



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



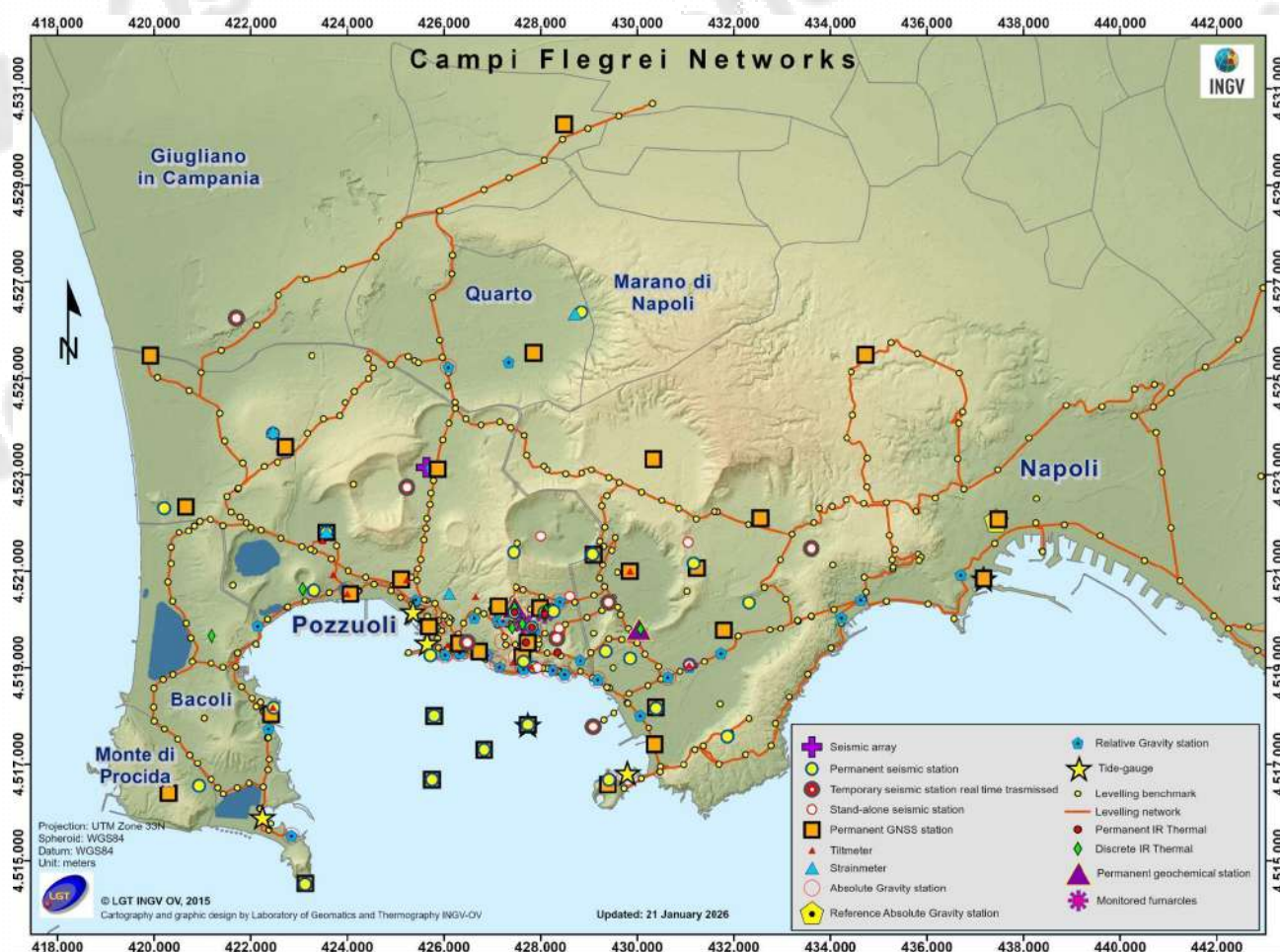
PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Bollettino di Sorveglianza

CAMPI FLEGREI

GIUGNO 2026

A cura della Sezione di Napoli | *OSSERVATORIO VESUVIANO*



1. SISMOLOGIA

La Rete Sismica Permanente dei Campi Flegrei è mostrata in Figura 1.1 ed è costituita da 27 stazioni terrestri e marine, integrata da 7 stazioni della Rete Mobile in trasmissione continua. L'infrastruttura marina permanente di monitoraggio e ricerca multi-parametrica sperimentale che opera nel Golfo di Pozzuoli, denominata MEDUSA (<http://medusa.ingv.it/>), è costituita da 4 boe geodetiche (CFBA, CFBB, CFBC e CFSB) ed altrettanti moduli sottomarini equipaggiati con strumentazione geofisica, oceanografica e multiparametrica. Allo stato attuale, la stazione CFSB non è funzionante.

