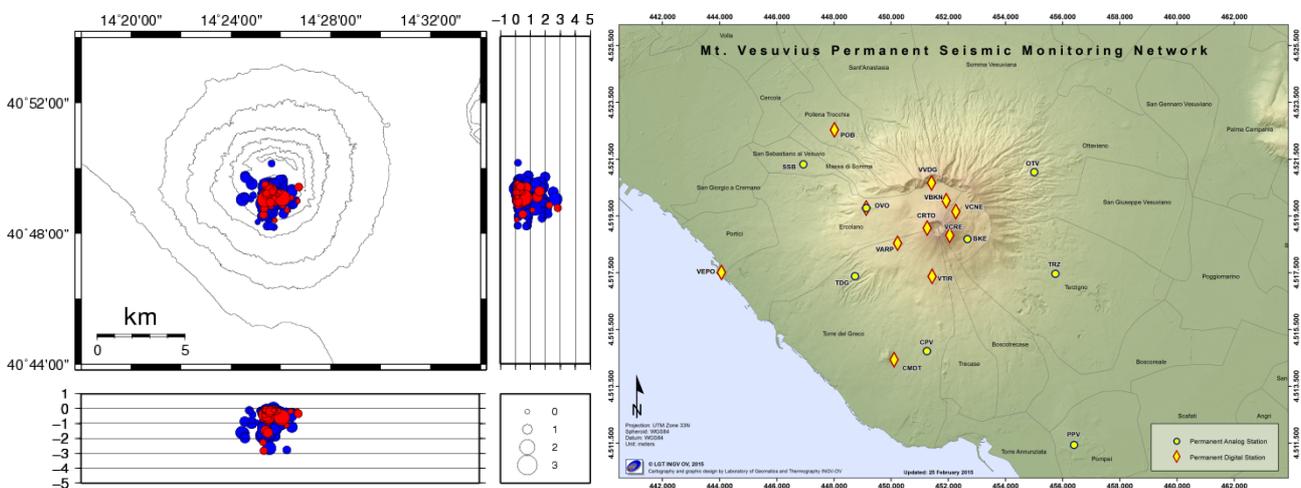
Nel corso del mese di aprile 2018 al Vesuvio sono stati registrati 94 terremoti (Fig. 1.1). La magnitudo massima è stata pari a  $M_d=2.1$  (evento del 26/04 alle ore 18:04 UTC).

E' stato possibile determinare l'ipocentro di 82 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.2.

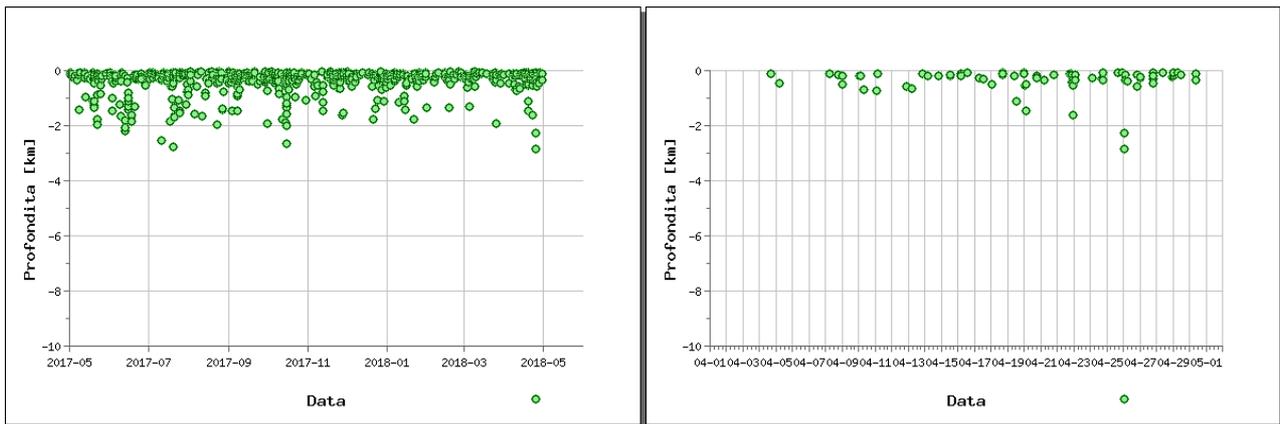
Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5).



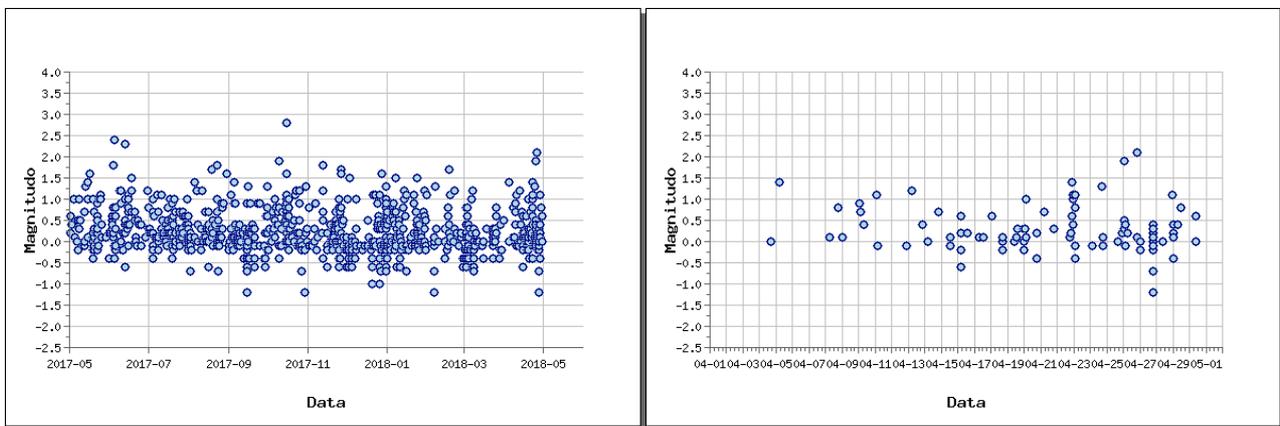
**Figura 1.1** - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 911), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 94).



