



INGV
terremoti
vulcani
ambiente

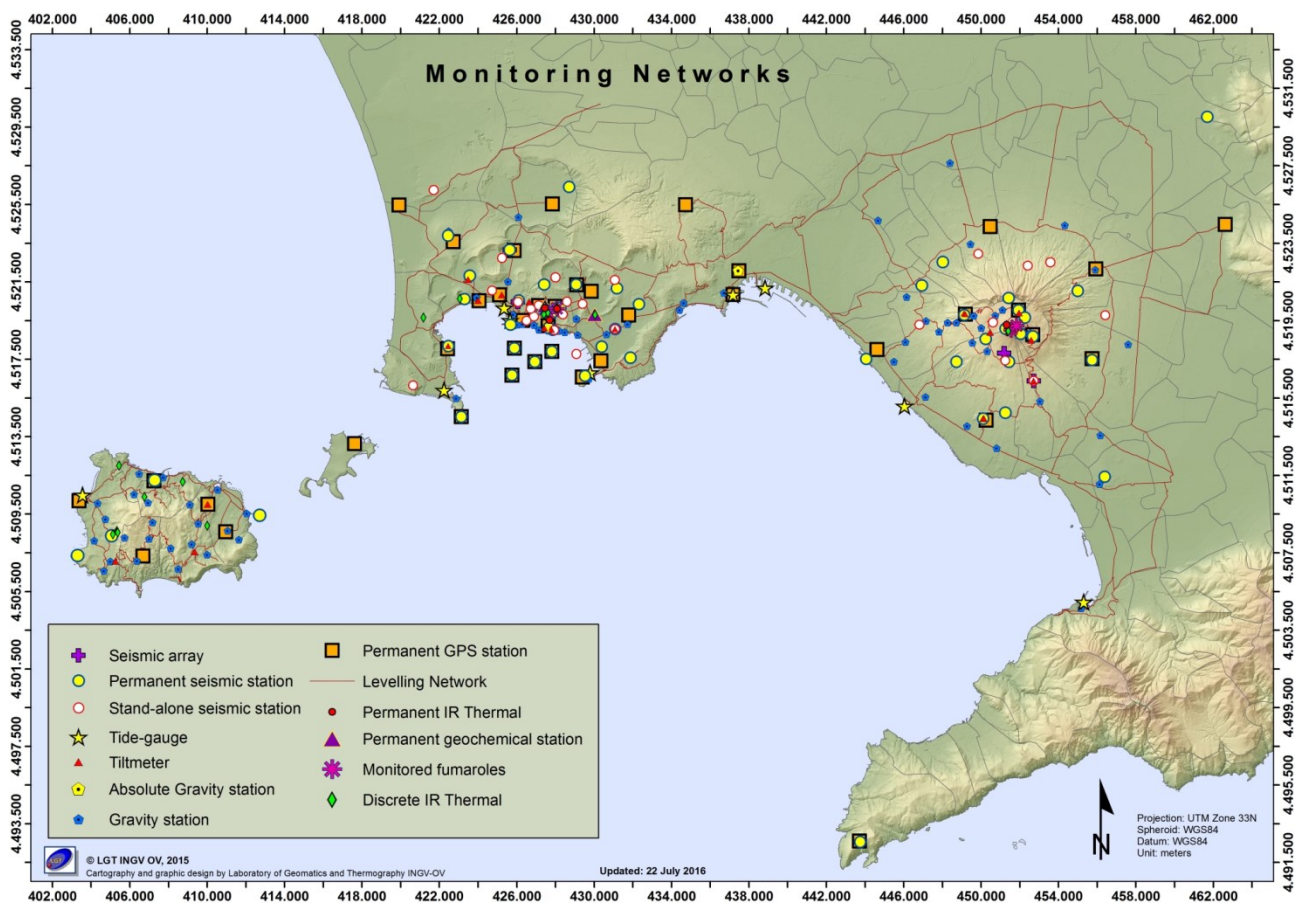
ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Bollettino di Sorveglianza

Vulcani Campani

OTTOBRE 2016

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

1 - 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.

1.1 - Sismicità

Nel corso del mese di ottobre al Vesuvio sono stati registrati 84 terremoti (Fig. 1.1.1). La magnitudo massima è stata pari a 1.4 (evento del 10/10 alle 20:25). E' stato possibile determinare l'ipocentro di 71 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 1.1.2.

28 eventi sono stati registrati all'interno di un piccolo sciami sismico iniziato alle 15:25:17 del 04/10 e durato circa 2 h con $-1.0 < M_d < 1.3$.

Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5).

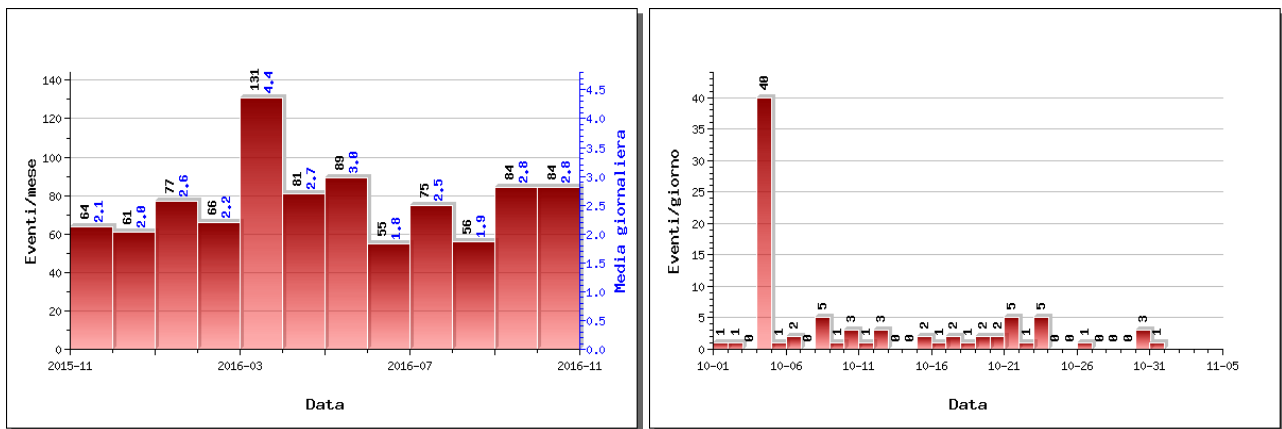


Figura 1.1.1 - A sinistra il numero di eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 923), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 84).

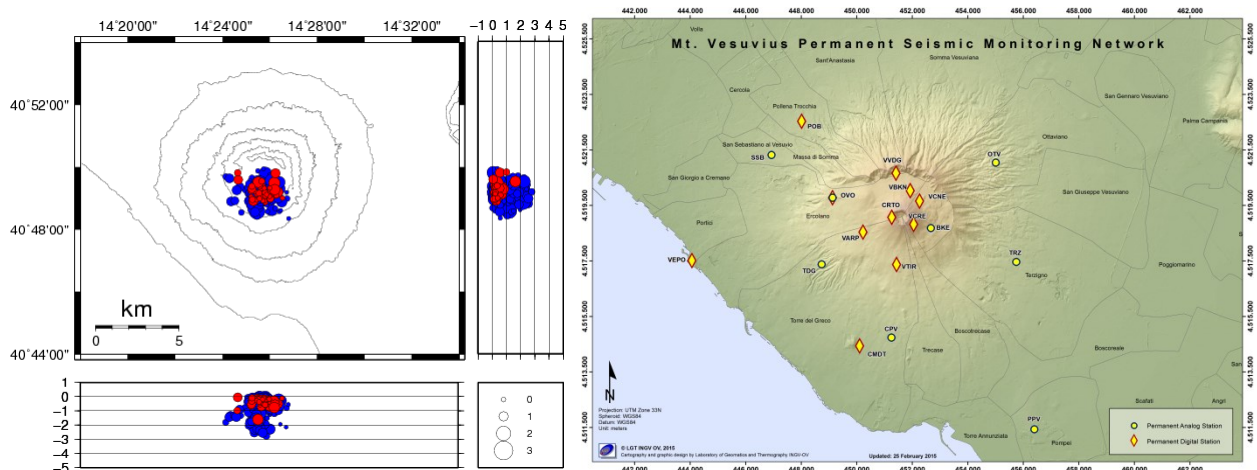


Figura 1.1.2 - Localizzazioni ipocentrali al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la Rete Sismica Permanente del Vesuvio.

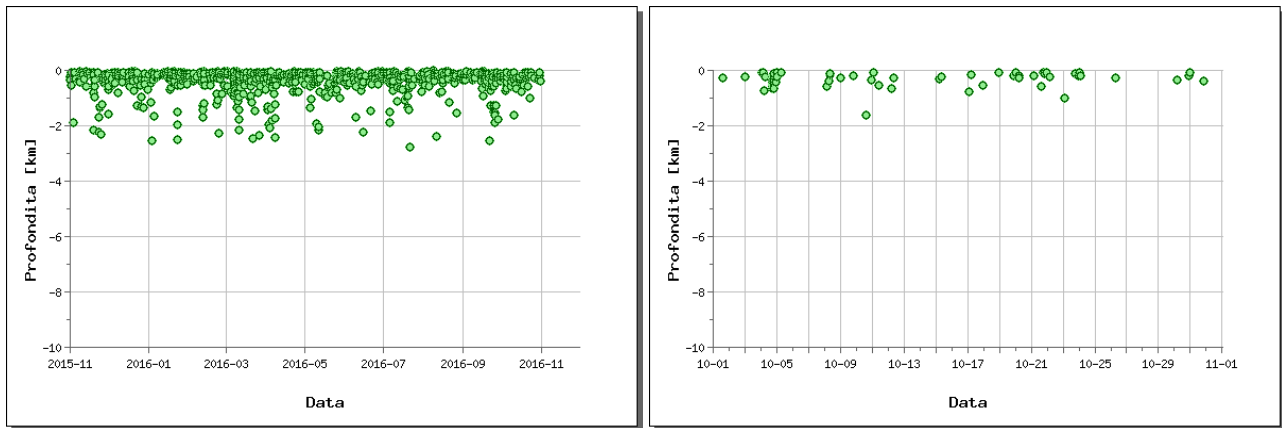


Figura 1.1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

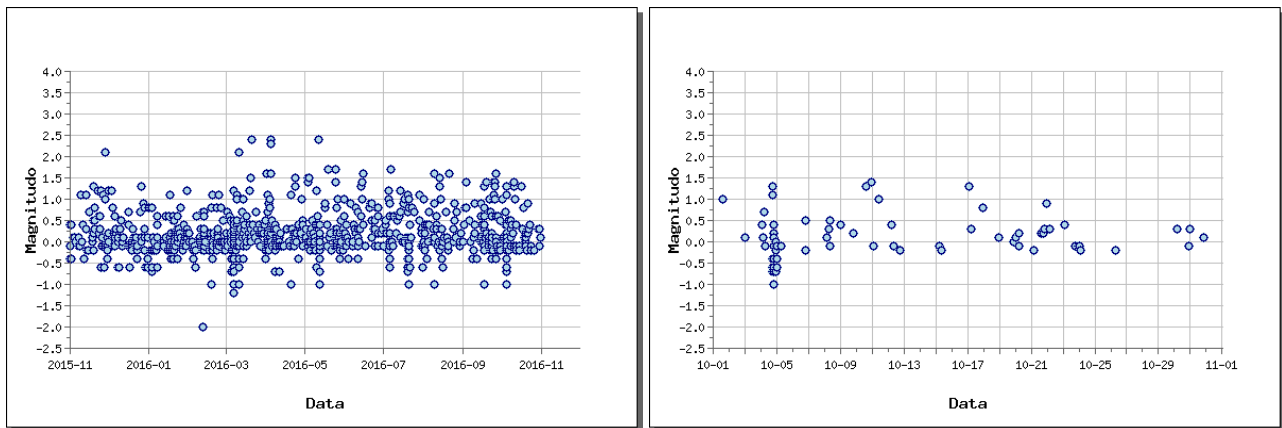


Figura 1.1.4 - Magnitudo degli eventi registrati al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

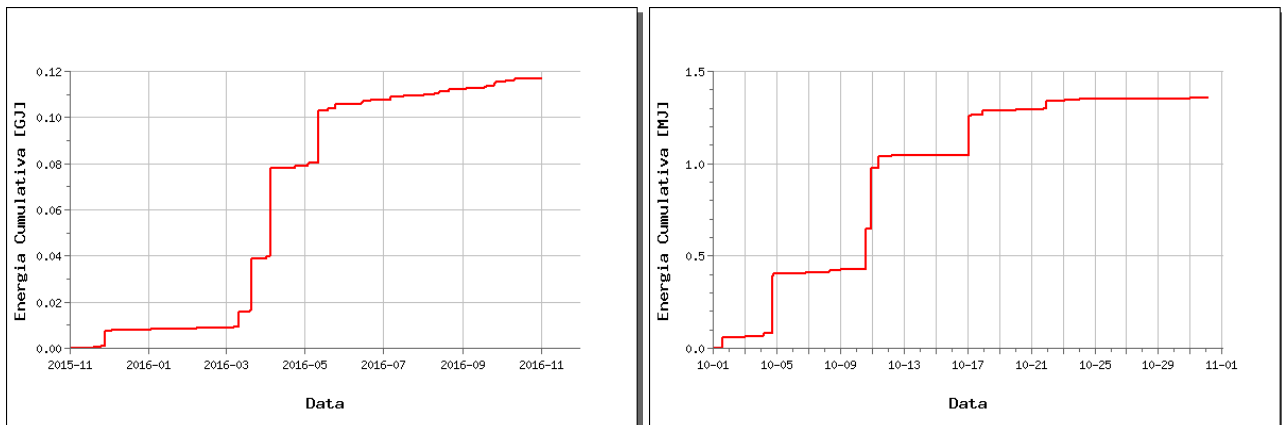


Figura 1.1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica al Vesuvio nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

1.2 - Deformazioni del Suolo

GPS

In Fig. 1.2.1 è mostrata la Rete GPS Permanente operativa al Vesuvio.