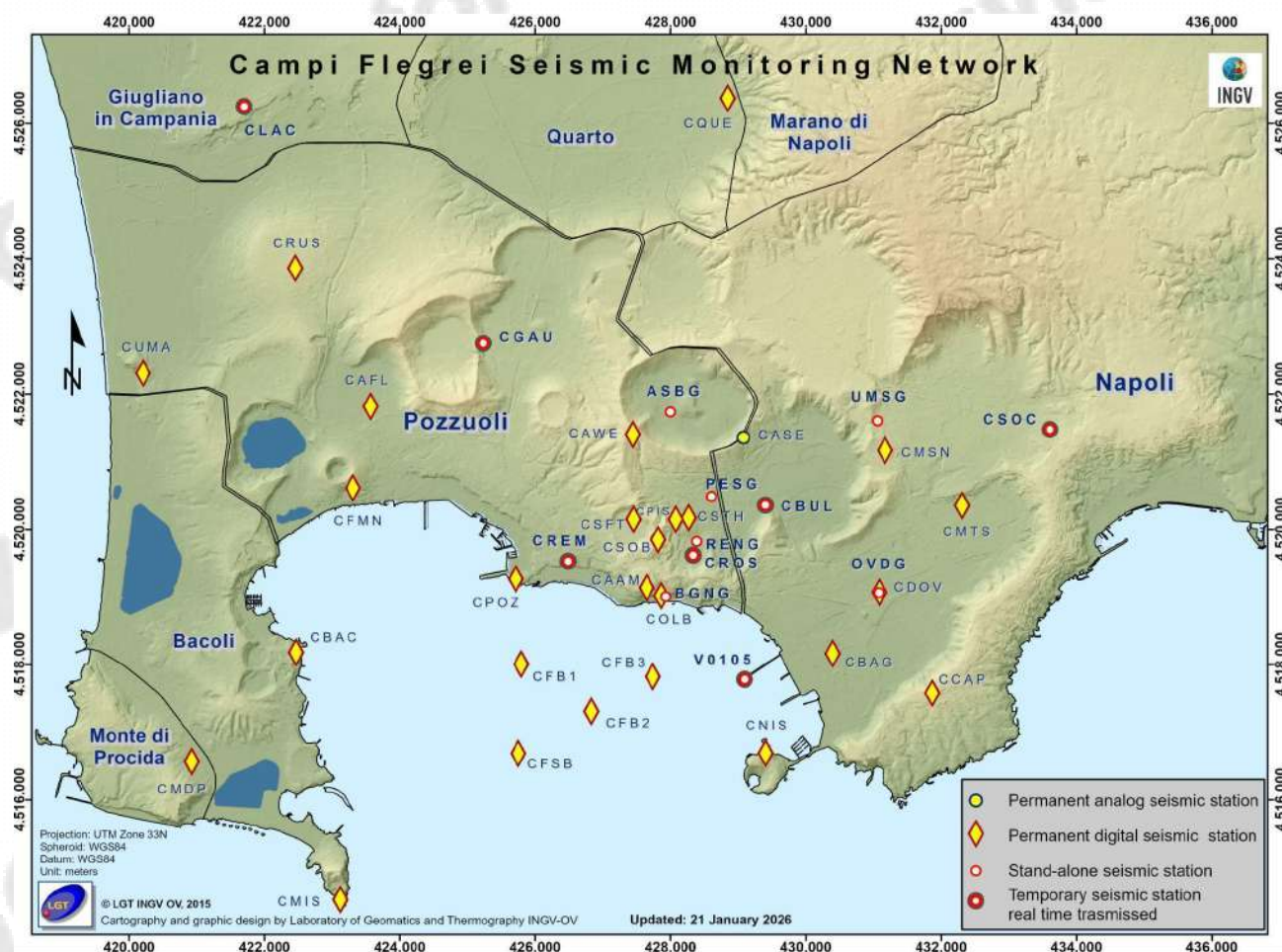


Figura 1.1 - Mappa della Rete Sismica dei Campi Flegrei (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

Nel corso del mese di giugno 2026, ai Campi Flegrei, sono stati registrati 377 terremoti (Fig. 1.2). L'evento più energetico è stato registrato il 26/06/2026 alle ore 02:17 UTC con $M_d=3,6\pm0,3$ (Fig. 1.6).

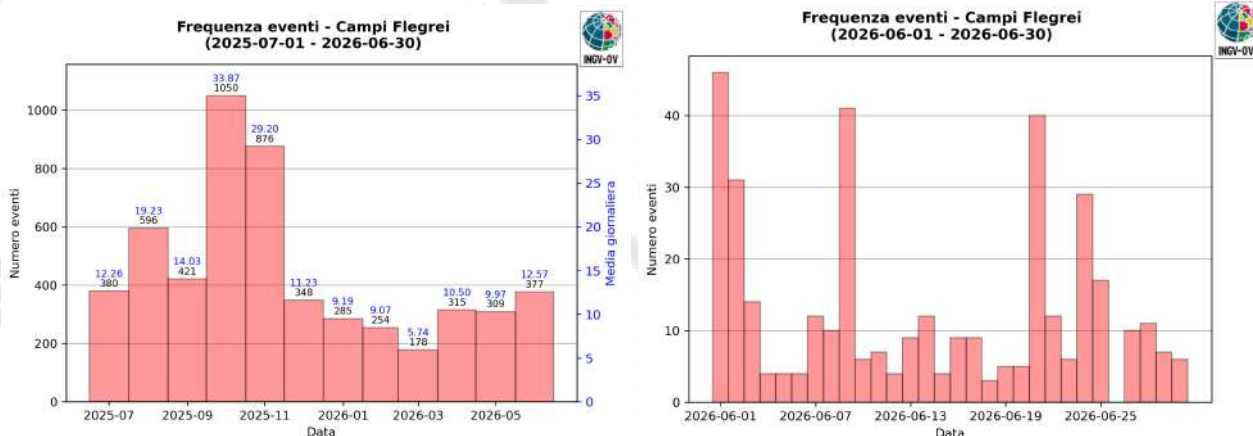


Figura 1.2 - A sinistra numero di eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (in totale 5389), mentre a destra quelli avvenuti nell'ultimo mese (in totale 377).

50 degli eventi registrati ($M_d \geq 0.0 \pm 0.3$) sono avvenuti nel corso di 3 sciami sismici (Tab.1.1)

Tabella 1.1 – Sciami sismici registrati nel corso del mese di giugno 2026

Inizio sciame	Num eventi $M_d \geq 0.0$	M_d max (± 0.3)	Area
2026/06/01 21:55 UTC	22	1.5	Accademia-Agnano
2026/06/09 03:50 UTC	19	1.4	Solfatara
2026/06/24 01:02 UTC	9	3.0	Cigliano-Montenuovo

E' stato possibile determinare i parametri ipocentrali di 253 degli eventi registrati, le cui localizzazioni sono mostrate in rosso in Fig. 1.3.