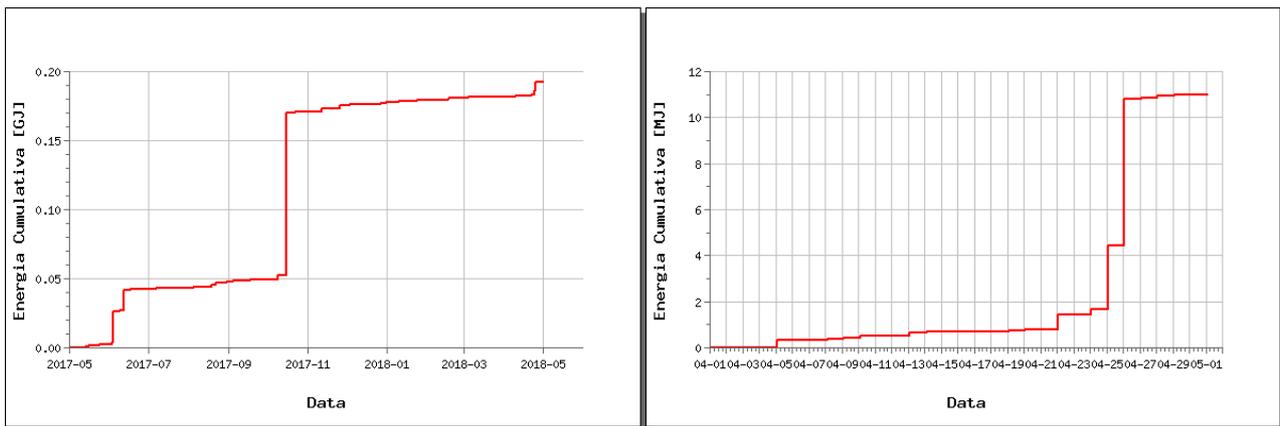
**Figura 1.2** - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa della Rete Sismica Permanente del Vesuvio.



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

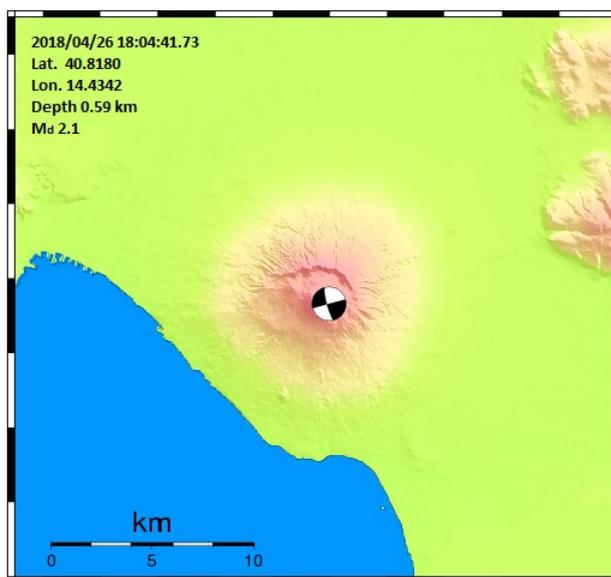


**Figura 1.4** - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).



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

L'analisi del meccanismo focale del terremoto più energetico del mese di aprile (Tab. 1.1) mostra una soluzione associabile ad un meccanismo con componente di movimento prevalentemente di tipo *strike-slip* (Fig. 1.6).



**Figura 1.6** - Localizzazione e meccanismo focale dell'evento del 26/04 alle 18:04 UTC ( $M_d=2.1$ ).

**Tabella 1.1** - Parametri ipocentrali dei terremoti di magnitudo  $\geq 2.0$  registrati al Vesuvio nel corso del mese di aprile.

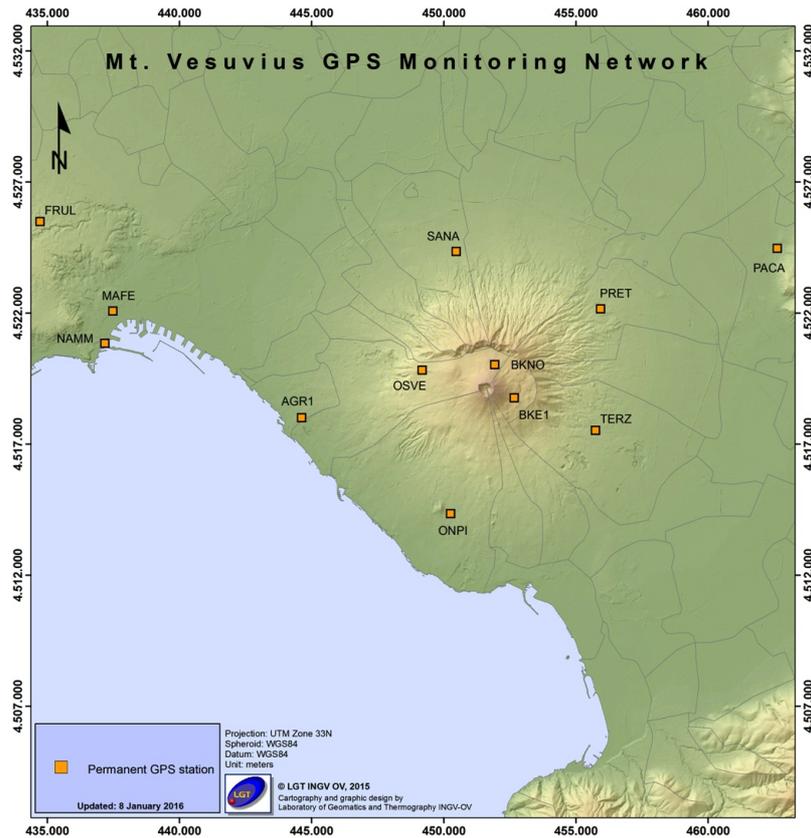
Data UTC	Md	Lat N	Long E	Prof. (km)
2018/04/26 18:04:41.73	2.1	40.8180	14.4342	0.59