In Fig. 1.2.2 viene riportata la serie temporale delle variazioni in quota della stazione GPS di BKNO (Bunker Nord). Non si evidenziano deformazioni del suolo imputabili a fenomeni vulcanici.

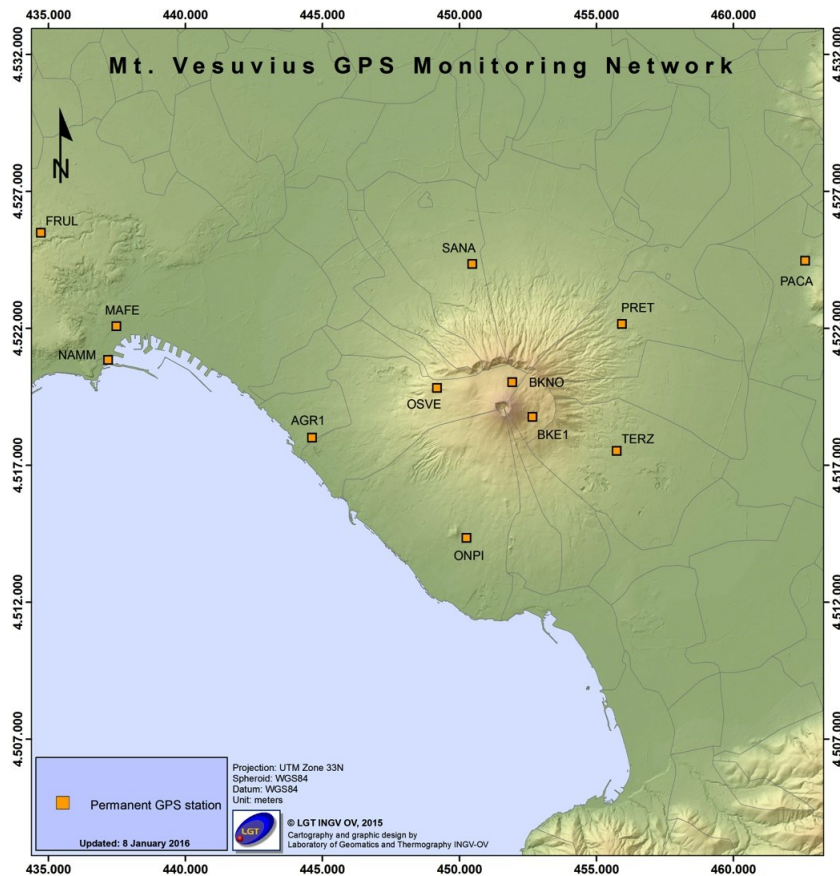


Figura 1.2.1 - Rete GPS Permanente del Vesuvio.

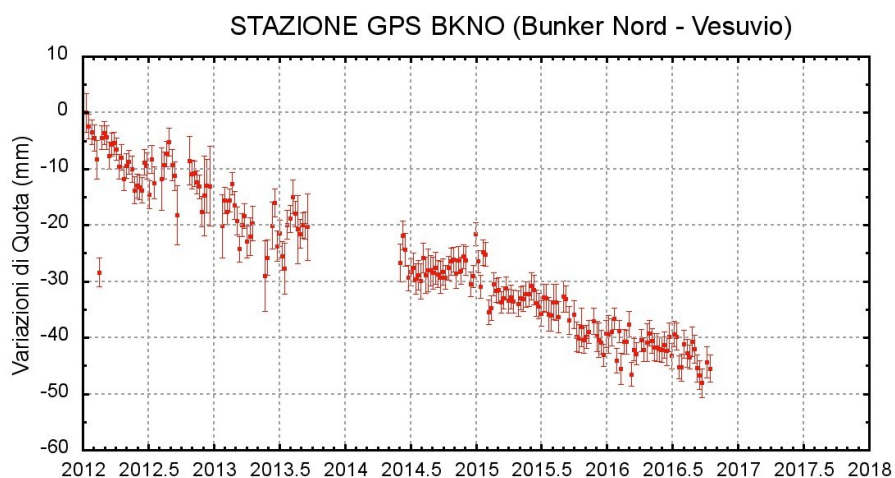


Figura 1.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione BKNO (Vesuvio) da gennaio 2012 a ottobre 2016.

Mareometria

Le Rete Mareografica del Vesuvio consiste in 2 stazioni: TDG2 e CSMS (Fig. 1.2.3).

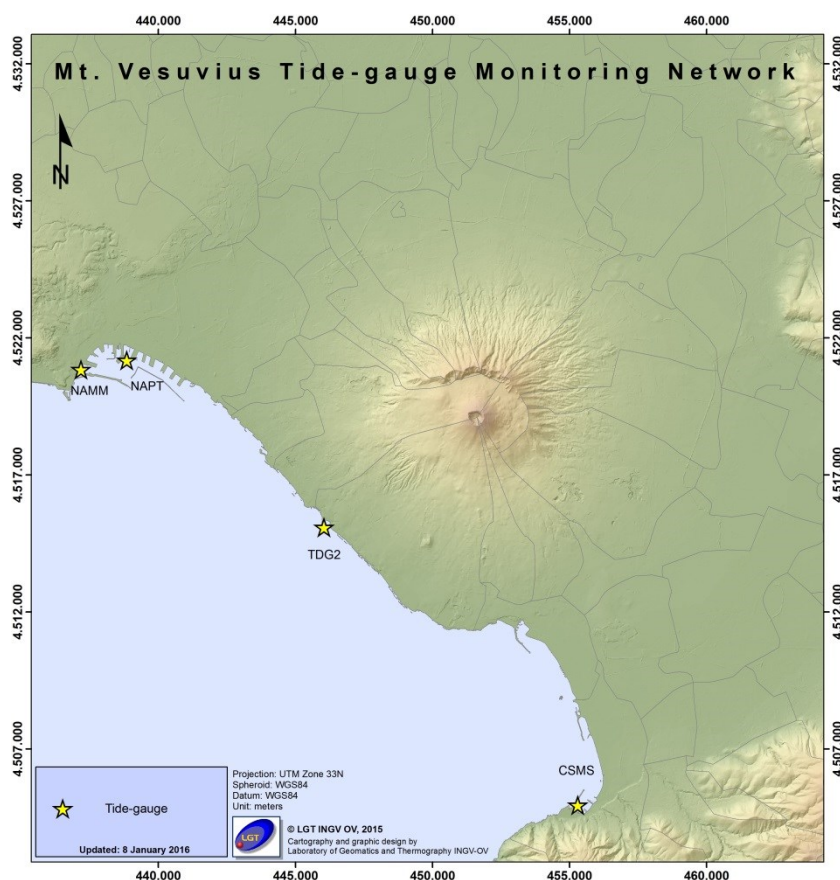


Figura 1.2.3 - Rete Mareografica del Vesuvio.

Nell'area vesuviana non si osservano significativi movimenti verticali del suolo come rilevato dalle analisi dei dati alle stazioni di Torre del Greco (TDG2) (Fig. 1.2.4). Le analisi evidenziano delle lievi oscillazioni che rimangono confinate entro la soglia di significatività delle misure mareometriche.

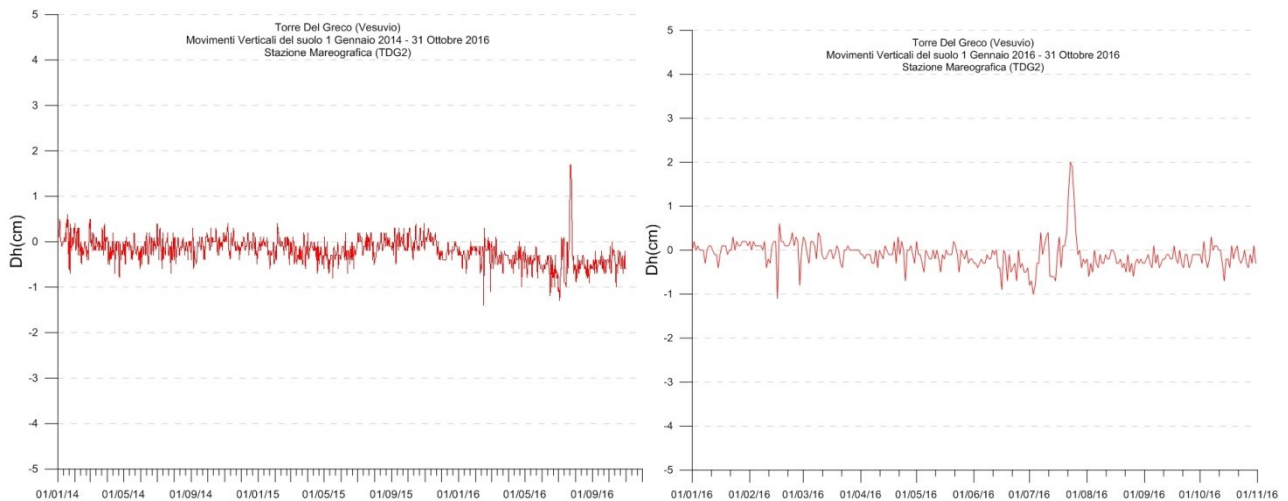


Figura 1.2.4 - Movimenti verticali del suolo ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Torre del Greco (TDG2): a sinistra nel periodo gennaio 2014 – ottobre 2016, a destra nel periodo gennaio 2016 – ottobre 2016. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli molo S.Vincenzo (NAMM).

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

Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo del Vesuvio consiste in 7 stazioni 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). (Fig. 1.2.5).

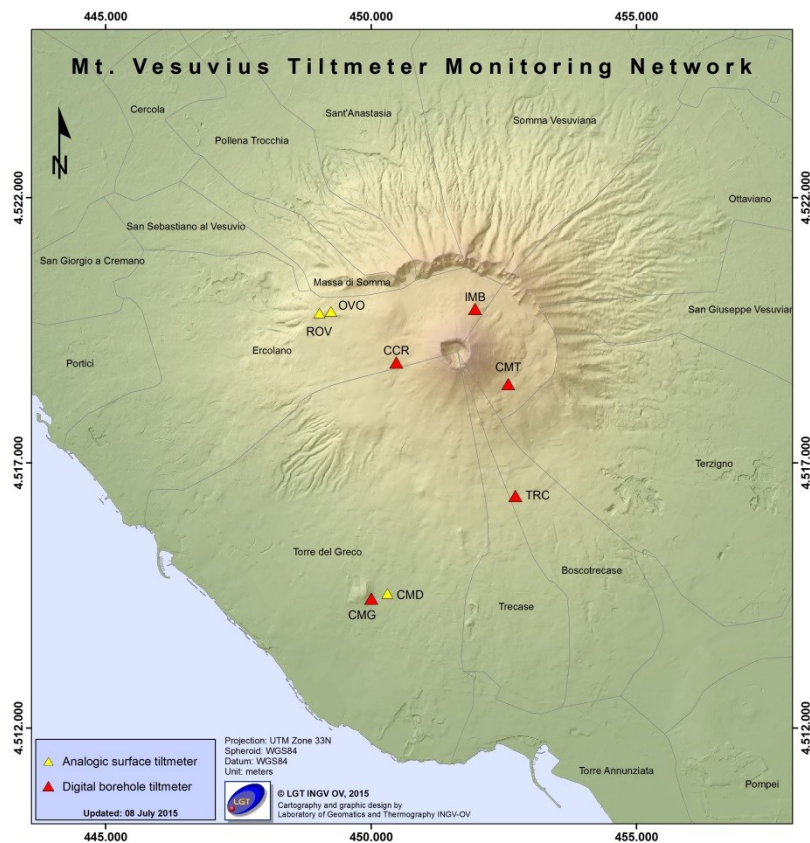


Figura 1.2.5 – Rete Tiltmetrica del Vesuvio.

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 durante i primi 10 mesi del 2016 è riportato in Fig. 1.2.6.

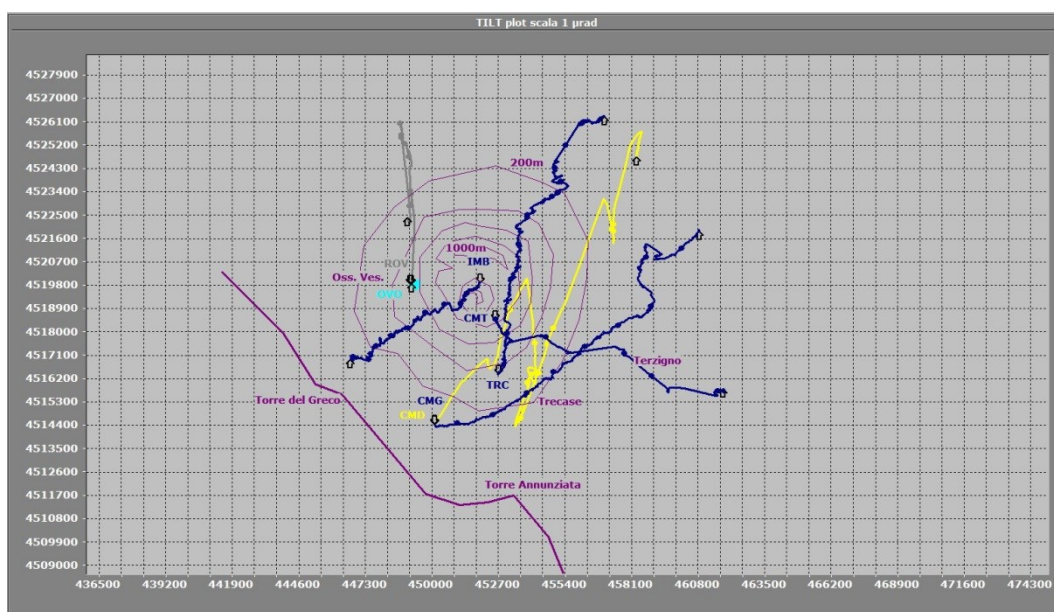


Figura 1.2.6 – Odografo del tilting registrato alle stazioni del Vesuvio da gennaio a ottobre 2016.