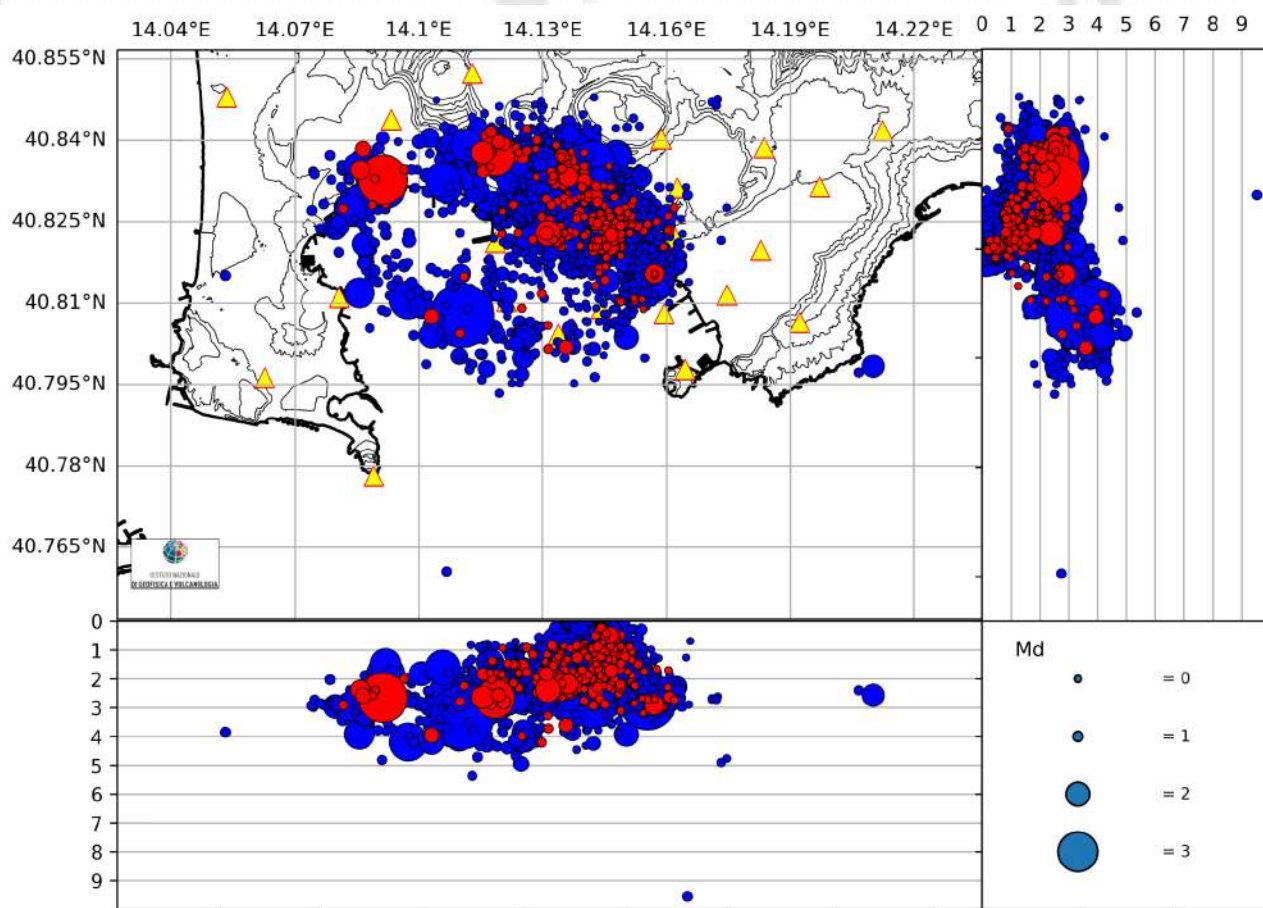


Figura 1.3 - Localizzazioni ipocentrali ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi. La dimensione dei simboli è proporzionale alla magnitudo, come indicato nel riquadro in basso a destra.

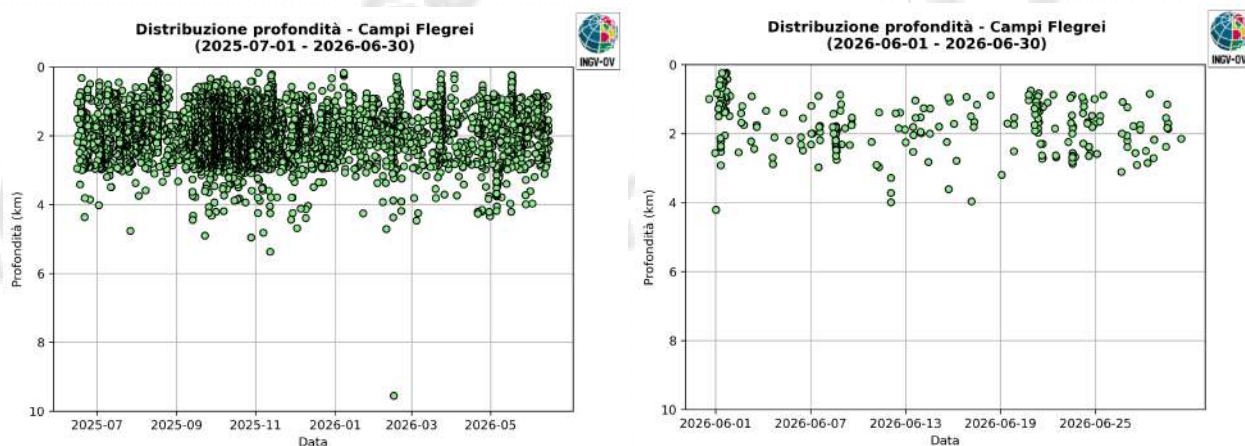


Figura 1.4 - Profondità ipocentrali degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