## 2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

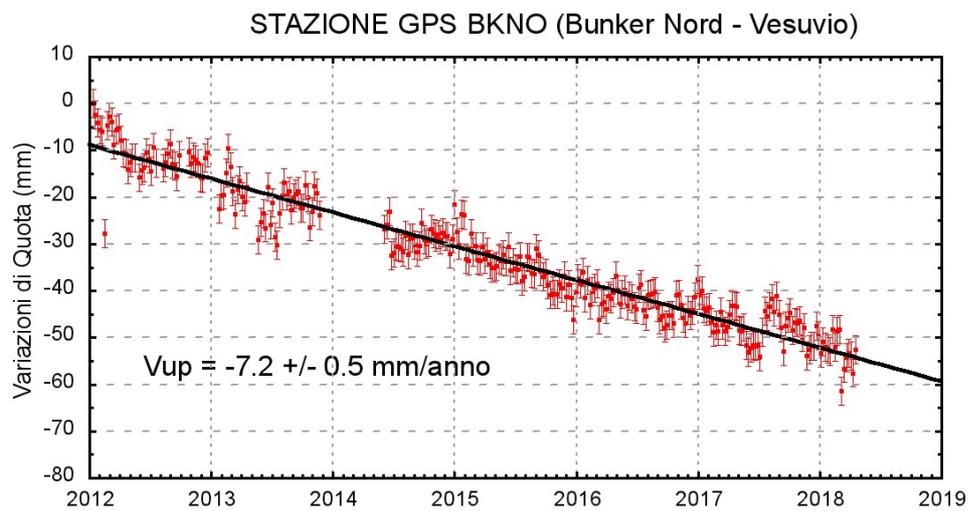
### GPS

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) da cui si evidenzia la lieve subsidenza verosimilmente dovuta a processi di compattazione e/o scivolamento di terreni poco coerenti.



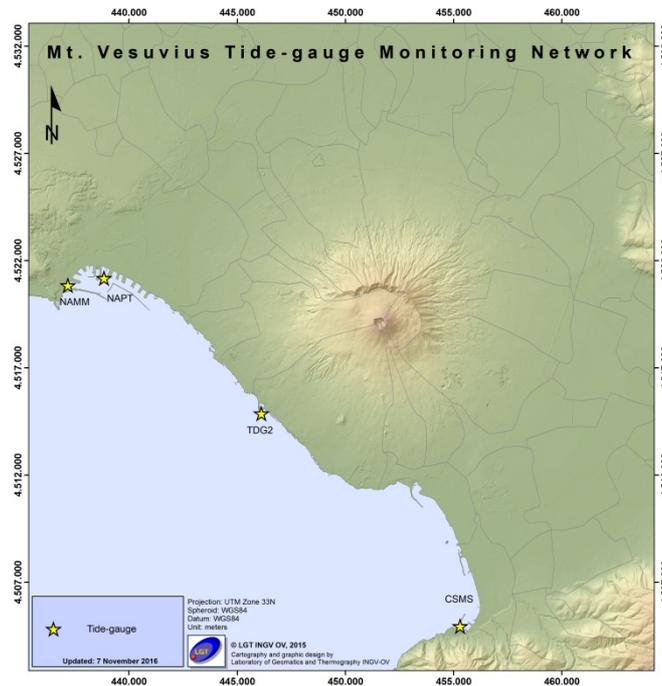
**Figura 2.1** - Rete GPS Permanente del Vesuvio.



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

## Mareometria

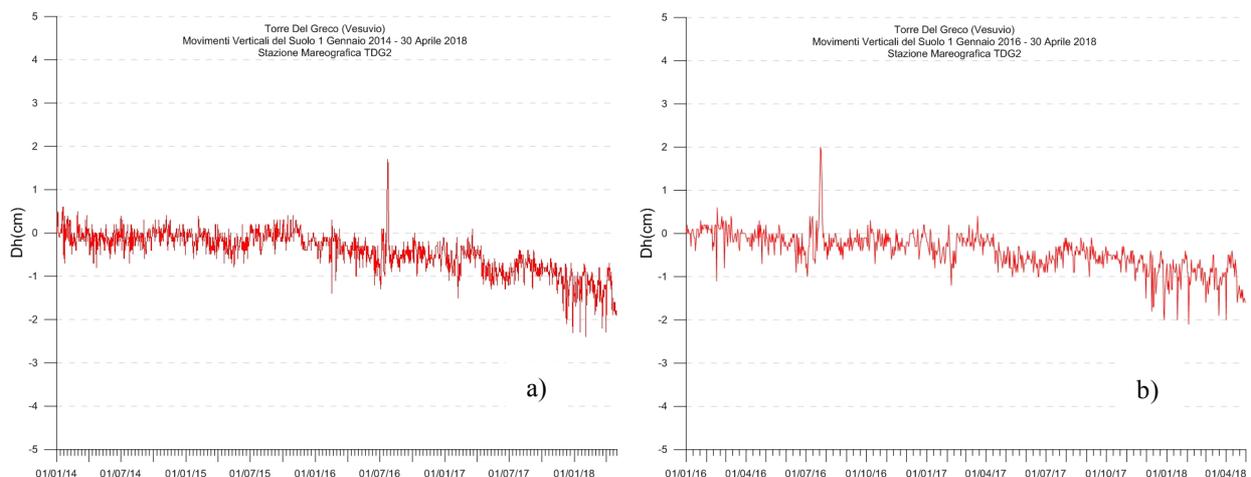
In Figura 2.3 è mostrata la Rete Mareografica operativa al Vesuvio.