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.

L'inclinazione dell'edificio vulcanico avviene con modalità diverse in relazione alla posizione delle stazioni; la direzione prevalente è NNE,NE nel settore orientale e NS in quello occidentale.

La stazione ROV mostra un tilting deciso in direzione N e tale anomalia molto probabilmente è legata ai movimenti differenziali che da qualche tempo interessano l'Edificio Storico dell'Osservatorio Vesuviano. Alla stazione IMB, più prossima al cratere, si osserva un tilting in direzione WSW in accordo con la subsidenza del cratere stesso, mentre OVO è praticamente ferma.

Le stazioni CMD, CMG e TRC evidenziano invece il tilting in direzione NNE-NE, mentre CMT, in funzione dagli inizi di Giugno, si inclina in direzione ESE, seguendo la pendenza del versante.

1.3 – 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).

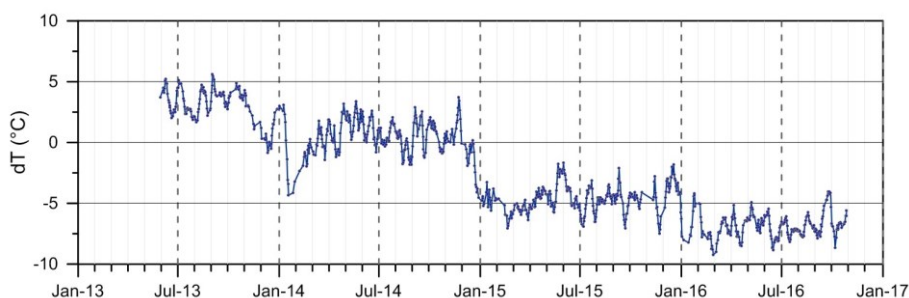


Figura 1.3.1 - Stazione Vesuvio. Medie settimanali dei residui (dT° ; Vilardo et al., 2015) della serie temporale dei valori di temperatura massima rilevati nell'immagine IR.

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.

1.4 - Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di ottobre 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. Va segnalata la diminuzione dell'attività e la quasi assenza di flusso mostrata dalla fumarola di fondo cratere (FC2), della quale sono state prelevate diverse aliquote di gas per ottenere un campione rappresentativo;
- 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. 1.4.1).

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. 1.4.2, 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 CO₂ (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. 1.4.3).

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 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. 1.4.4).

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 settembre 2016 non ha mostrato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (fumarola B1, Fig. 1.4.5).

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

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 1.4.1 - 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).

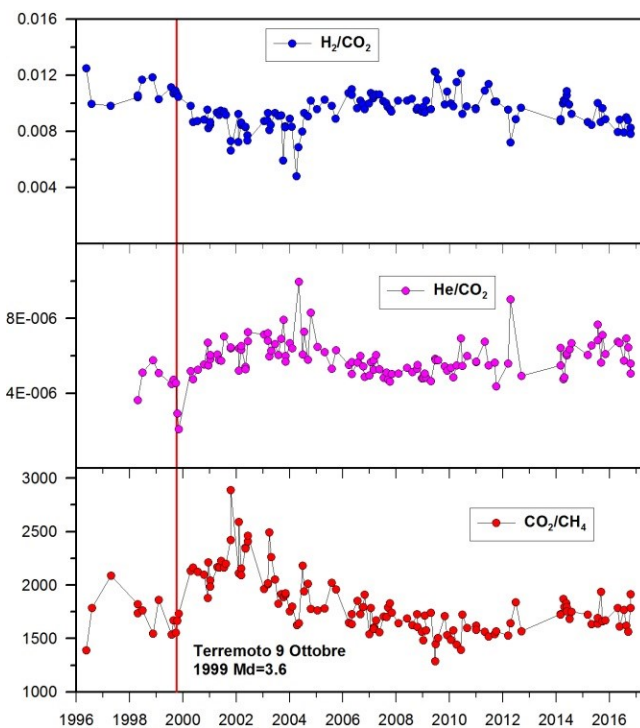


Figura 1.4.2 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2016.

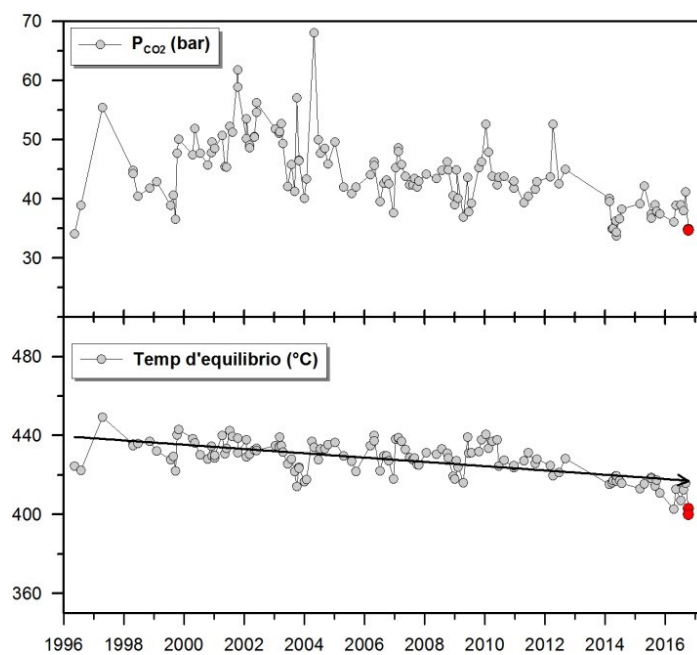


Figura 1.4.3 - Cronogramma dei valori d'equilibrio della temperatura e pressione parziale di CO_2 stimati per il sistema idrotermale del Vesuvio. I campioni di ottobre 2016 sono riportati con i simboli rossi.

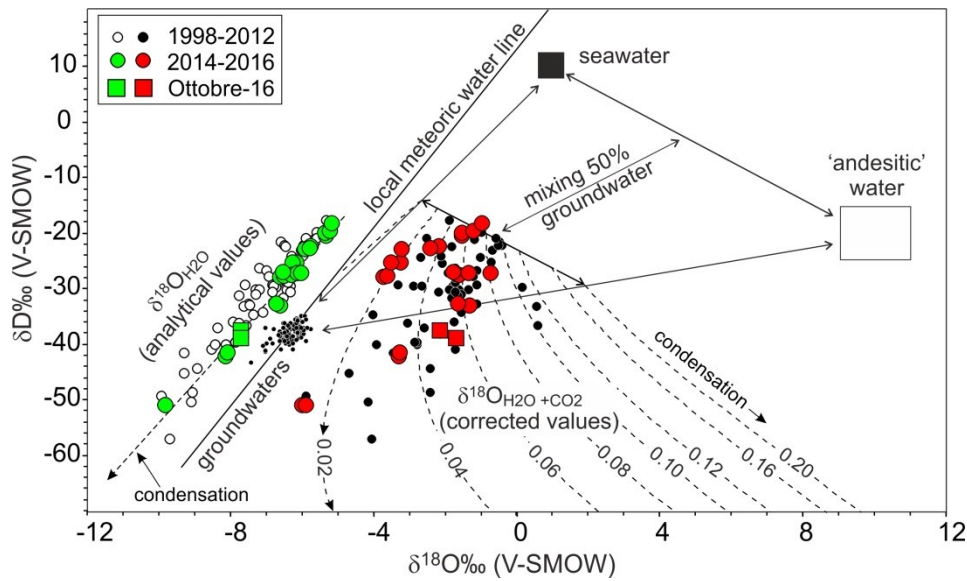


Figura 1.4.4 - Diagramma della composizione isotopica dell'ossigeno e dell'idrogeno dei vapori emessi dalle fumarole di fondo cratero del Vesuvio. I dati analitici (simboli verdi e bianchi) possono essere interpretati considerando l'equilibrio isotopico dell'ossigeno tra il CO₂ e il vapore e gli effetti 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.

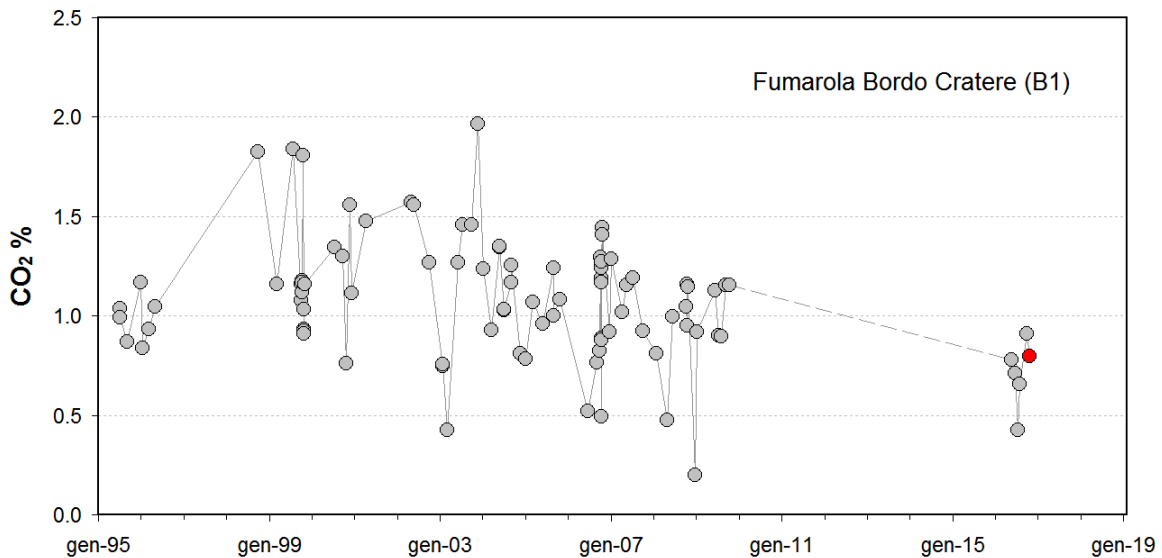


Figura 1.4.5 - Cronogramma della concentrazione di CO₂ della fumarola di bordo cratero B1 (area anemometro). Il campione di ottobre 2016 è riportato con il simbolo rosso.

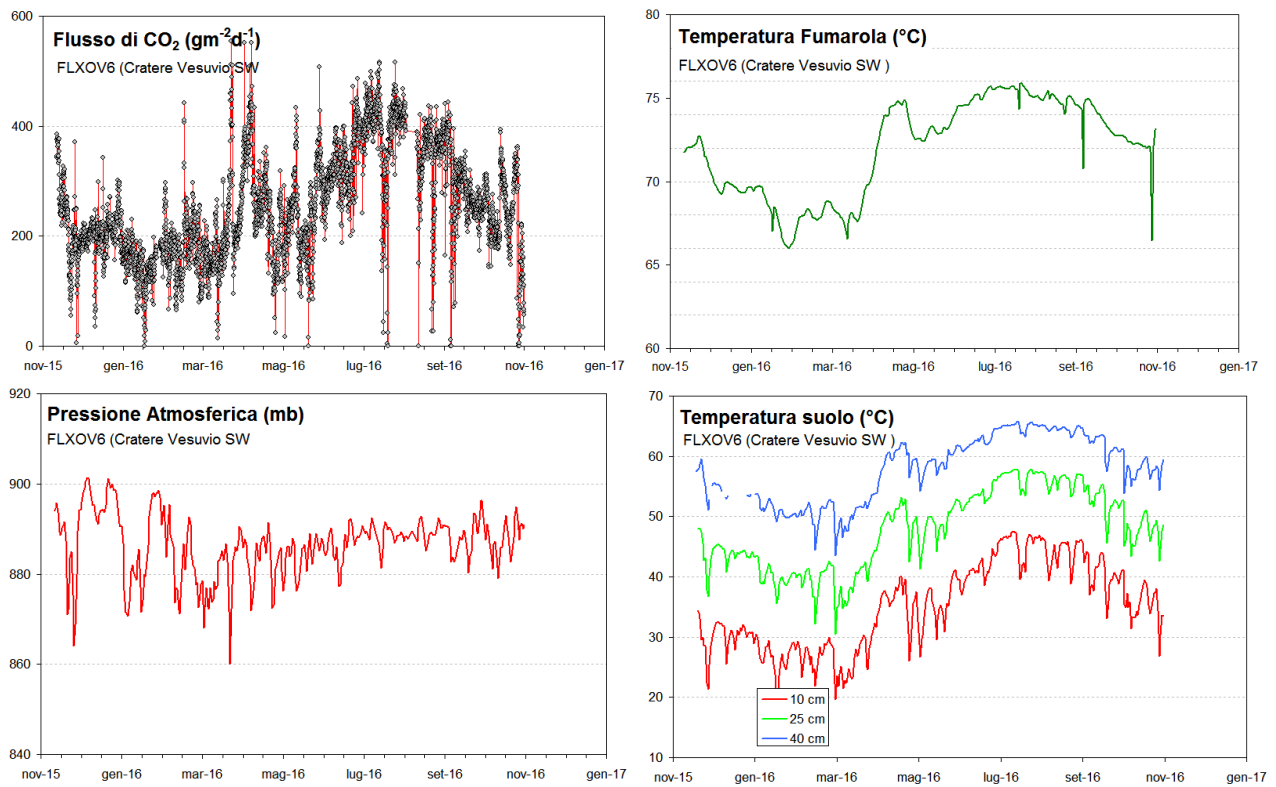


Figura 1.4.6 - Parametri misurati dalla stazione geochimica (FLXOV6) installata in area bordo cratere del Vesuvio (settore SW). I valori, ad esclusione del flusso di CO₂ dal suolo, sono riportati come medie giornaliere.