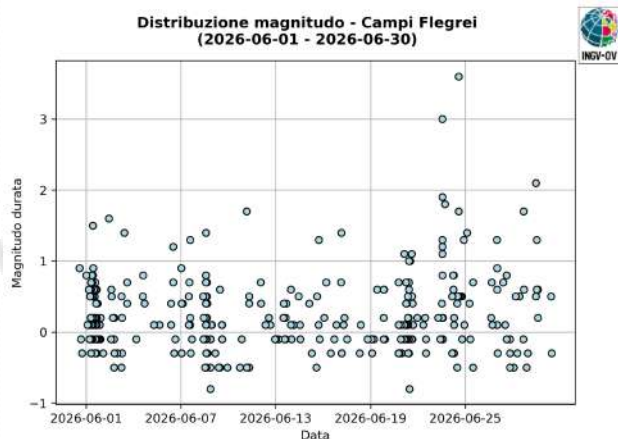
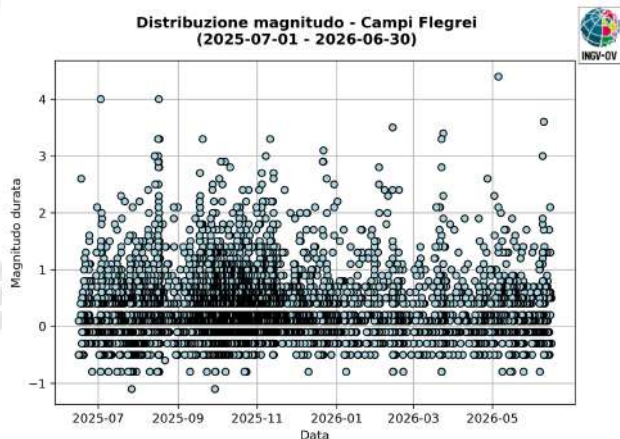


Figura 1.5 - Magnitudo degli eventi registrati ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

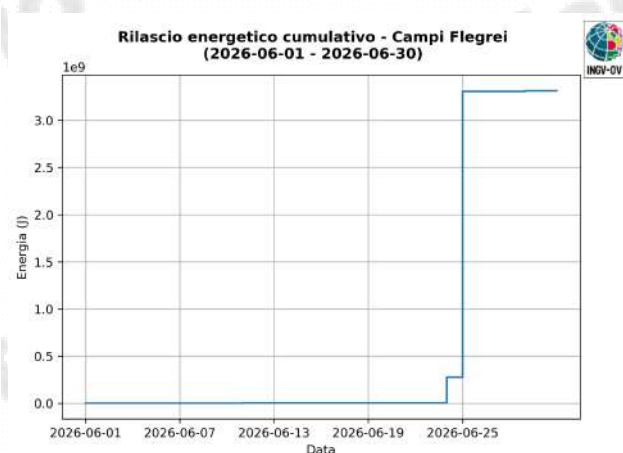
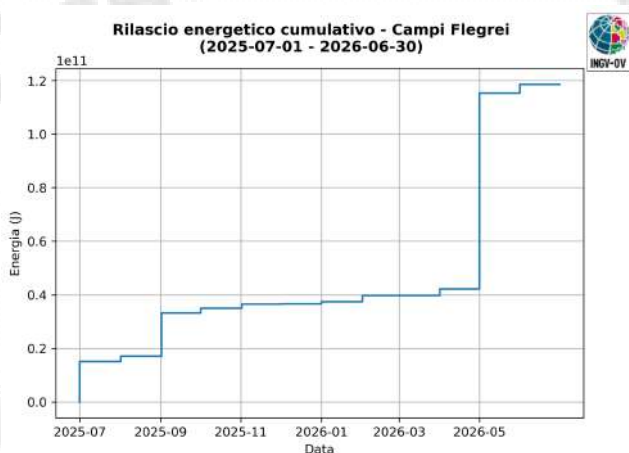
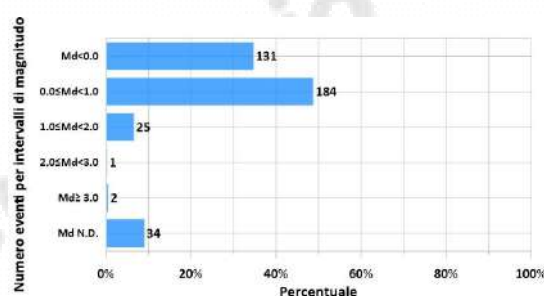


Figura 1.6 - Rilascio cumulativo di energia sismica ai Campi Flegrei nel corso degli ultimi 12 mesi (mensile a sinistra) e dell'ultimo mese (a destra).

In Tabella 1.2 è rappresentato il numero di eventi registrati, divisi per classi di magnitudo, e le relative percentuali.

Tabella 1.2 – Riepilogo mensile della sismicità registrata ai Campi Flegrei divisa per classi di magnitudo e relative percentuali.

Numero totale terremoti 377 $M_{dmax} = 3.6 \pm 0.3$	
Numero terremoti con $M_d < 0.0$	131 (34.75%)
Numero terremoti con $0.0 \leq M_d < 1.0$	184 (48.81%)
Numero terremoti con $1.0 \leq M_d < 2.0$	25 (6.63%)
Numero terremoti con $2.0 \leq M_d < 3.0$	1 (0.27%)
Numero terremoti con $M_d \geq 3.0$	2 (0.53%)
Numero terremoti con M_d N.D.	34 (9.02%)



L'analisi del meccanismo focale dell'evento più energetico del mese di giugno 2026 (25/06/2026 alle 02:17 UTC $M_d=3.6\pm0.3$) mostra una soluzione associabile ad un meccanismo di tipo strike-slip (Fig.1.7).