**Figura 2.3** - Rete Mareografica del Vesuvio

Nell'area vesuviana non si osservano significativi movimenti verticali del suolo imputabili a fenomeni vulcanici come rilevato dalle analisi dei dati alle stazioni 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 NAMI.

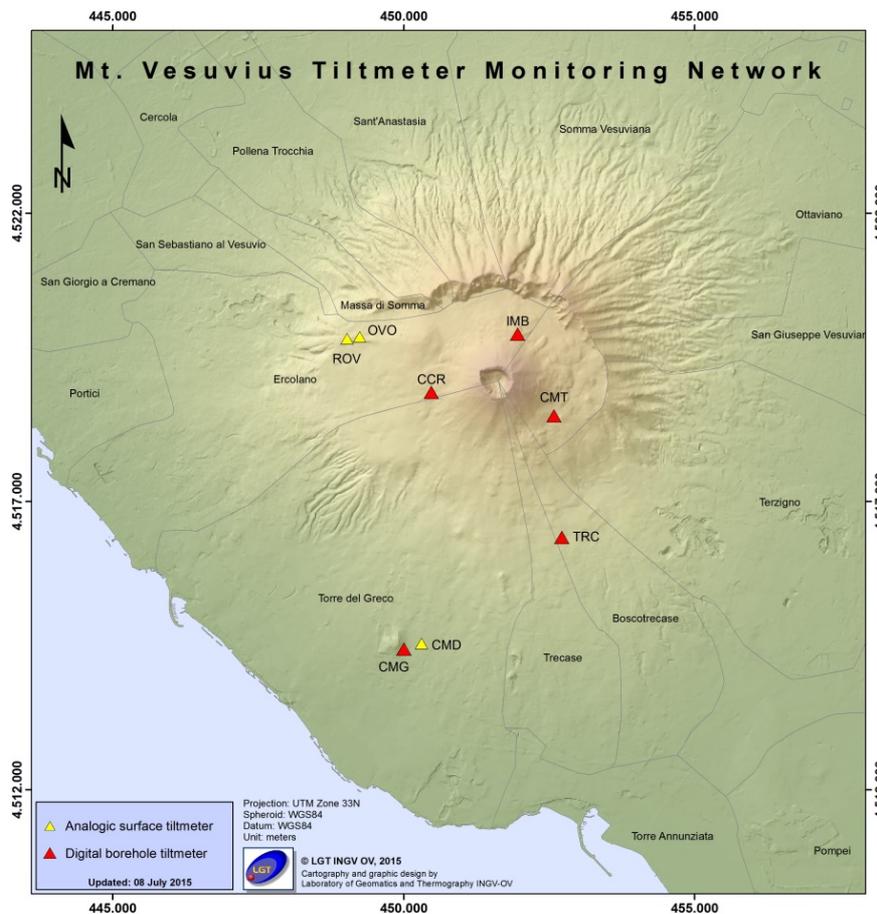


**Figura 2.4** - Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2014 - aprile 2018 (a) e gennaio 2016 - aprile 2018 (b), ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli Molo S.Vincenzo (NAMI).

I dati nella serie temporale dal 2014 ad oggi sono stati raccordati con i dati riferiti alla ex stazione NAPT (dismessa a febbraio 2016), potendoli considerare omogenei all'interno degli errori di misura.

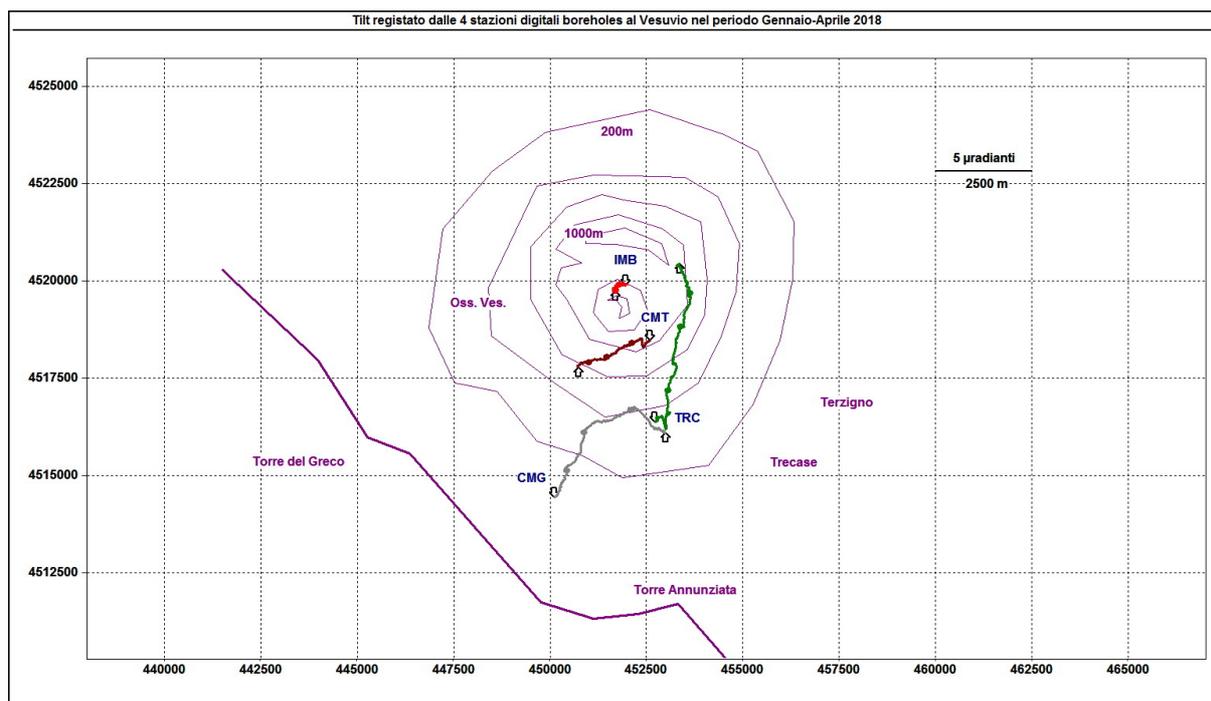
### Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni (Fig. 2.5) 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). L'installazione della quinta stazione tiltmetrica in pozzo, CCR, è in corso di completamento.