2 - CAMPI FLEGREI

Nel corso del mese di ottobre 2016 sono stati registrati 12 terremoti di bassa magnitudo ($M_{max}=1.2$). Nello stesso periodo non si osservano deformazioni del suolo significative. I parametri geochimici rientrano nei trend già identificati in precedenza. Il monitoraggio dell'area flegrea permane ad un livello di attenzione.

2.1 - Sismicità

Ai Campi Flegrei, nel corso del mese di ottobre, sono stati registrati 12 terremoti di bassa magnitudo ($M_{max}=1.2$ evento del 30/10 alle 07:04) (Fig. 2.1.1).

E' stato possibile determinare l'ipocentro di 10 degli eventi registrati. Le localizzazioni sono mostrate in Fig. 2.1.2.

7 eventi sono stati registrati all'interno di un breve sciame sismico iniziato alle 06:52:47 del 30/10 e durato circa 12 min con $-1.1 < M_d < 1.2$.

Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5).

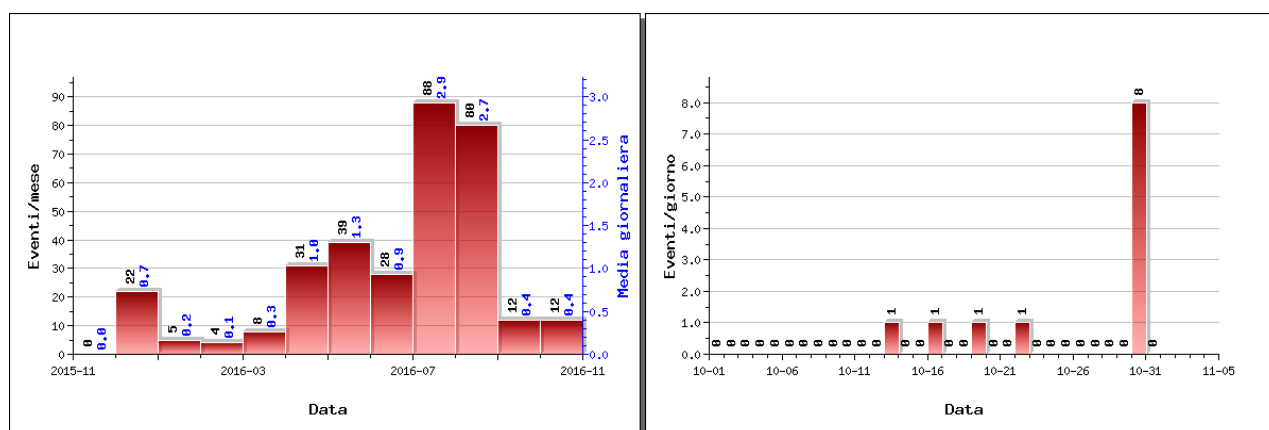


Figura 2.1.1 - A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 329), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 12).

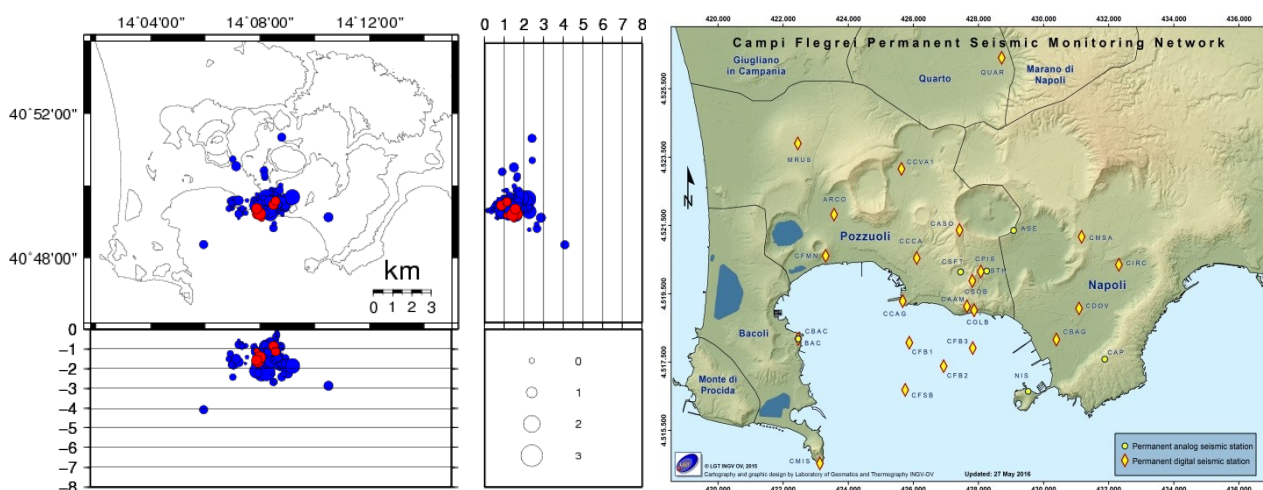


Figura 2.1.2 - Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in blu) e dell'ultimo mese (in rosso). La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la Rete Sismica Permanente dei Campi Flegrei.

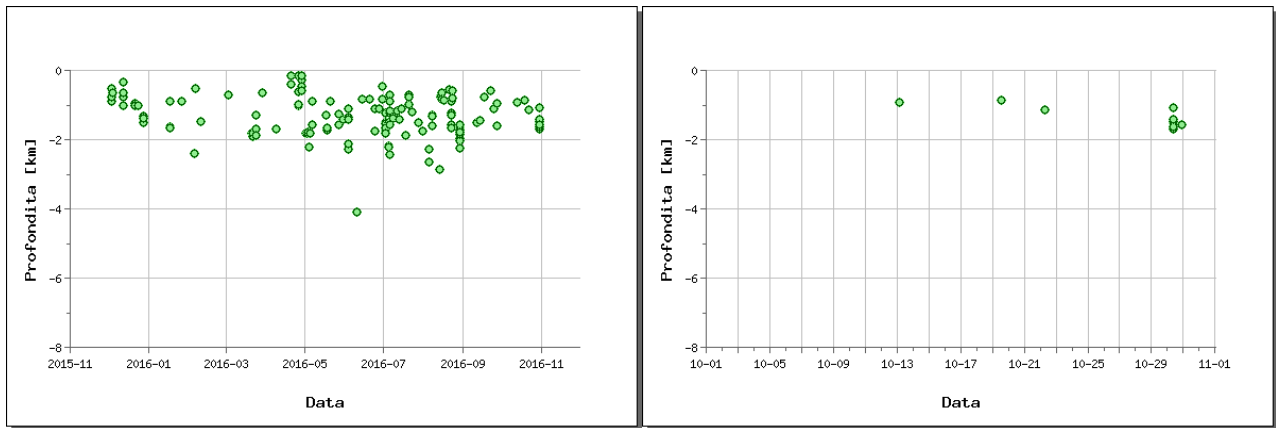


Figura 2.1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

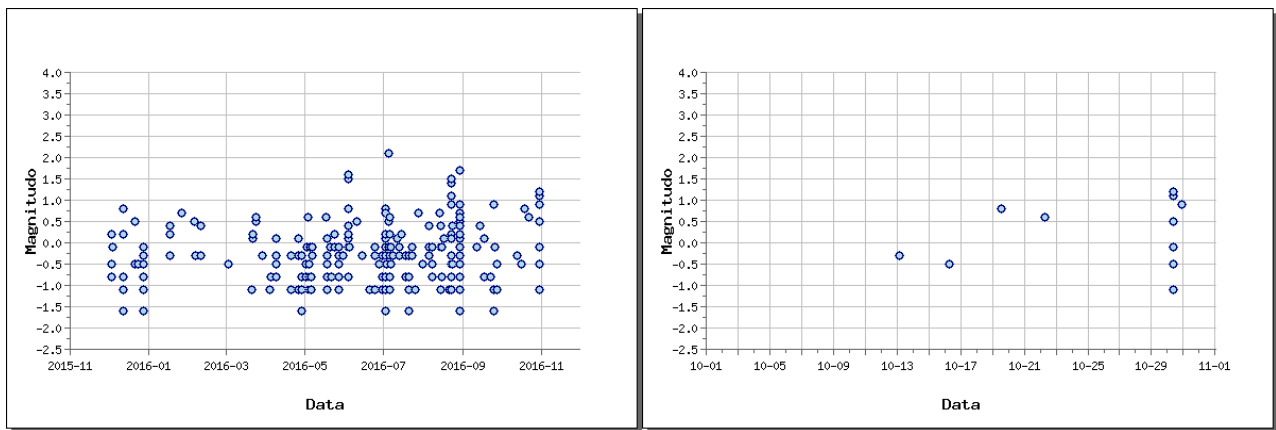


Figura 2.1.4 - Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

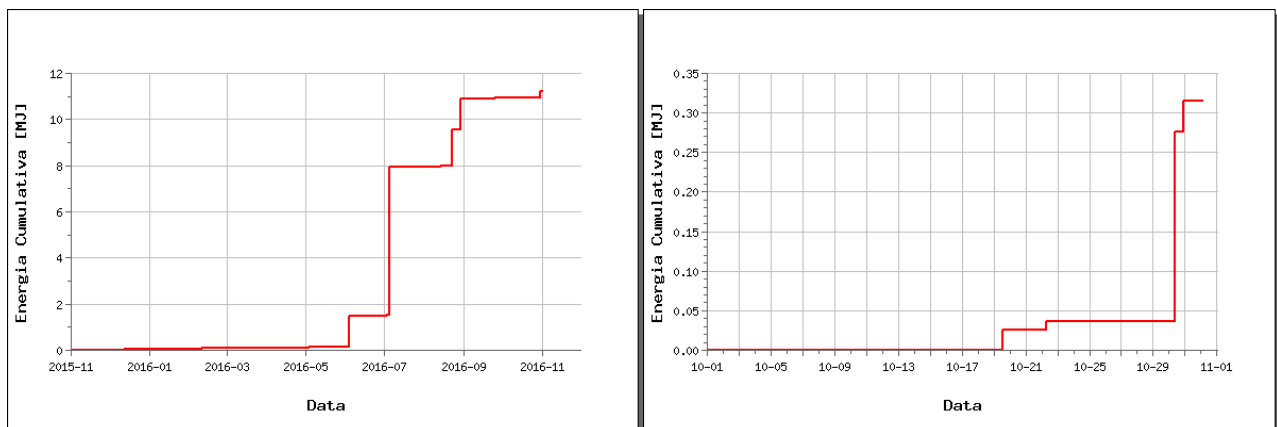


Figura 2.1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

2.2 - Deformazioni del Suolo

GPS

Dalla metà di agosto non si osservano deformazioni del suolo significative.

Il sollevamento registrato alla stazione GPS di RITE (Pozzuoli – Rione Terra) è di circa 19 cm a partire da gennaio 2014, di cui circa 7 cm da gennaio 2016 (Fig. 2.2.2 e Fig. 2.2.3).

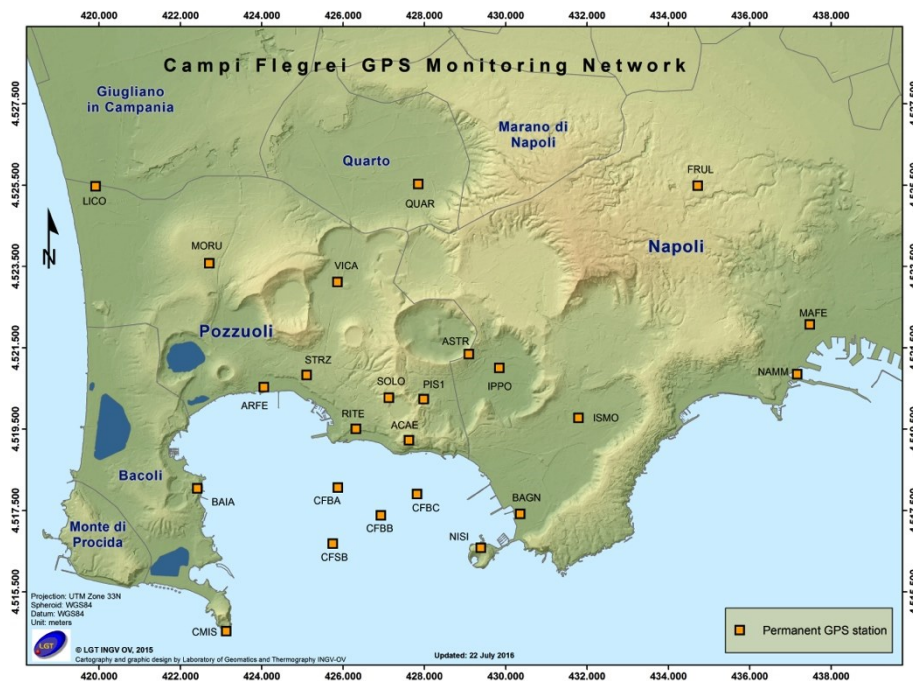


Figura 2.2.1 - Rete GPS Permanente dei Campi Flegrei.



Figura 2.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 2000 a ottobre 2016.