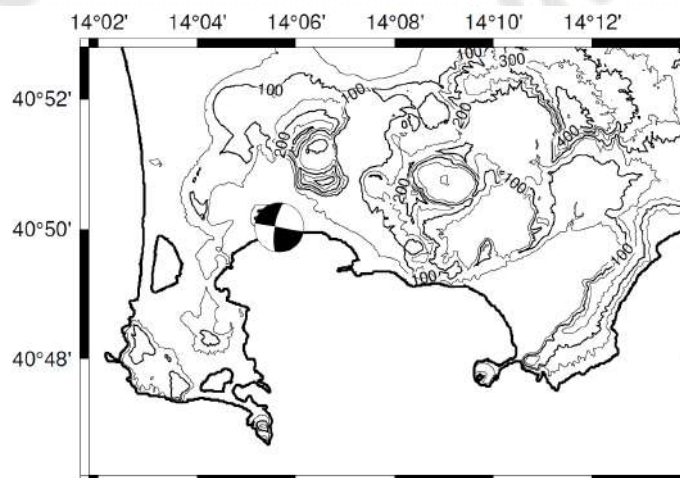


Figura 1.7 - Localizzazioni ipocentrale e meccanismo focale dell'evento del 25/06/2026 alle ore 02:17 UTC di $M_d 3.6\pm0.3$

In Figura 1.8 sono rappresentati gli andamenti dei principali parametri sismologici a partire dal 2005.