**Figura 2.5** – Rete Tiltmetrica del Vesuvio. L'installazione della stazione CCR è in corso di completamento.

La variazione tiltmetrica osservata al Vesuvio nel periodo gennaio-aprile 2018 avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni ed è riportata in Figura 2.6.



**Figura 2.6** – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio nel periodo gennaio-aprile 2018. Per chiarezza di rappresentazione grafica sono state selezionate solo le stazioni borehole con sensori ubicati tra 20 e 25 m di profondità. Il lato di ogni maglia del reticolo equivale ad 5  $\mu$ radianti o 2.5 km. I pallini sovrapposti sui vettori tilt indicano l’inizio di ogni mese.

La deformazione relativa ad ogni sito-stazione è rappresentata con segmenti orientati di colore diverso; l’origine di ogni vettore tilt è siglata con il nome del sito stesso ed evidenziata con una freccia puntata verso il basso mentre l’estremo libero è indicato con una freccia puntata verso l’alto. Il verso di ogni vettore indica settori di crosta in abbassamento ed è univocamente definito dal suo estremo libero.

Nella Tabella seguente sono riportati i valori di inclinazione del suolo, le rispettive direzioni del tilting e la variazione di temperatura registrata a fondo pozzo ( $\approx$  -25 m dal p.c.) acquisiti nel periodo gennaio-aprile 2018.

I segnali del tiltmetro di IMB sono aggiornati al 4 marzo in quanto in quanto le continue fulminazioni avvenute fino al 23 Marzo in corrispondenza del sito-stazione hanno provocato l’interruzione del flusso di dati.

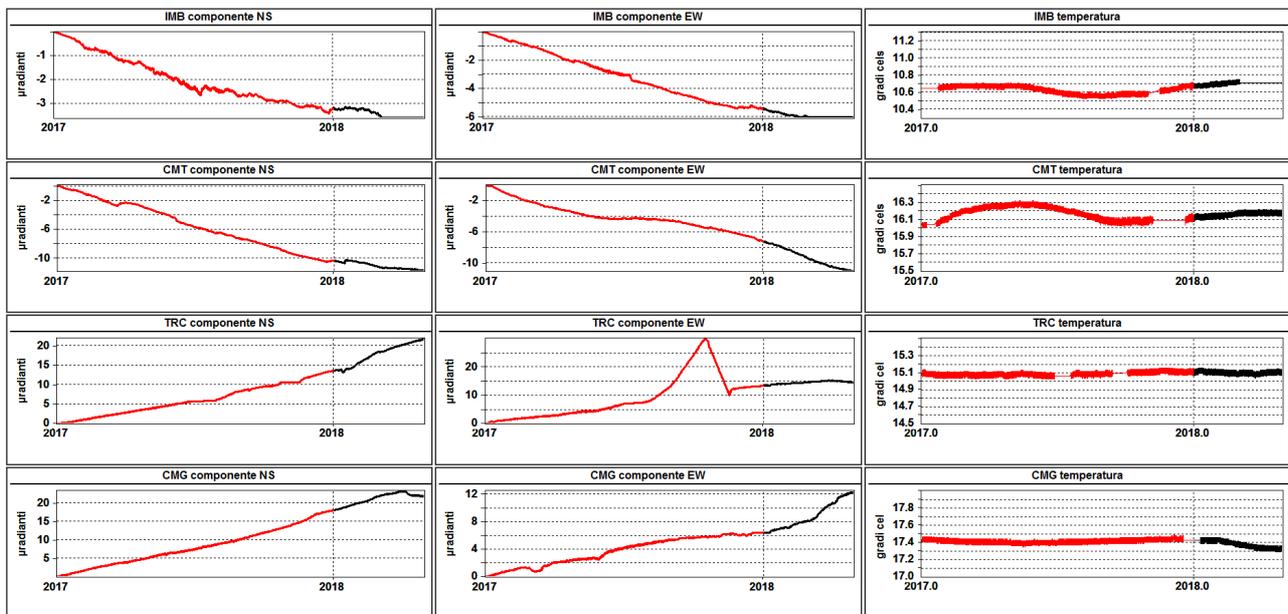
Sito	Inclinazione e direzione	Temperatura
Stazione TRC (372 m s.l.m.)	8.2 $\mu$ radianti a NNE	-0.01 °C
Stazione IMB (974 m s.l.m.)	0.6 $\mu$ radianti a SW	0.05 °C
Stazione CMG (117 m s.l.m.)	6.7 $\mu$ radianti a NE	-0.11 °C
Stazione CMT (842 m s.l.m.)	3.9 $\mu$ radianti a WSW	0.05 °C

In Figura 2.7 sono riassunti gli andamenti temporali delle componenti tiltmetriche (filtrate dalle periodicità giornaliere) e termica registrate da ognuna delle 4 stazioni borehole.