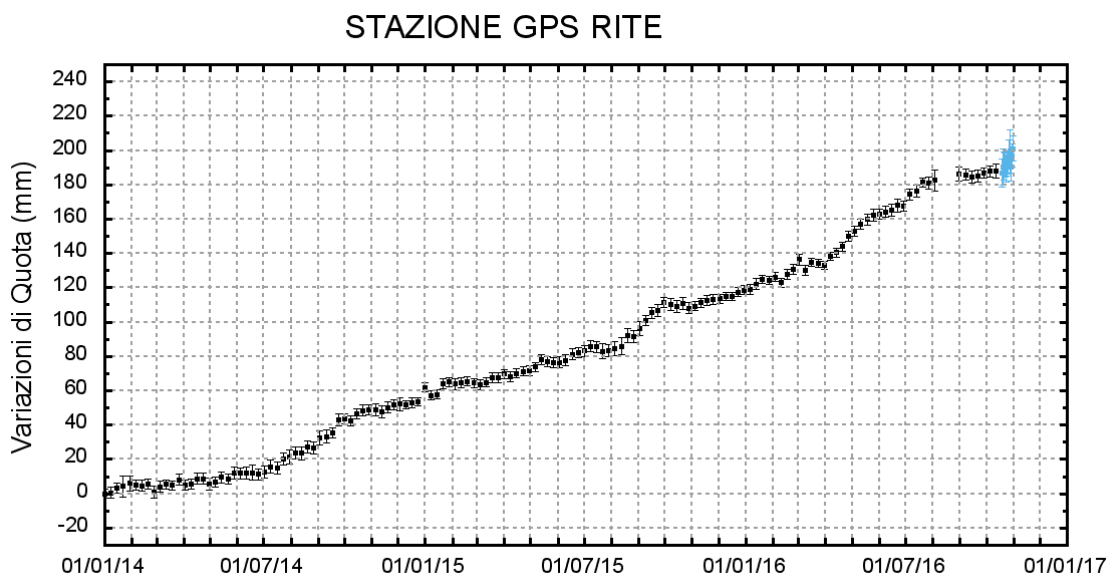


Figura 2.2.3 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione di RITE (Pozzuoli) dal 01 gennaio 2014 al 01 novembre 2016.

In Fig. 2.2.4 è riportata la mappa dei vettori degli spostamenti orizzontali registrati alle stazioni CGPS ai Campi Flegrei dal 2014.

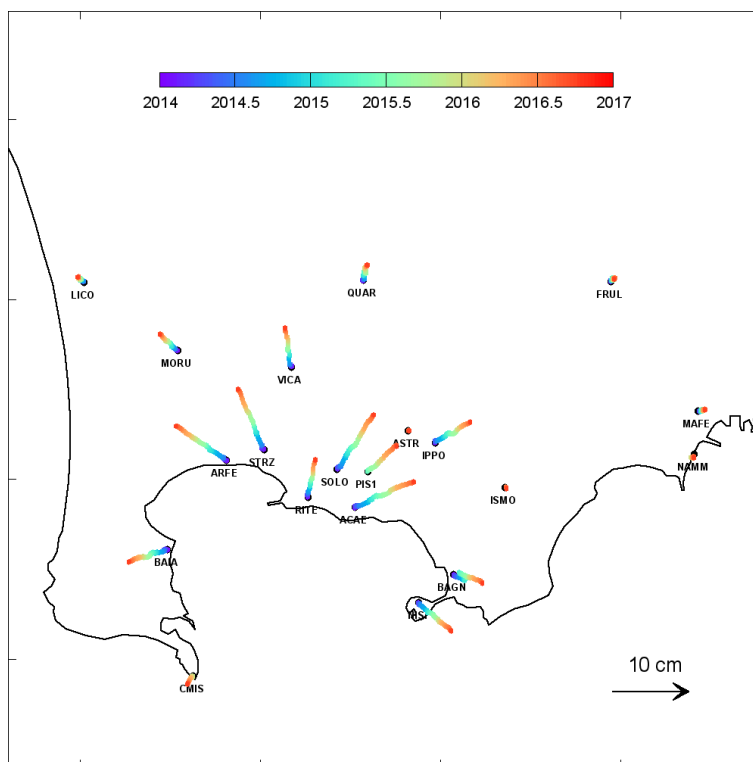


Figura 2.2.4 - Mappa degli spostamenti GPS orizzontali registrati nell'area flegrea dal 01 gennaio 2014.

La forma del campo di deformazione è simile a quelle già individuate nelle precedenti fasi del sollevamento e suggerisce una stabilità della sorgente di deformazione, localizzata nel Golfo di Pozzuoli a qualche centinaio di metri a sud della stazione di RITE.

Mareometria

Le Rete Mareografica dei Campi Flegrei consiste in 4 stazioni : NISI, POPT, PSCM e MISE (Fig. 2.2.5)

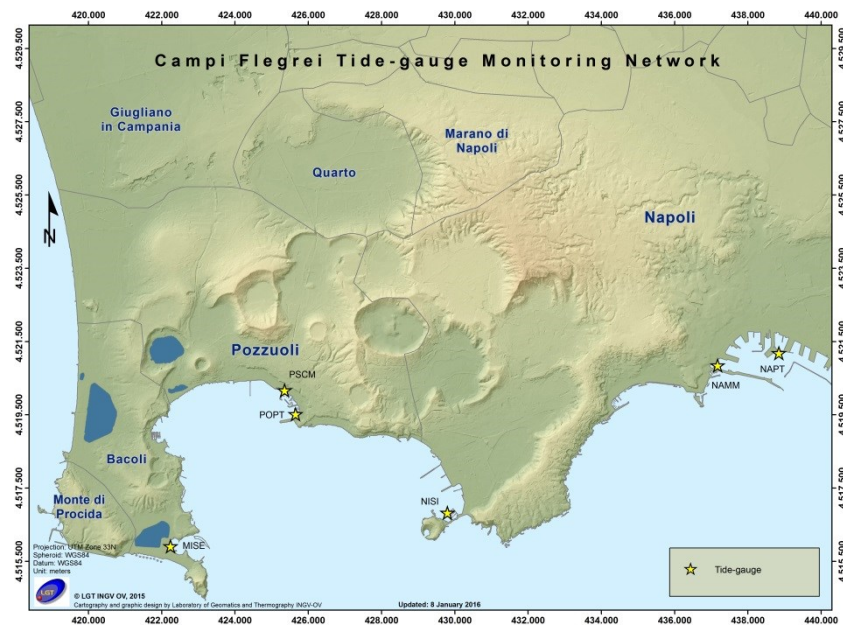


Figura 2.2.5 - Rete Mareografica dei Campi Flegrei.

I dati mareografici relativi alla stazione di Pozzuoli Porto nel periodo gennaio 2014 – ottobre 2016 mostrano l'andamento di Fig. 2.2.6 (sinistra), dal quale si evince un sollevamento di circa 18 cm. Da gennaio 2016 ad ottobre 2016 si ha un contributo di circa 7 cm in sollevamento, verificatesi principalmente nel primo semestre (Fig. 2.2.6; destra).

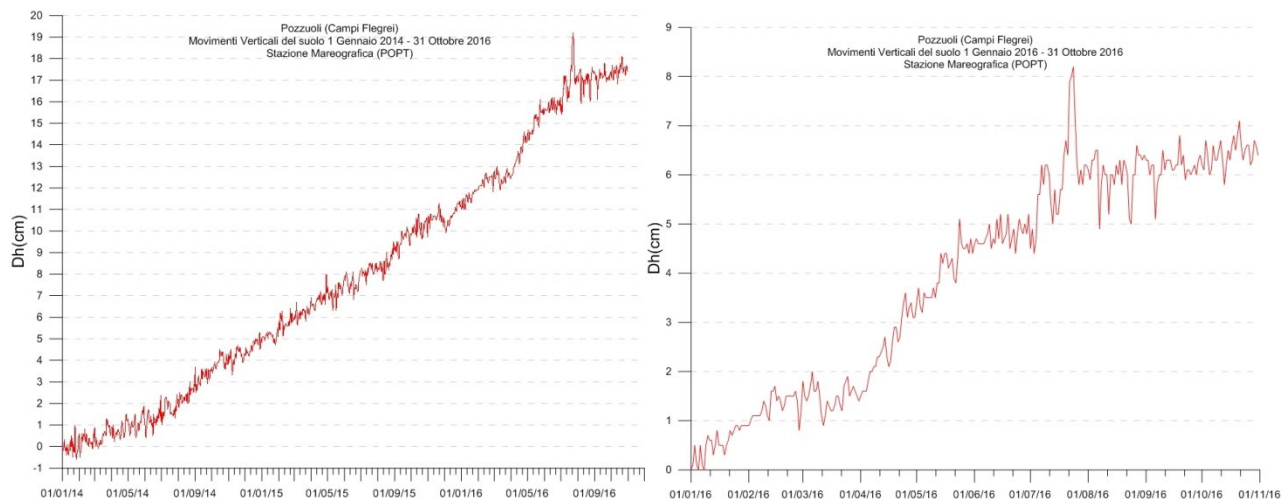


Figura 2.2.6 - Movimenti verticali del suolo ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea): a sinistra nel periodo gennaio 2014 – ottobre 2016, a destra nel periodo gennaio 2016 – ottobre 2016. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di Napoli molo S.Vincenzo (NAMM).

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

Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo dei Campi Flegrei consiste in 10 stazioni di cui 4 equipaggiate con sensori analogici di superficie (BAI, SLF, TOI, CSO), 3 con tiltmetri analogici da pozzo (PSC, ARC, TOI installati da 1 a 7 m di profondità) e 3 con sensori digitali da pozzo (CMP, ECO, HDM installati a 25 m di profondità) (Fig. 2.2.7). Tutte le stazioni acquisiscono con passo di campionamento ogni minuto e trasmettono quotidianamente al Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano secondo 4 modalità di trasmissione (cavo telefonico, GSM, Rete Hiperlan, Router UMTS).

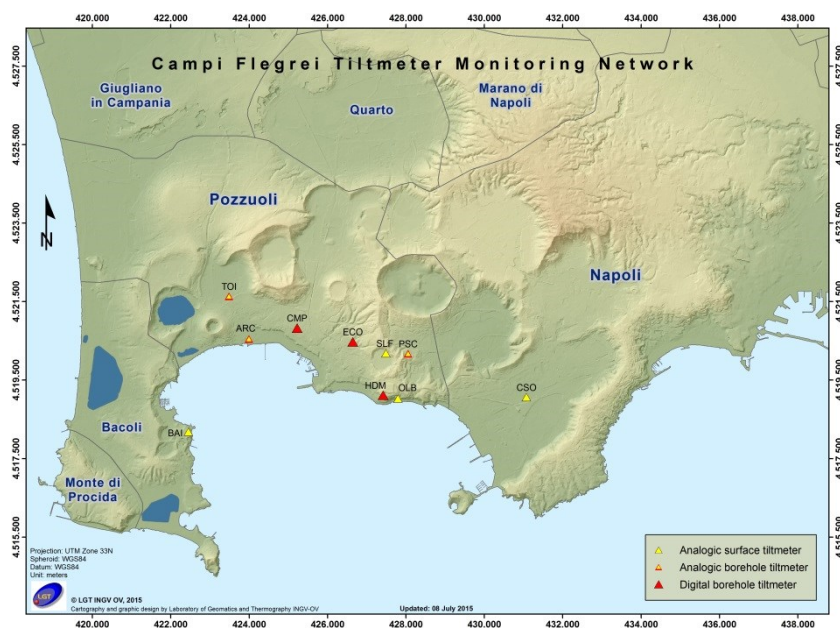


Figura 2.2.7 – Rete Tiltmetrica dei Campi Flegrei.

I segnali registrati dalle stazioni tiltmetriche analogiche flegree 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, sottoposte ad un trattamento statistico di decorrelazione dagli effetti termici (dovuti principalmente 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 ai Campi Flegrei durante i primi 10 mesi del 2016 è coerente con un uplift non costante nel tempo ed è visibile in Fig. 2.2.8.

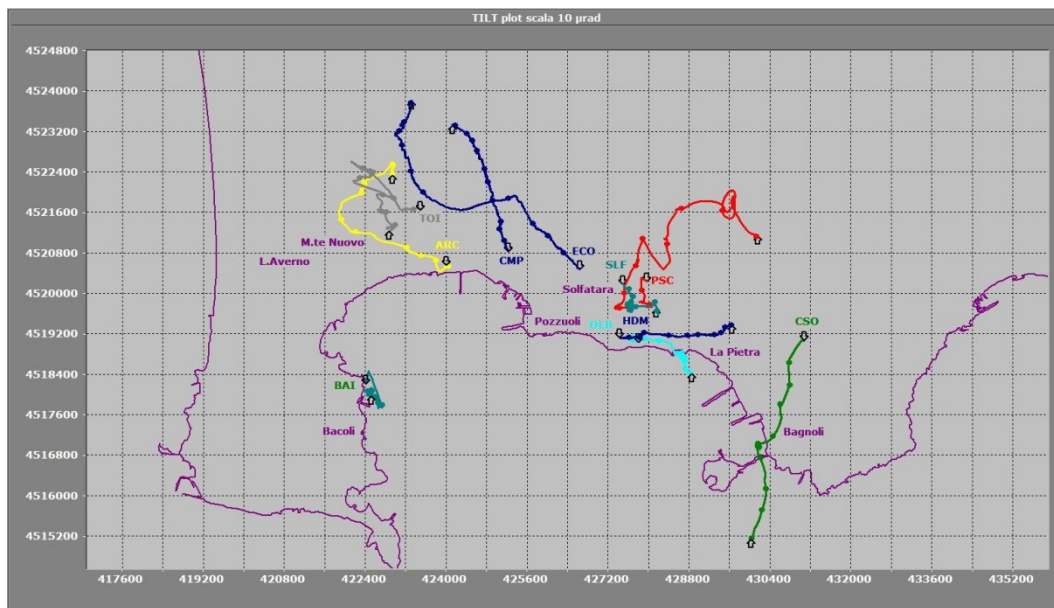


Figura 2.2.8 - Odografo del tilting registrato alle stazioni dei Campi Flegrei nel periodo gennaio-ottobre 2016.

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.