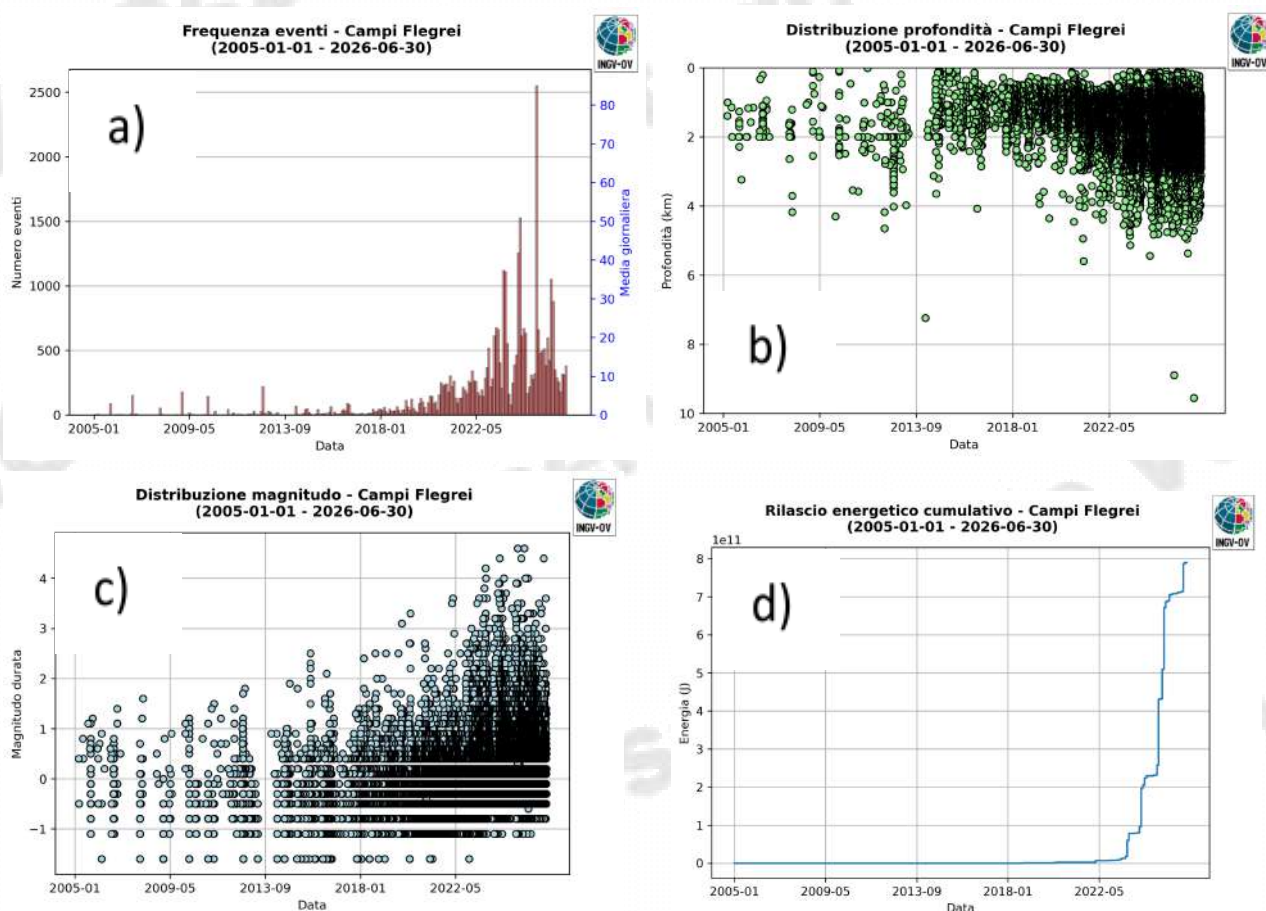
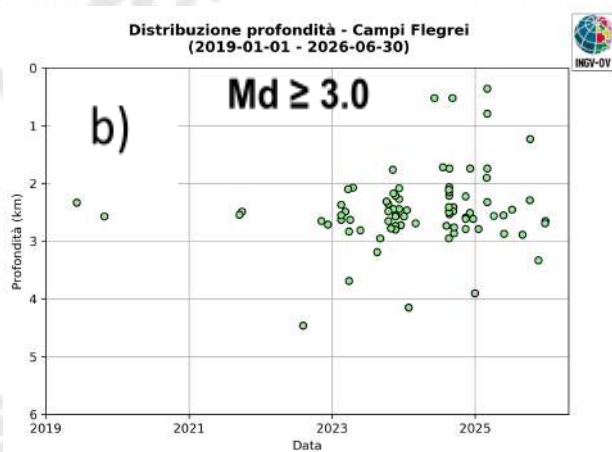
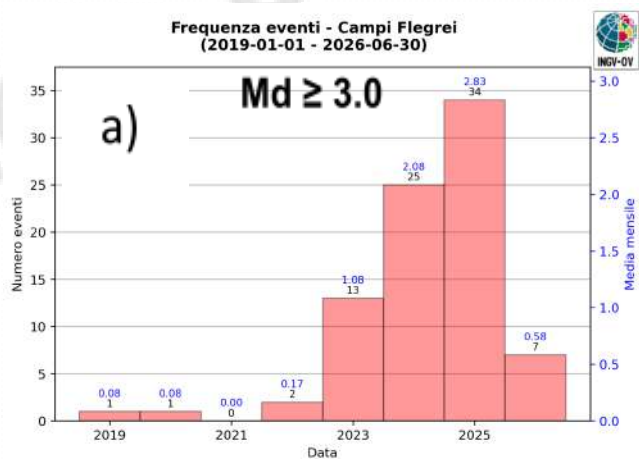
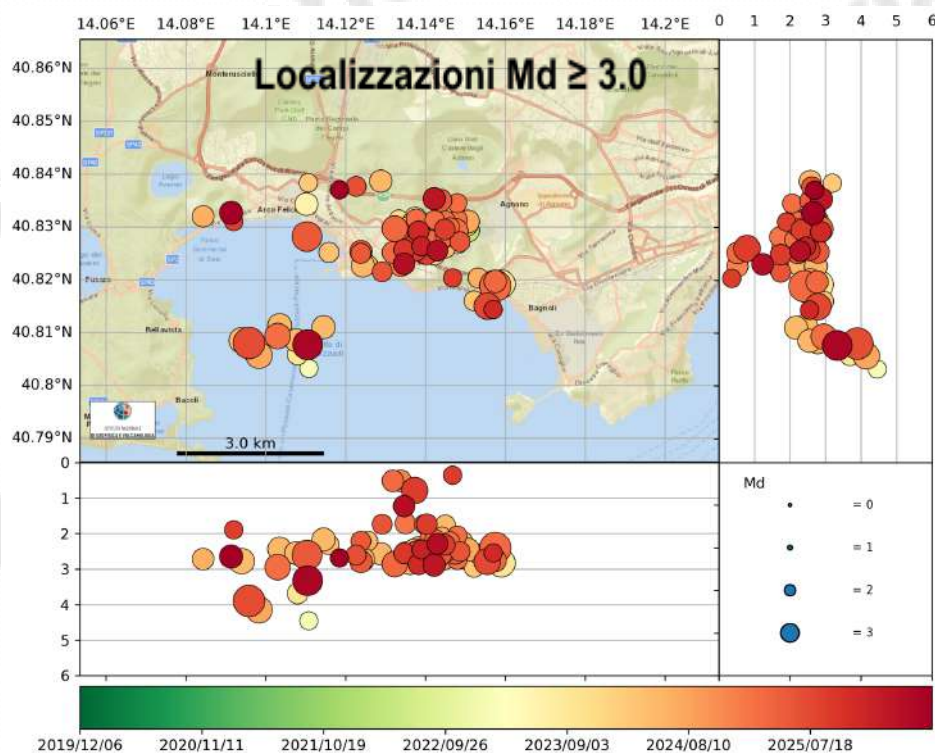


Figura 1.8 - Andamento dei principali parametri sismologici a partire dal 2005: a) frequenza di accadimento mensile; b) profondità ipocentrali; c) magnitudo; d) energia cumulativa.

I dati in Figura 1.8 mostrano, dal 2019, un progressivo intensificarsi della sismicità, sia per numero di eventi che per magnitudo.

In Figura 1.9 sono riportate le localizzazioni ipocentrali e gli andamenti dei principali parametri sismologici relativi ai soli eventi con **Md $\geq$ 3.0** a partire dal 2019, anno in cui si è verificato il primo evento con questa energia (06.12.2019, Md=3.1).