Per evidenziare la continuità dei segnali, il periodo di tempo rappresentato parte dal 1 gennaio 2017; poiché, inoltre, i segnali acquisiti rappresentano la variazione di tilt, sono stati tutti azzerati a partire da tale data.

Le componenti NS delle stazioni più in quota (IMB e CMT) mostrano un trend di inclinazione verso S, mentre il trend di quelle EW è in direzione W; una situazione opposta si ha invece alle stazioni situate a quote più basse (TRC e CMG) dove le componenti NS mostrano inclinazione in direzione N seppure con una evidente inversione riscontrata a CMG dal 5 marzo.

Inoltre, mentre la componente EW di TRC è quasi ferma quella di CMG, stazione situata alla quota più bassa, subisce un netto incremento ad E dal 12 Marzo.



**Figura 2.7** – Serie temporali dei segnali registrati a partire da gennaio 2017 dalle 4 stazioni “borehole” della rete vesuviana, con sensori ubicati a 25 m di profondità, ordinate dal basso verso l’alto secondo la latitudine. Le prime 2 colonne riportano le componenti NS ed EW in  $\mu$ radianti i cui valori di tilt crescenti nel tempo indicano rispettivamente la variazione di inclinazione del suolo a N e ad E, mentre la terza colonna riporta la temperatura in  $^{\circ}$ C registrata da ogni sensore.

In rosso sono riportati i segnali relativi al 2017 mentre in nero sono rappresentati quelli registrati nel 2018.

Nel periodo gennaio-aprile 2018, come già affermato in precedenza, l’inclinazione dell’edificio vulcanico avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni e più precisamente in direzione NNE nella parte meridionale del Vesuvio e quindi a quote più basse (CMG e TRC), mentre il tilting prevalente, riguardante la porzione settentrionale del vulcano ed a quote maggiori (IMB e CMT), si concentra invece in direzione WSW÷SW.

Si nota inoltre come le temperature a fondo pozzo tendano ad aumentare alle quote più alte (IMB e CMT) rispetto alle altre 2 stazioni (CMG e TRC) dove, al contrario, le temperature sono in diminuzione (maggiormente CMG).

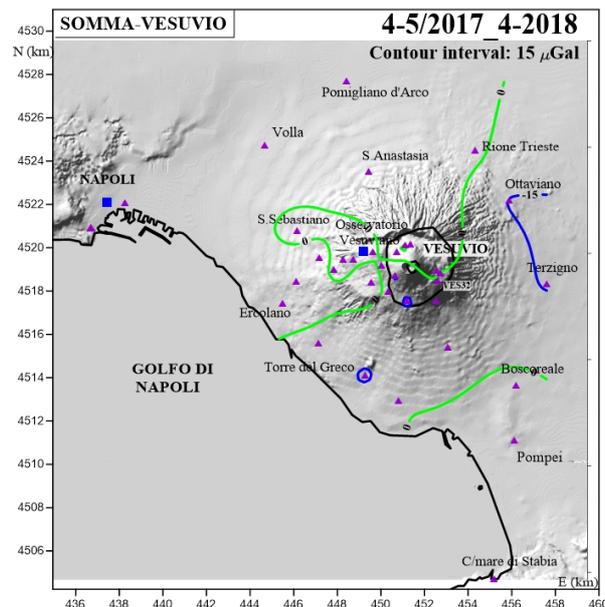
## Gravimetria

Dal 4 al 24 aprile 2018 è stata effettuata una campagna di misure gravimetriche relative nell'area del Vesuvio. La Rete Gravimetrica vesuviana è costituita da 33 punti di misura (simboli in Figura 2.8) collegati a tre stazioni ubicate nella città di Napoli, una delle quali (Napoli Università – quadrato pieno blu) costituisce il riferimento.

La situazione di dissesto trovata nella parte alta della struttura vulcanica, in particolare nella zona orientale della Riserva Forestale alla base del Gran Cono, conseguente agli incendi dell'estate 2017 e alle successive piogge invernali, ha reso difficoltosi i collegamenti tra le stazioni gravimetriche ivi posizionate, condizionando l'errore finale sui dati e rendendo impossibile il riposizionamento di uno dei vertici (VES32) andato distrutto.

I dati rilevati sono stati sottoposti a compensazione, dalla quale è risultato un errore medio di  $\pm 13$   $\mu\text{Gal}$ , e successivamente sono stati confrontati con quelli della precedente campagna (aprile-maggio 2017) il cui errore medio è di  $\pm 9$   $\mu\text{Gal}$ .

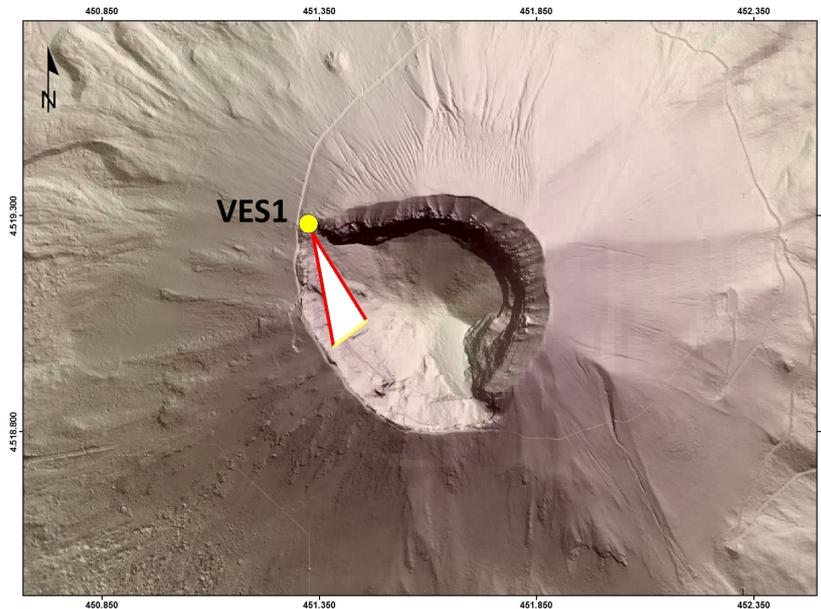
Nell'intervallo di tempo considerato (4-5/2017- 4/2018) e sull'intera area vesuviana non è stata rilevata alcuna variazione di gravità statisticamente significativa, come evidenziato nella Figura 2.8 che mostra il campo variometrico rappresentato con isolinee a equidistanza di 15  $\mu\text{Gal}$ .