La quasi radialità dei vettori rispetto a Pozzuoli non è rispettata solo dalle stazioni SLF, costretta ad abbassarsi in direzione SE, CSO che risente di contributi estranei al processo deformativo vulcanico e TOI il cui comportamento è fortemente condizionato dalla vicinanza di M.te Nuovo. La stazione ECO merita un discorso a parte, in quanto la sua inclinazione a N è coerente con l'uplift in atto, mentre la sua componente EW risente di un tilting in tale direzione dovuto ad uno stato di fratturazione locale che ne modula l'ampiezza e che costituisce a nostro parere, un elemento molto importante da tenere in considerazione nell'attuale fase di unrest. A tale proposito, è da notare che in corrispondenza del terremoto di Amatrice del 24/8/2016 ore 02:36 (UTC+1) tale stazione ha registrato un tilt permanente di 0.65 μ radianti in direzione E (in un intervallo di 24 minuti) (Fig. 2.2.9 sinistra), mentre durante il terremoto di Norcia del 26/10 ore 18:10 ha registrato un tilt di 0.12 μ radianti in direzione WNW (in un intervallo di 127 minuti), ed ancora un tilt di 0.17 μ radianti sempre in direzione WNW (in un intervallo di 19 minuti), in corrispondenza del terremoto di Norcia del 26/10 ore 20:18 (Fig. 2.2.9 destra). Da ricordare che sempre la componente EW della medesima stazione ha subito 4 distinti offset negativi e/o positivi compresi tra 0.5 e 2.8 μ radianti 9 minuti prima di 4 dei 6 eventi più energetici dello sciame sismico registrato nell'area di Pisciarelli il 7 Ottobre 2015.

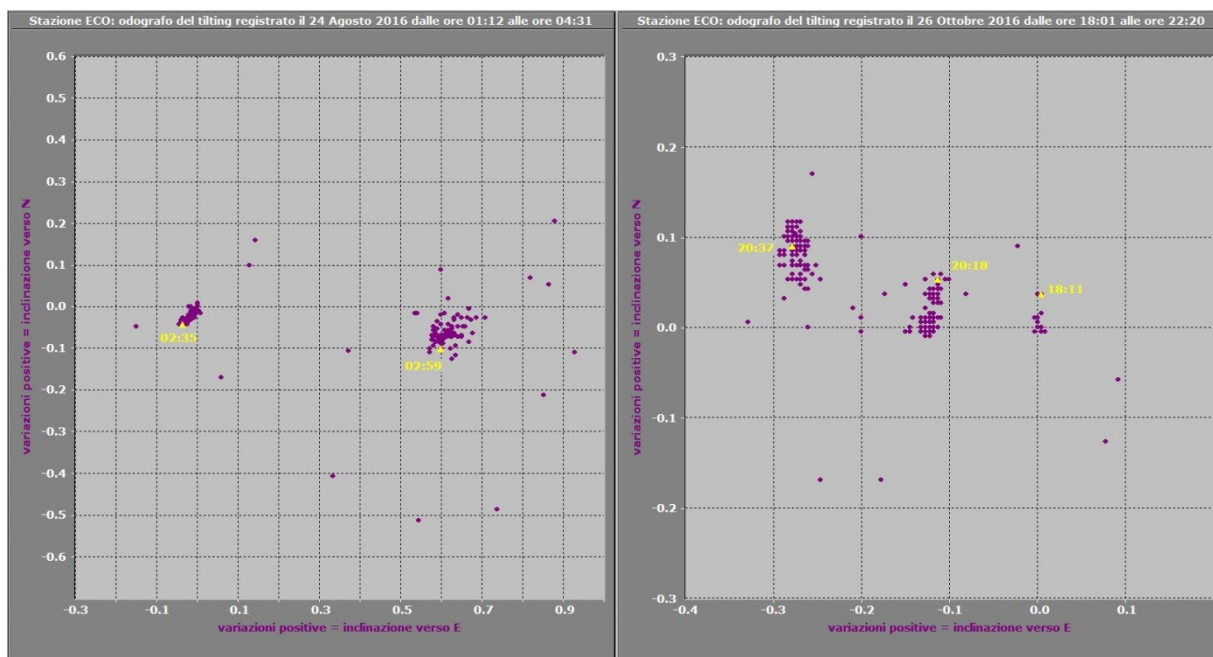


Figura 2.2.9 – Odografo del tilt registrato alla stazione ECO in occasione degli eventi sismici di Amatrice del 24/8/2016 (a sinistra) e di Norcia del 26/10/2016 (a destra).

2.3 – Geochimica dei Fluidi

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di ottobre 2016 ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola principale a Pisciarelli;
- l'acquisizione in continuo di dati di flusso di CO₂ dal suolo e del gradiente termico nel cratere della Solfatara;
- misure di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nelle aree della Solfatara e di Pisciarelli;
- il campionamento delle principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli.

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

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo del sistema idrotermale della Solfatara, delle variazioni composizionali registrate e delle possibili interpretazioni sono riportate nei seguenti lavori scientifici: Caliro et al., (2007; 2014); Chiodini (2009); Chiodini et al., (2010; 2011; 2012; 2015a,b), ai quali si rimanda per approfondimento.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati evidenziano il perdurare dei trends già identificati in precedenza (vedi rapporti di sorveglianza precedenti; Figg. 2.3.1-4).

Il rapporto CO₂/H₂O delle fumarole (Fig. 2.3.1) nei campioni di ottobre è rimasto a valori elevati (~0.34 per la fumarola BG), che in generale testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici (Caliro et al., 2007; Chiodini et al., 2010). La distribuzione dei dati così delineata nel tempo, seppur caratterizzata da sensibili oscillazioni del valore, suggerisce la possibilità del raggiungimento di un massimo tra il 2013 e il 2014.

In particolare, l'interpretazione di queste variazioni risulta più complessa alla luce dei recenti studi che mettono in evidenza come possibili processi di condensazione del vapore nel sistema idrotermale, in risposta ad un aumento del flusso dei fluidi magmatici (e della

pressione) e allo stato termico del sistema, possano influenzare il rapporto CO₂/H₂O misurato alle fumarole (Chiodini et al., 2015a). Inoltre è possibile che una frazione della CO₂ emessa dalle fumarole sia prodotta, in seguito all'aumento di temperatura del sistema, da reazioni che coinvolgono la calcite di origine idrotermale presente nel sistema (Chiodini et al., 2015b).

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indicano il progressivo riscaldamento delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare, le concentrazioni di CO, disponibili alla Solfatara di Pozzuoli fin dalla crisi del 1983-84, a partire dagli inizi degli anni 2000 mostrano un evidente trend di crescita, che è particolarmente marcato negli ultimi mesi (fumarola BG, Fig. 2.3.2). Tale crescita è a nostro parere rilevante poiché il CO è fra le specie fumaroliche analizzate quella più sensibile alla temperatura. Assumendo come buffer delle condizioni redox del sistema idrotermale la funzione di D'Amore and Panchi (1980), che in generale ben descrive la fO_2 in molti dei sistemi idrotermali del mondo, il trend del CO corrisponderebbe ad un aumento di temperatura di circa 20°C fra gli inizi degli anni 2000 (T circa 215 °C) e il 2014-2016 (T circa 235°C, Fig. 2.3.3). Tale processo di riscaldamento del sistema flegreo e le possibili cause sono trattate in modo approfondito in un recente lavoro scientifico (Chiodini et al., 2015a) a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

Il cronogramma del rapporto CO₂/CH₄ (Fig. 2.3.4) mostra picchi positivi, interpretabili come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti, e a basso contenuto in CH₄, nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010; 2011; 2012). I vari picchi corrisponderebbero quindi ad eventi di degassamento magmatico e conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda ad uno specifico lavoro scientifico (Chiodini et al., 2012). Inoltre, in Figura 2.3.4, è possibile riconoscere un trend d'aumento del rapporto a partire dal 2000. Sia l'aumento della temperatura di equilibrio della parte più profonda del sistema idrotermale che variazioni delle sue condizioni redox (verso condizioni più ossidanti, magmatiche) possono essere la causa dell'aumento del rapporto CO₂/CH₄ (i.e. diminuzione relativa delle concentrazioni di CH₄) (Chiodini et al., 2015a).

Il processo di riscaldamento e pressurizzazione della parte più superficiale del sistema idrotermale, iniziato a partire dal 2007 (Chiodini et al., 2011) e tuttora in corso, causa a nostro avviso le variazioni macroscopiche osservate a Pisciarelli (Fig 2.3.5) e che negli ultimi anni sono consistite nell'apertura di nuovi vent fumarolici e di polle bollenti, nell'emissione di fango, in attività sismica localizzata, nell'aumento della temperatura della fumarola principale (Figg. 2.3.6, 2.3.7), nell'aumento dei flussi misurati in continuo dalla stazione FLXOV3 (Fig 2.3.8).

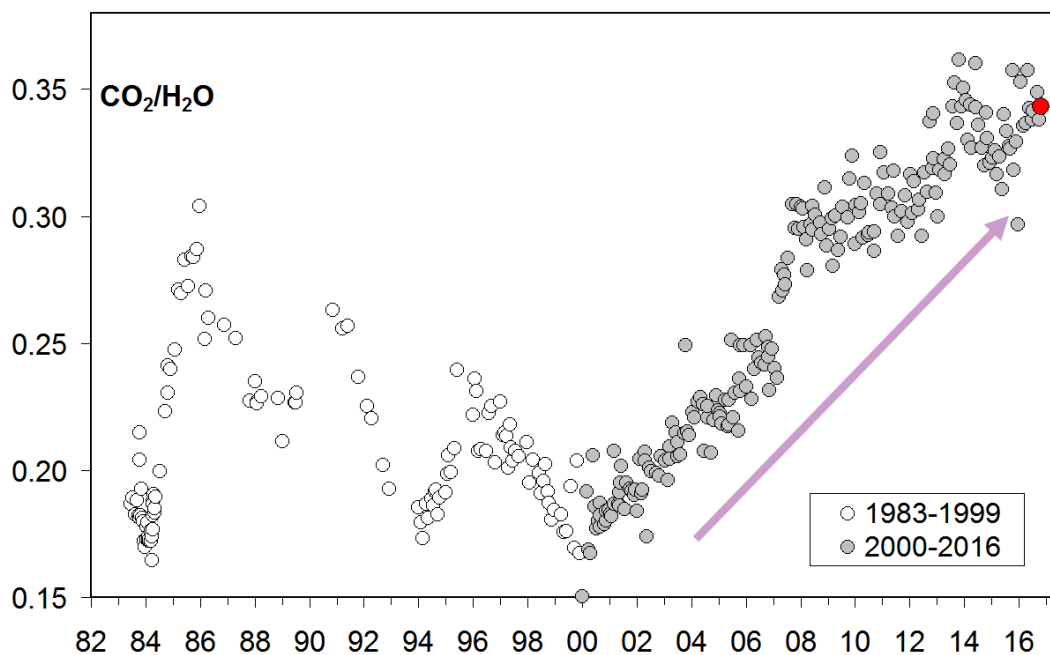


Figura 2.3.1 - Cronogramma del rapporto CO₂/H₂O per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto CO₂/H₂O indicativo, in generale, di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di ottobre 2016.

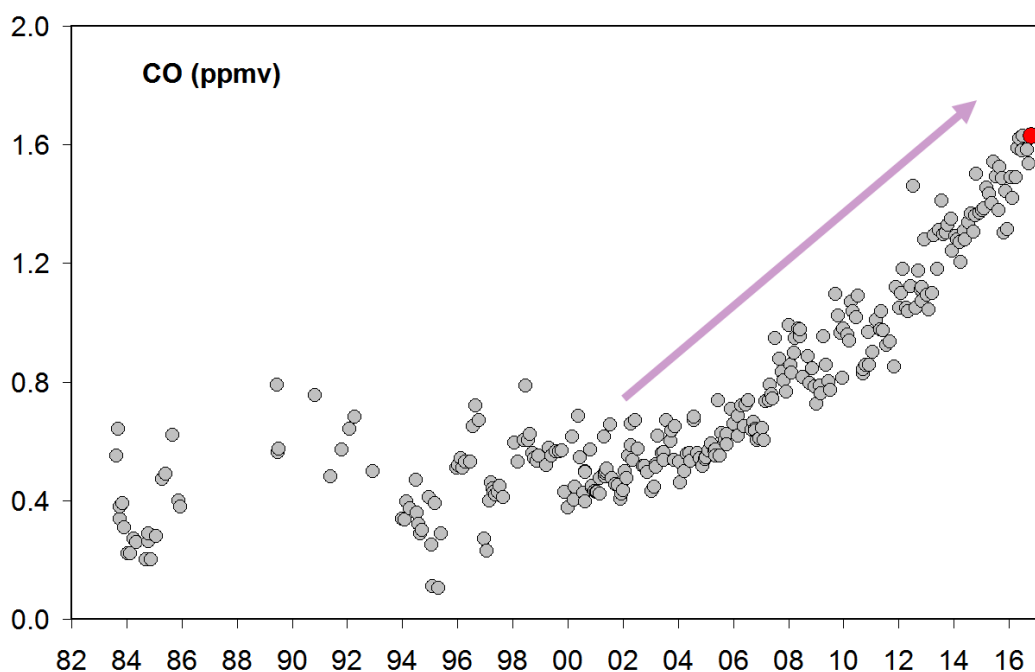


Figura 2.3.2 - Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di ottobre 2016. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici ad elevata temperatura mentre fumarole alimentate da sistemi idrotermali mostrano concentrazioni più basse, in tali sistemi un aumento delle concentrazioni di CO può riflettere un incremento delle condizioni di pressione e temperatura.