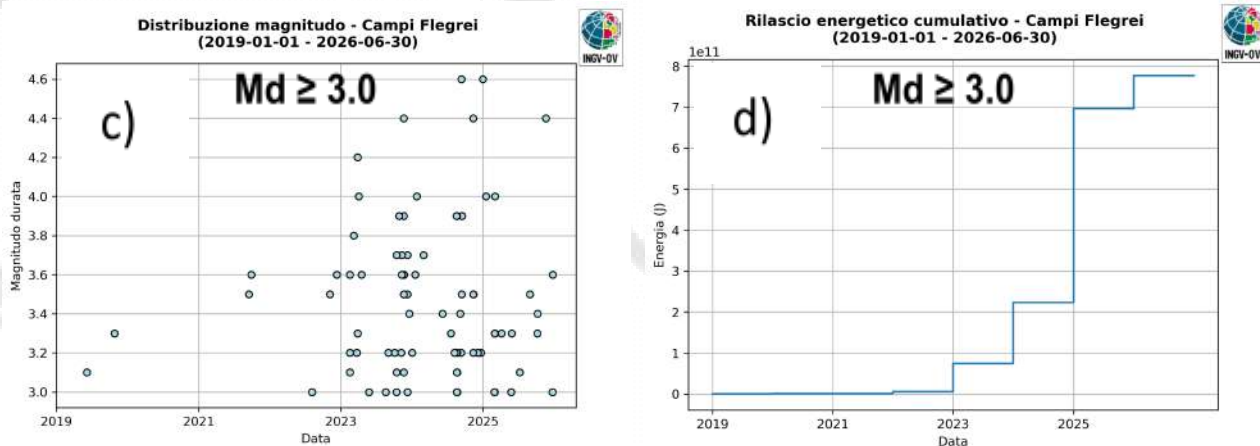


Figura 1.9 - Localizzazioni e andamento dei principali parametri sismologici dei terremoti con $M_d \geq 3.0$ a partire dal 2019: a) frequenza di accadimento; b) profondità ipocentrali; c) magnitudo; d) energia cumulativa.

Nella figura 1.10 è rappresentata la frequenza di accadimento dei terremoti registrati ai Campi Flegrei dal 1983 e la relativa energia cumulativa.

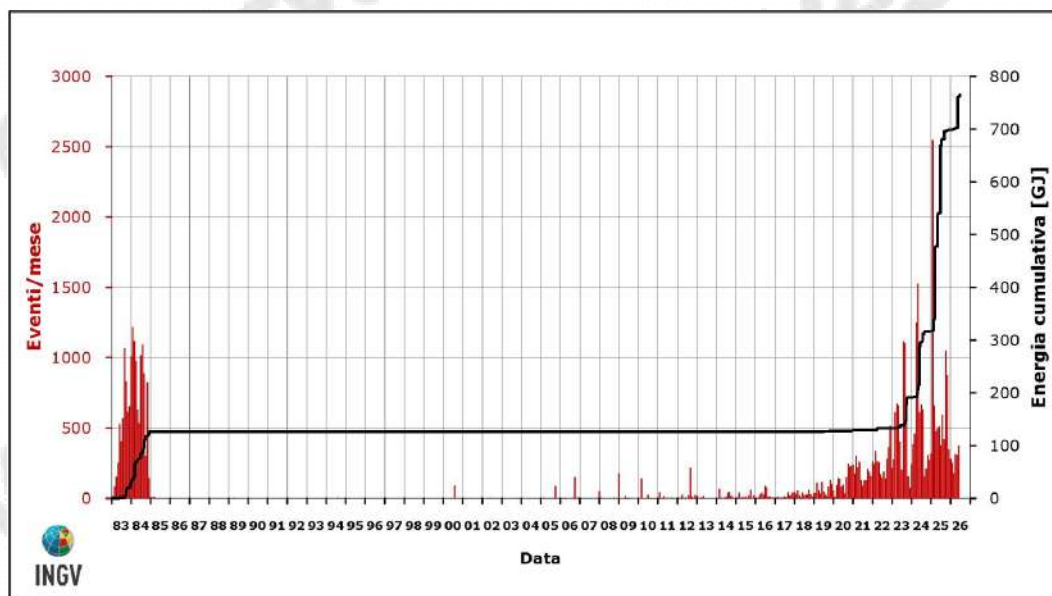


Figura 1.10 – Frequenza di accadimento dei terremoti registrati ai Campi Flegrei dal 1983. La linea nera rappresenta l'energia cumulativa.

2. DEFORMAZIONI DEL SUOLO

2.1 GNSS

La Rete GNSS permanente dei Campi Flegrei (De Martino et al., 2021) è costituita da 39 stazioni terrestri e marine (Figura 2.1.1). La stazione GNSS di SOLO (Solfatara) è stata dismessa in quanto l'edificio sul quale era materializzata (Plesso Scolastico "A. Trincone") è stato demolito. L'infrastruttura marina permanente di monitoraggio e ricerca multi-parametrica sperimentale che opera nel Golfo di Pozzuoli, denominata MEDUSA (<http://medusa.ingv.it/>), è costituita da 4 boe geodetiche (CFBA, CFBB, CFBC e CFSB) ed altrettanti moduli sottomarini equipaggiati con strumentazione geofisica, oceanografica e multiparametrica (Iannaccone et al., 2018; De Martino et al., 2020; Guardato et al., 2022). Allo stato attuale, la stazione CFSB non è in funzione.