**Figura 2.8** - Campo delle variazioni di gravità, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, nell'area vesuviana nel periodo aprile/maggio 2017 - aprile 2018. Le isolinee sono tracciate con equidistanza di 15  $\mu\text{Gal}$  ed i colori blu e verde indicano rispettivamente variazioni negative e la linea di zero. Nella figura i triangoli pieni viola rappresentano le stazioni gravimetriche relative, i quadrati pieni blu le stazioni assolute.

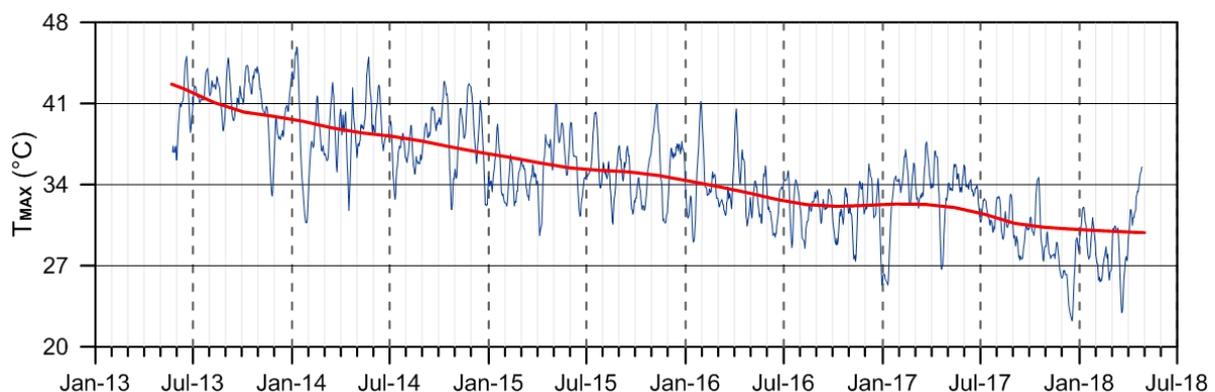
### 3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

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



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

La figura 3.2 mostra l'elaborazione della serie temporale dei valori di temperatura massima delle immagini IR processati in tempo reale con il nuovo algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal-Trend Decomposition) implementato nel software A.S.I.R.A. (Automated System for IR Analysis). Tale procedura, largamente utilizzata nell'elaborazione statistica di serie temporali, ha una elevata affidabilità ed il vantaggio di restituire il trend in termini di valori di temperatura osservati anziché di valori residui.



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

Sebbene l'analisi della serie temporale in Figura 3.2 evidenzia la presenza, nel lungo termine, di un trend in decremento del campo di temperatura superficiale (linea rossa), nel mese di aprile 2018 si osserva un sensibile incremento della temperatura massima rilevata nell'area d'analisi.

#### 4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di aprile 2018 ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO<sub>2</sub> 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);
- l'esecuzione di misure di flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati in area di Bordo Cratere;
- il campionamento delle fumarole di bordo cratere (Figura 4.1).

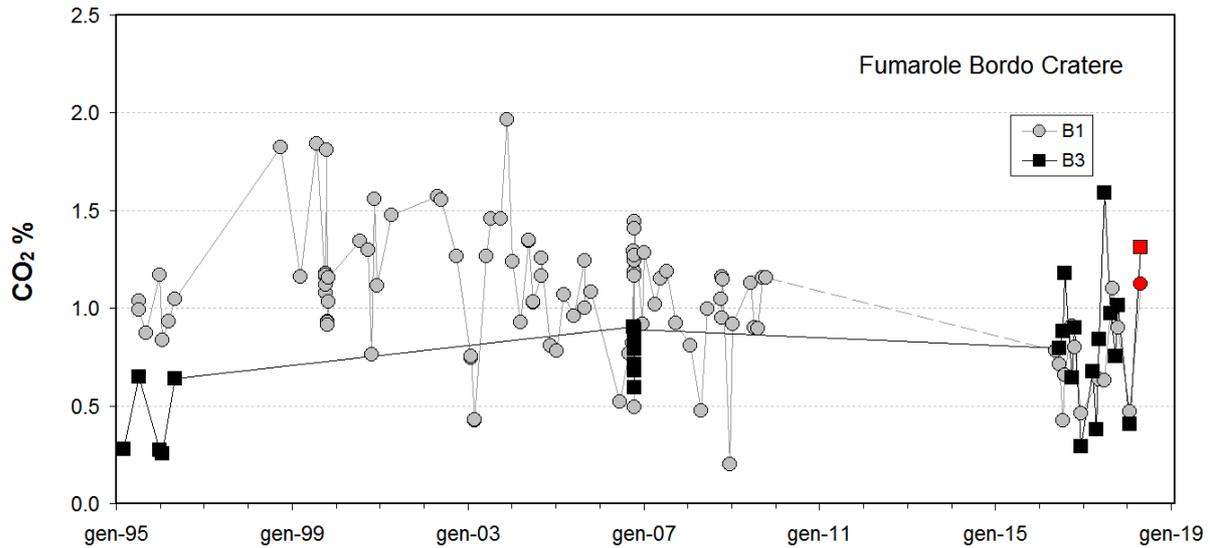
La composizione delle fumarole di bordo cratere (fumarole B1 e B3), costituita essenzialmente da una miscela di aria e del componente idrotermale profondo (Caliro et al., 2011), nei campioni di aprile 2018 non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 4.2).