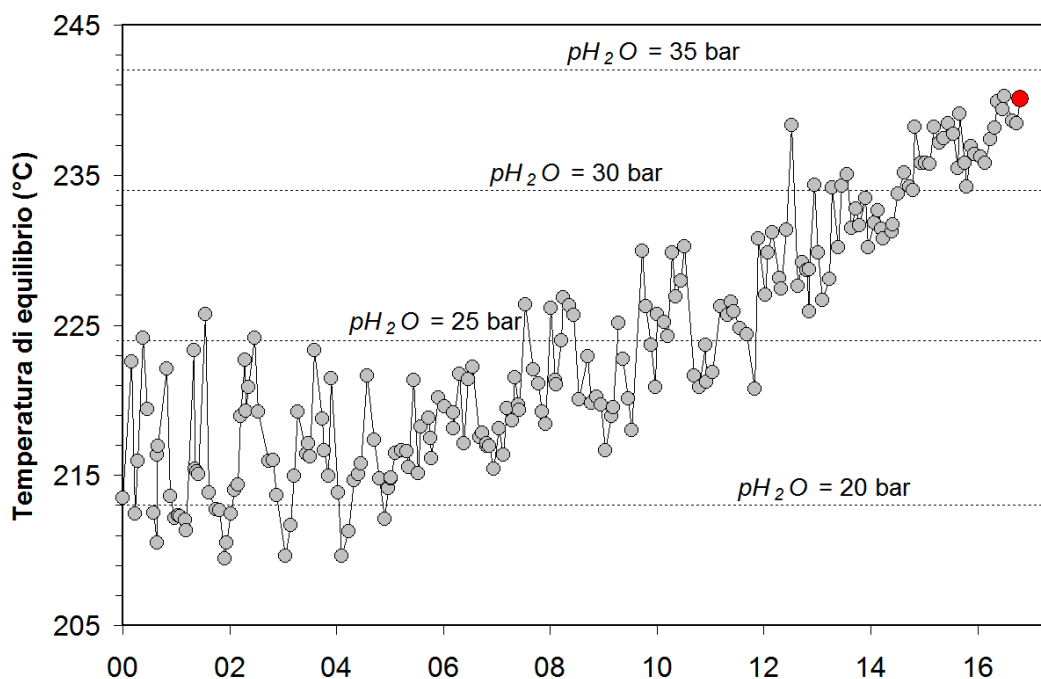


Figura 2.3.3 - Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO₂, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend d'aumento a partire dai primi anni del 2000. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di ottobre 2016 relativo alla fumarola BG.

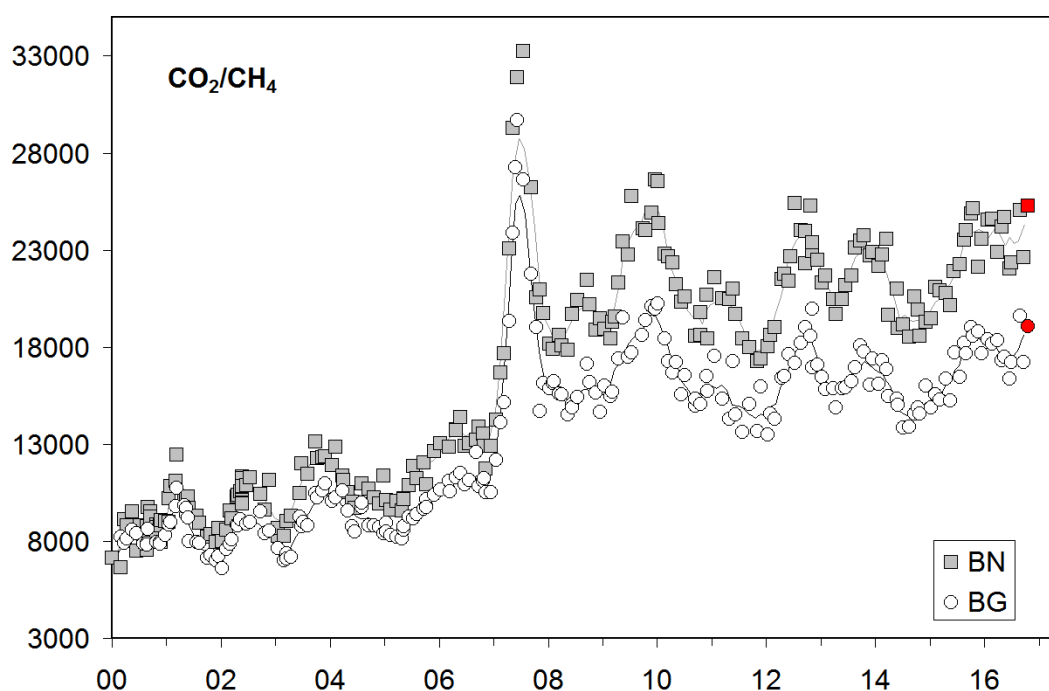


Figura 2.3.4 - Variazioni del rapporto CO₂/CH₄ per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico occorsi ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). Con i simboli rossi sono evidenziati i campioni di ottobre 2016.

PISCIARELLI



Figura 2.3.5 - Variazioni macroscopiche dell'area di emissione di Pisciarelli dal 2005.

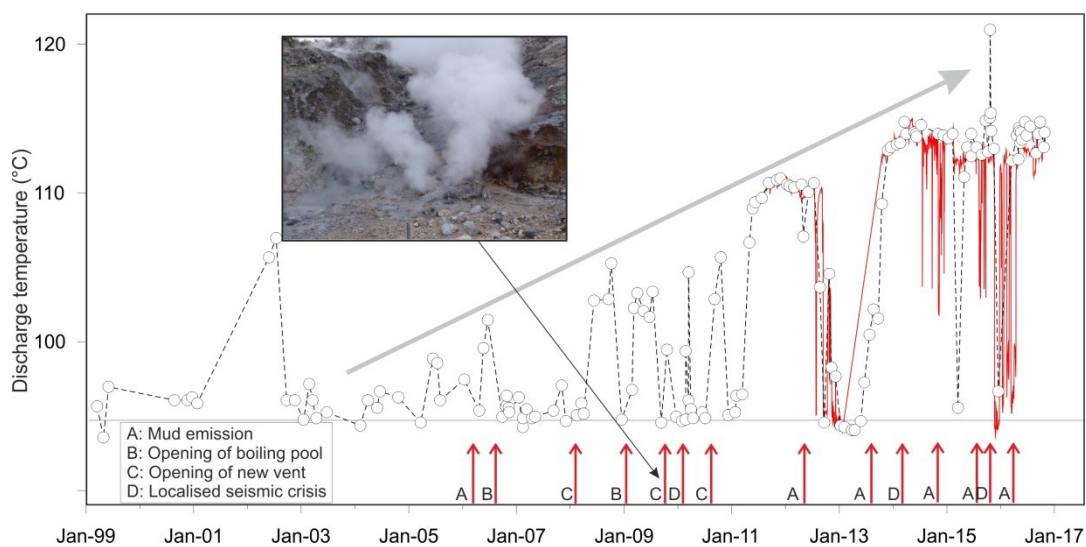


Figura 2.3.6 - Cronogramma delle temperature (°C) della fumarola di Pisciarelli e dei maggiori eventi occorsi legati all'aumento dell'attività idrotermale (i cerchi si riferiscono a misure discrete riferite al punto di prelievo dei gas, la linea rossa si riferisce alle medie giornaliere delle misure in continuo). La temperatura di ~95°C rappresenta la temperatura di ebollizione per i fluidi fumarolici di Pisciarelli. Nella foto è riportata la nuova vigorosa fumarola sorta il 20 dicembre 2009.

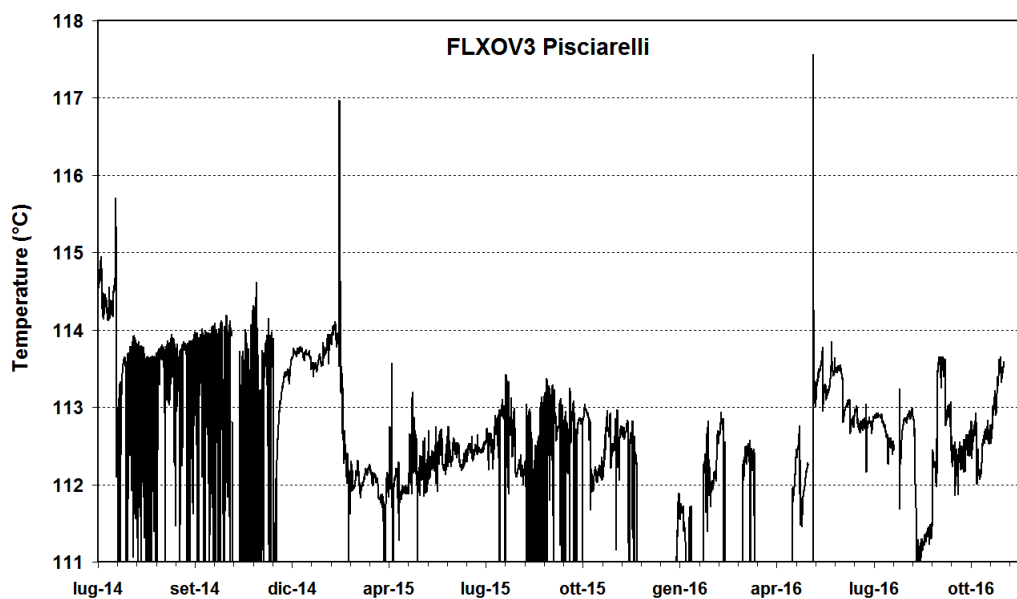


Figura 2.3.7 - Temperature registrate in continuo della fumarola di Pisciarelli.

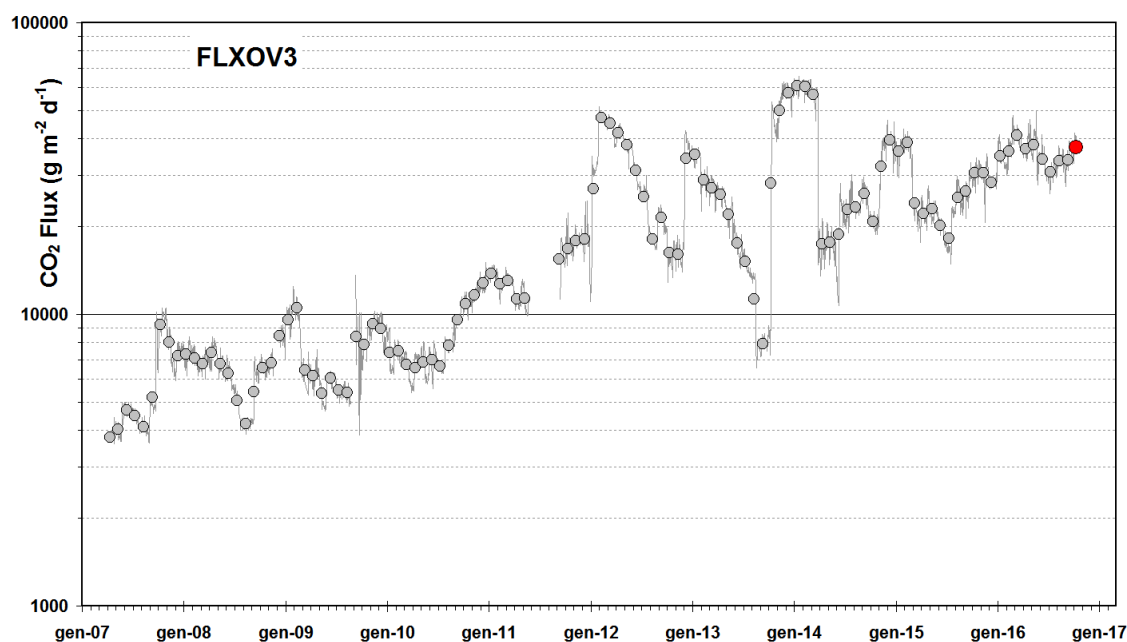


Figura 2.3.8 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO₂ misurati a Pisciarelli (FLXOV3). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo del flusso CO₂. La media dei flussi relativa al mese di ottobre è riportata con il simbolo rosso. I dati di Flusso di CO₂ dal suolo sono aggiornati al 23 ottobre a causa del danneggiamento di alcuni componenti della stazione.

3 – ISCHIA

Nel corso del mese di settembre 2016, ad Ischia non sono stati registrati terremoti. Per quanto riguarda le deformazioni del suolo, permane una lieve subsidenza generale, più marcata nella parte meridionale dell'isola.

3.1 - Sismicità

Nel corso del mese di ottobre 2016, ad Ischia, non sono stati registrati terremoti (Fig. 3.1.1). L'ultimo evento si è verificato il 31/08/2016 con magnitudo 2.3.

Non si evidenziano trend significativi nei parametri sismologici (Fig. 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5).

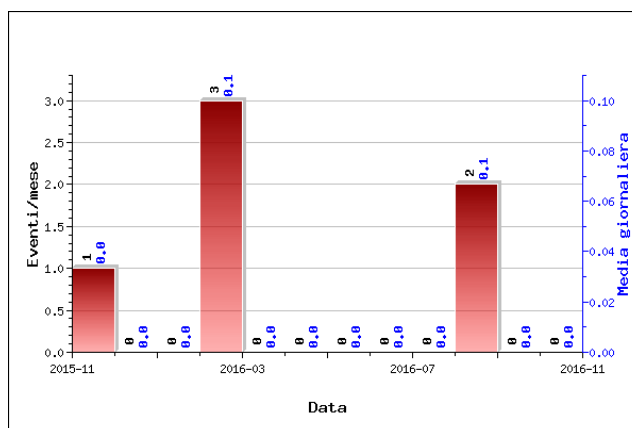


Figura 3.1.1 - Numero di eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 6).