La stazione multiparametrica, installata in area bordo cratere (settore SW), misura: flusso di CO<sub>2</sub> 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. 4.3). Le lievi variazioni osservate sono, comunque, da mettersi in relazione a variazioni stagionali ed a particolari eventi meteorologici (pioggia, vento forte, bassa pressione, temperatura atmosferica etc.).

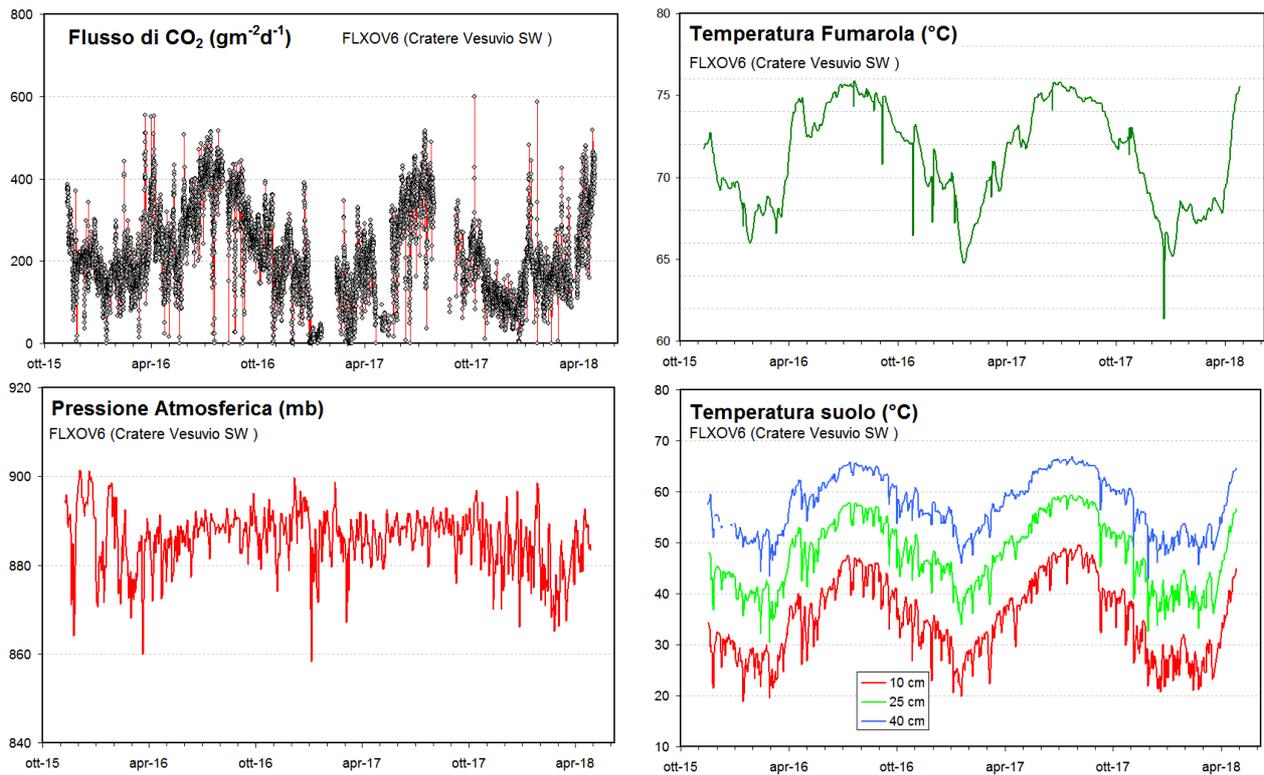
La stazione di fondo cratere (FLXOV7, Fig. 4.1) è stata interessata da una frana che ha seriamente danneggiato il sistema di alimentazione combinato eolico-solare (Fig. 4.4). Sebbene questa area sia una delle meno interessate da fenomeni di frana del fondo cratere, andrà valutato se reinstallare il nuovo sistema di alimentazione nello stesso sito o in uno diverso che offra, per quanto possibile, una maggiore protezione.



**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<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** - Cronogramma della concentrazione di CO<sub>2</sub> delle fumarole di bordo cratere B1 (area anemometro) e B3 (settore SW). I campioni di aprile 2018 sono riportati con il simbolo rosso.



**Figura 4.3** - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, eccetto il flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.



**Figura 4.4** - Eventi franosi hanno danneggiato il sistema di alimentazione combinato eolico-solare della stazione di fondo cratere FLXOV7.

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

---

- 1) **SISMOLOGIA:** Al Vesuvio permane una lieve sismicità di fondo con 94 terremoti registrati nel mese di aprile 2018 ( $M_{dmax}=2.1$ ).
- 2) **DEFORMAZIONI:** Dai dati GPS, Marografici e Tiltmetrici non si osservano deformazioni riconducibili a sorgenti vulcaniche. Analogamente le misure Gravimetriche effettuate nel mese di aprile non rilevano alcuna variazione di gravità statisticamente significativa.
- 3) **TERMOGRAFIA:** I dati della telecamera termica evidenziano nel mese di aprile 2018, nell'ambito di un generale trend in decremento del campo di temperatura, un sensibile incremento della temperatura massima rilevata nell'area d'analisi.
- 4) **GEOCHIMICA:** Le analisi geochimiche non evidenziano variazioni significative alle fumarole presenti sul bordo 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.
- 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.*