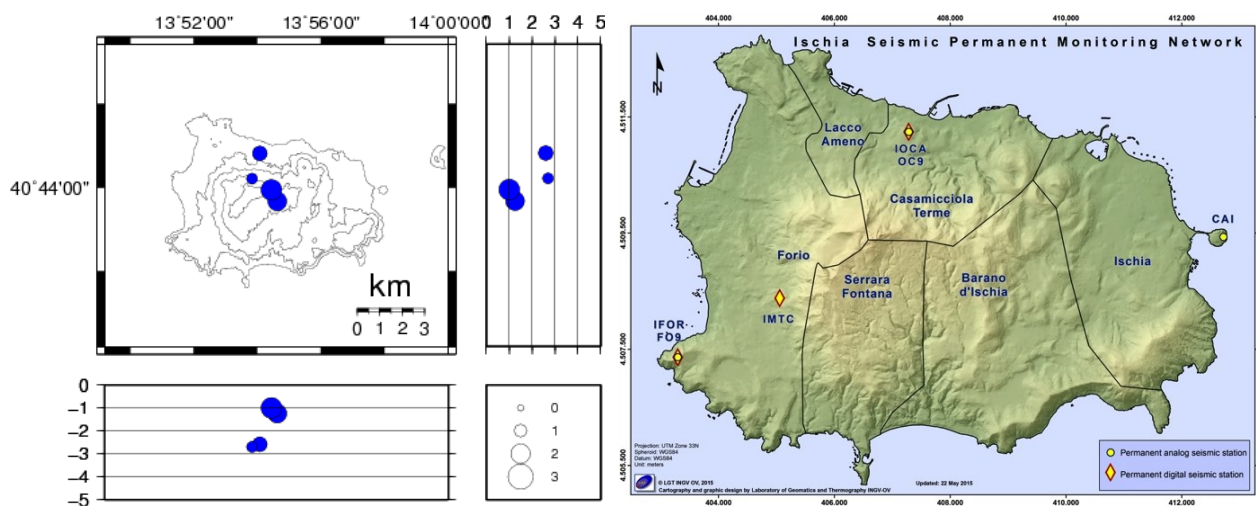


Figura 3.1.2 - Localizzazioni ipocentrali ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso. A destra è mostrata la mappa con la rete sismica di Ischia.

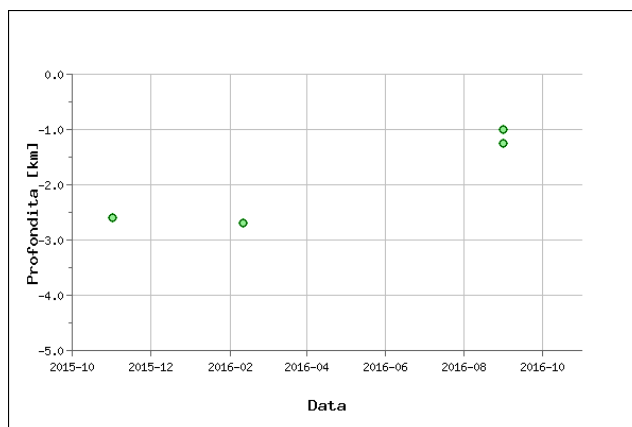


Figura 3.1.3 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

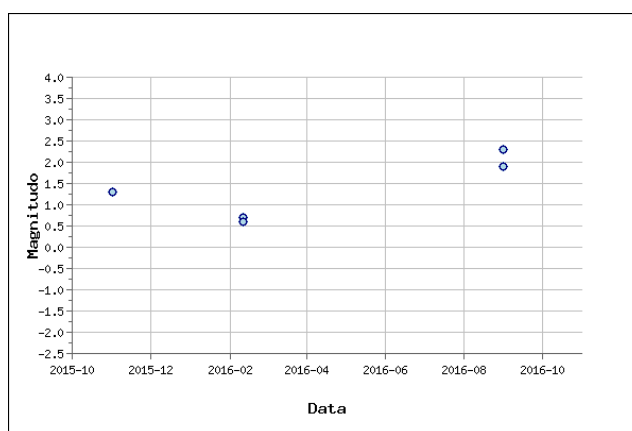


Figura 3.1.4 - Magnitudo degli eventi registrati ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

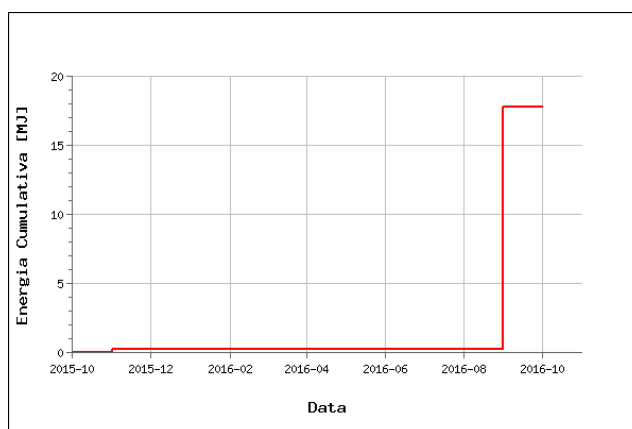


Figura 3.1.5 - Rilascio cumulativo di energia sismica ad Ischia nel corso degli ultimi 12 mesi.

3.2 - Deformazioni del Suolo

GPS

L'analisi delle serie temporali GPS conferma la generale subsidenza dell'isola con valori più elevati nel settore meridionale dell'isola (Fig. 3.2.2 e Fig. 3.2.3).



Figura 3.2.1 - Rete GPS permanente di Ischia

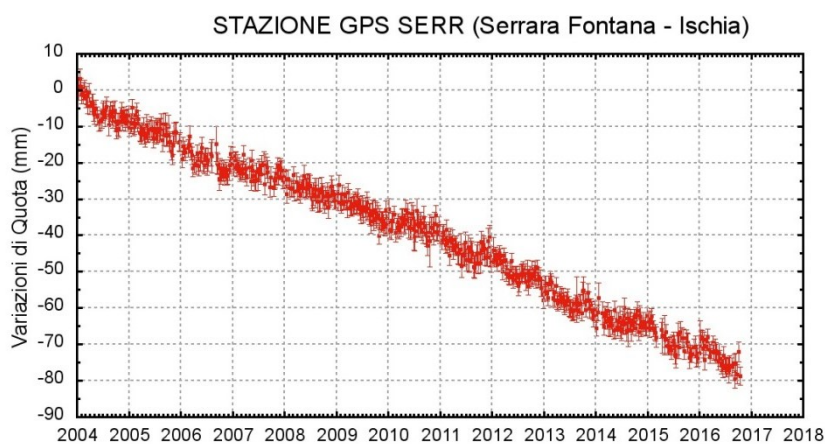


Figura 3.2.2 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) dal 2004 a ottobre 2016.

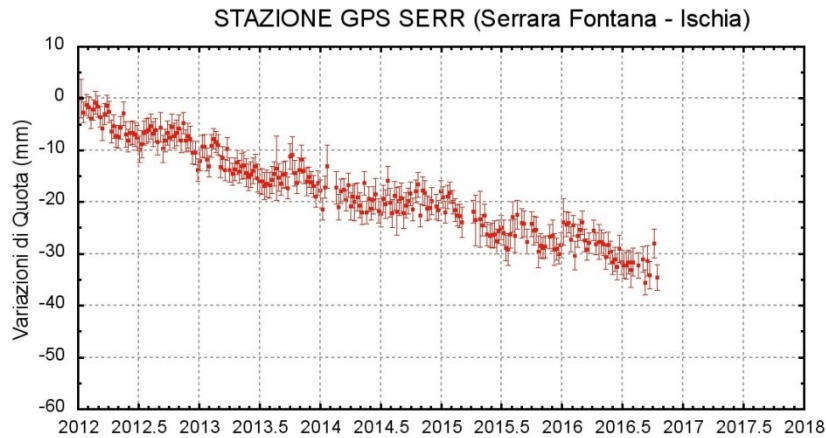


Figura 3.2.3 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di SERR (Ischia) da gennaio 2012 a ottobre 2016.

Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo dell'Isola di Ischia consiste in 3 stazioni equipaggiate con sensori digitali da pozzo (ISC, BRN, FOR, installati a 25 m di profondità). Tutte le stazioni acquisiscono con passo di campionamento ogni minuto e trasmettono quotidianamente al Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano tramite Router UMTS (Fig. 3.2.4)



Figura 3.2.4 - Rete Tiltmetrica dell'Isola d'Ischia.

I segnali registrati dalle stazioni tiltmetriche consistono in time-series di variazioni di inclinazione del suolo lungo due piani ortogonali (NS ed EW), di temperatura e di declinazione magnetica.

Il pattern di inclinazione calcolato durante i primi 10 mesi del 2016 è riportato in Fig. 3.2.5.

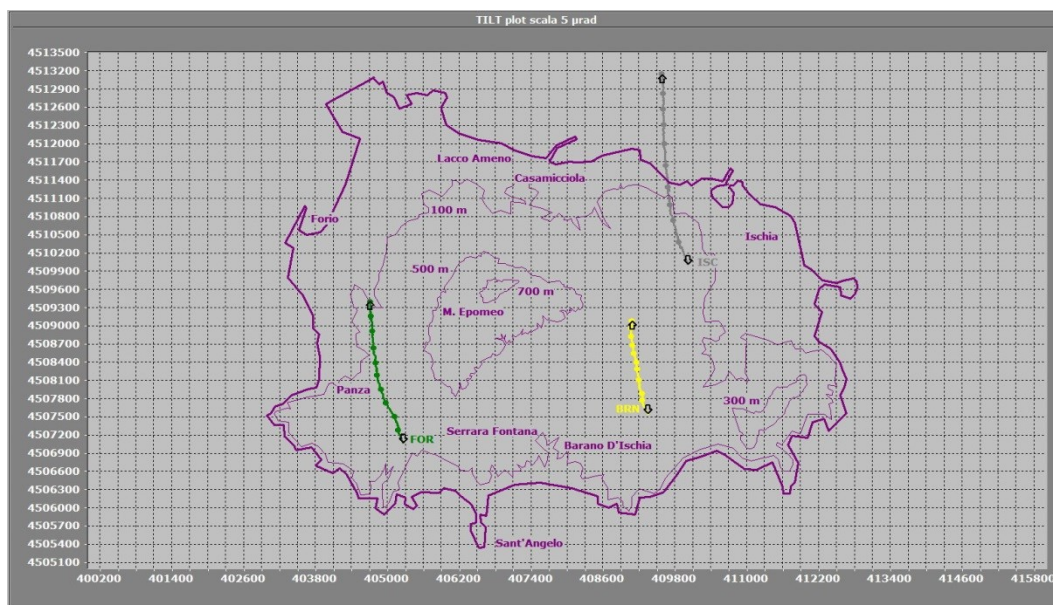


Figura 3.2.5 - Odografo del tilting registrato alle stazioni di Ischia nel periodo gennaio – ottobre 2016.

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.

La deformazione del suolo che interessa l'isola di Ischia mostra un pattern di inclinazione polarizzato in direzione N-NW. Si può notare che, procedendo dal quadrante nord-orientale dell'isola (stazione ISC) verso il settore meridionale (BRN) e poi verso quello sud-occidentale (FOR), la direzione dei vettori tilt resta praticamente costante anche se l'ampiezza del tilt si riduce di circa 1/3 a BRN. Tale comportamento è coerente con il campo di spostamento del suolo misurato negli anni passati (livellazioni effettuate negli ultimi 30 anni) che evidenzia estesi fenomeni deformativi nella zona centro-meridionale (Serrara-Fontana) e nord-occidentale (Fango). Per quando riguarda la stazione ISC, invece, il tilt mostrato non sembra in accordo con i dati di livellazione, anche perché la zona in prossimità più deformata (sempre secondo tali dati) si trova ad oltre 1 km a SE (via Mazzella), ma può essere imputato al condizionamento strutturale delle fratture bordanti Montagnone Alto.

Bibliografia

- Caliro S., Chiodini G., Moretti R., Avino R., Granieri D., Russo M., and Fiebig J. (2007) The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, South Italy). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **71**, 3040-3055. doi:10.1016/j.gca.2007.04.007.
- 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.
- Caliro S., Chiodini G., and Paonita A. (2014) Geochemical evidences of magma dynamics at Campi Flegrei (Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta* **132**, 1-15. doi:10.1016/j.gca.2014.01.021.

- 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.
- Chiodini, G. (2009), CO₂/CH₄ ratio in fumaroles a powerful tool to detect magma degassing episodes at quiescent volcanoes., *Geophys. Res. Lett.*, [doi: 10.1029/2008GL036347](https://doi.org/10.1029/2008GL036347)
- Chiodini, G., S. Caliro, C. Cardellini, D. Granieri, R. Avino, A. Baldini, M. Donnini, and C. Minopoli (2010), Long-term variations of the Campi Flegrei, Italy, volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity, *J. Geophys. Res.*, **115**, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.
- Chiodini, G., R. Avino, S. Caliro, C. Minopoli (2011) Temperature and pressure gas geoindicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei). *Annals Geophysics*, **54**, 2. doi: 10.4401/ag-5002
- Chiodini G., Caliro S., De Martino P., Avino R. and Gherardi F. (2012). Early signals of new volcanic unrest at Campi Flegrei caldera? Insights from geochemical data and physical simulations. *Geology*, doi:10.1130/G33251.1
- Chiodini G., Vandemeulebrouck J., Caliro S, D'Auria L., De Martino P, Mangiacapra A., Petrillo Z. (2015a) Evidence of thermal driven processes triggering the 2005-2014 unrest at Campi Flegrei caldera. *Earth Planet. Sci. Lett.* **414**, 58–67. doi:10.1016/j.epsl.2015.01.012
- Chiodini G., Pappalardo L., Aiuppa A. and Caliro S. (2015b) The geological CO₂ degassing history of a long-lived caldera. *Geology*. doi:10.1130/G36905.1
- D'Amore F. and Panichi C. (1980) Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta* **44**, 549-556.
- Sansivero F., Scarpato G. and G. Vilaro (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.
- Vilaro 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.