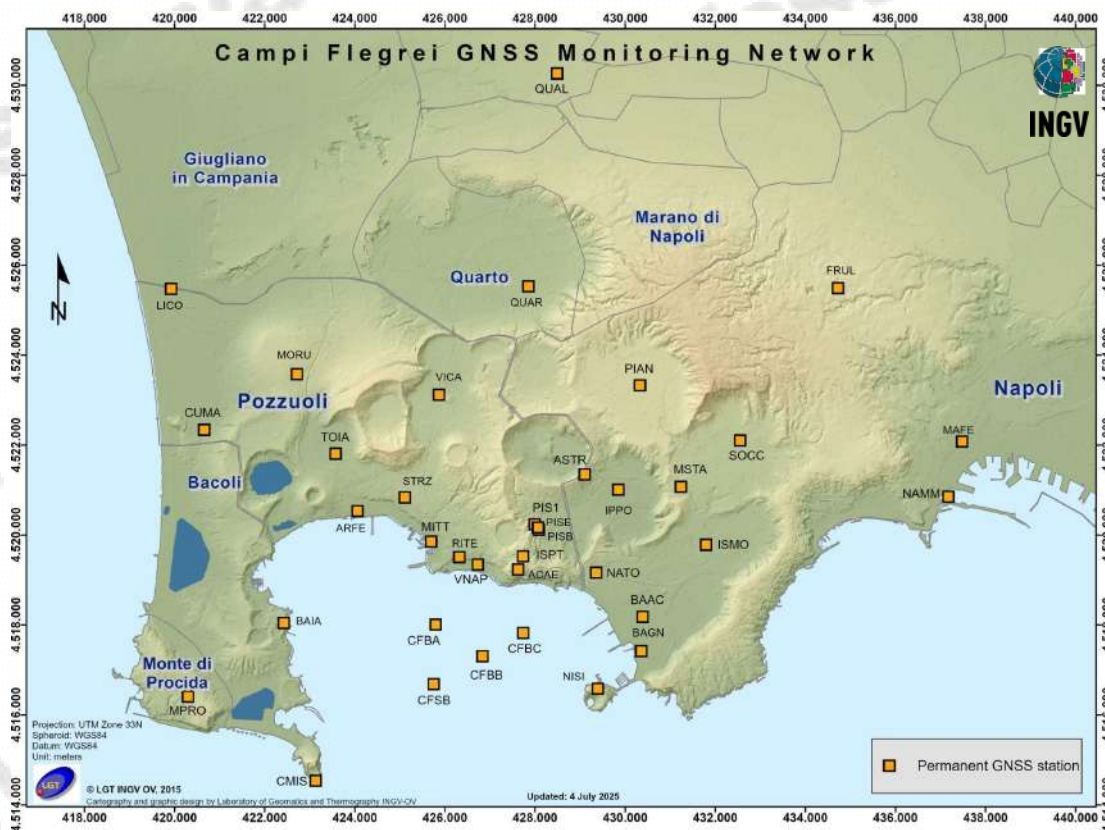


Figura 2.1.1 - Rete GNSS Permanente dei Campi Flegrei (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

Dal 2025 la velocità massima di sollevamento del suolo è stata caratterizzata da variazioni evidenziate nella Figura 2.1.2.

I dati successivi allo sciame sismico del 15-19 febbraio 2025 hanno evidenziato un aumento della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio mensile di circa 30 ± 3 mm/mese (fascia verde in Figura 2.1.2) fino alla fine di marzo.

Dagli inizi di aprile si è continuato a registrare sollevamento del suolo con valore medio mensile di circa 15 ± 3 mm/mese (fascia gialla in Figura 2.1.2). A partire dal 10 ottobre 2025 si è registrato un aumento della velocità di sollevamento del suolo (fascia viola in Figura 2.1.2), con un valore medio mensile di sollevamento di circa 25 ± 3 mm/mese. Dalla metà di dicembre 2025 si è registrata una diminuzione della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio di velocità mensile di circa 15 ± 3 mm/mese (fascia gialla in Figura 2.1.4). Dagli inizi di febbraio 2026 si registra un'ulteriore diminuzione della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio di velocità mensile di circa 10 ± 3 mm/mese (fascia grigia in Figura 2.1.4).

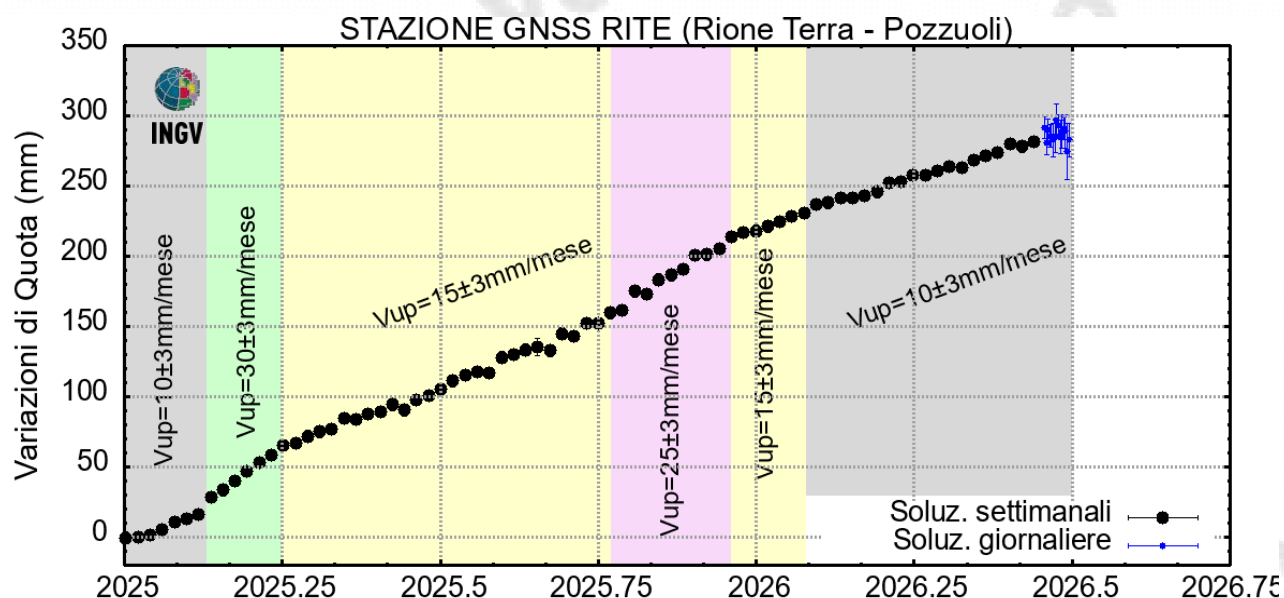


Figura 2.1.2 - Serie temporale delle variazioni in quota della stazione GNSS di RITE dal 01/01/2025 al 30/06/2026. Elaborazione dati in modalità differenziale singola baseline con software GNSS Spider.

La Figura 2.1.3 riporta le serie temporali delle variazioni in quota dal 2025 di alcune stazioni GNSS ubicate nella zona di massima deformazione dei Campi Flegrei.

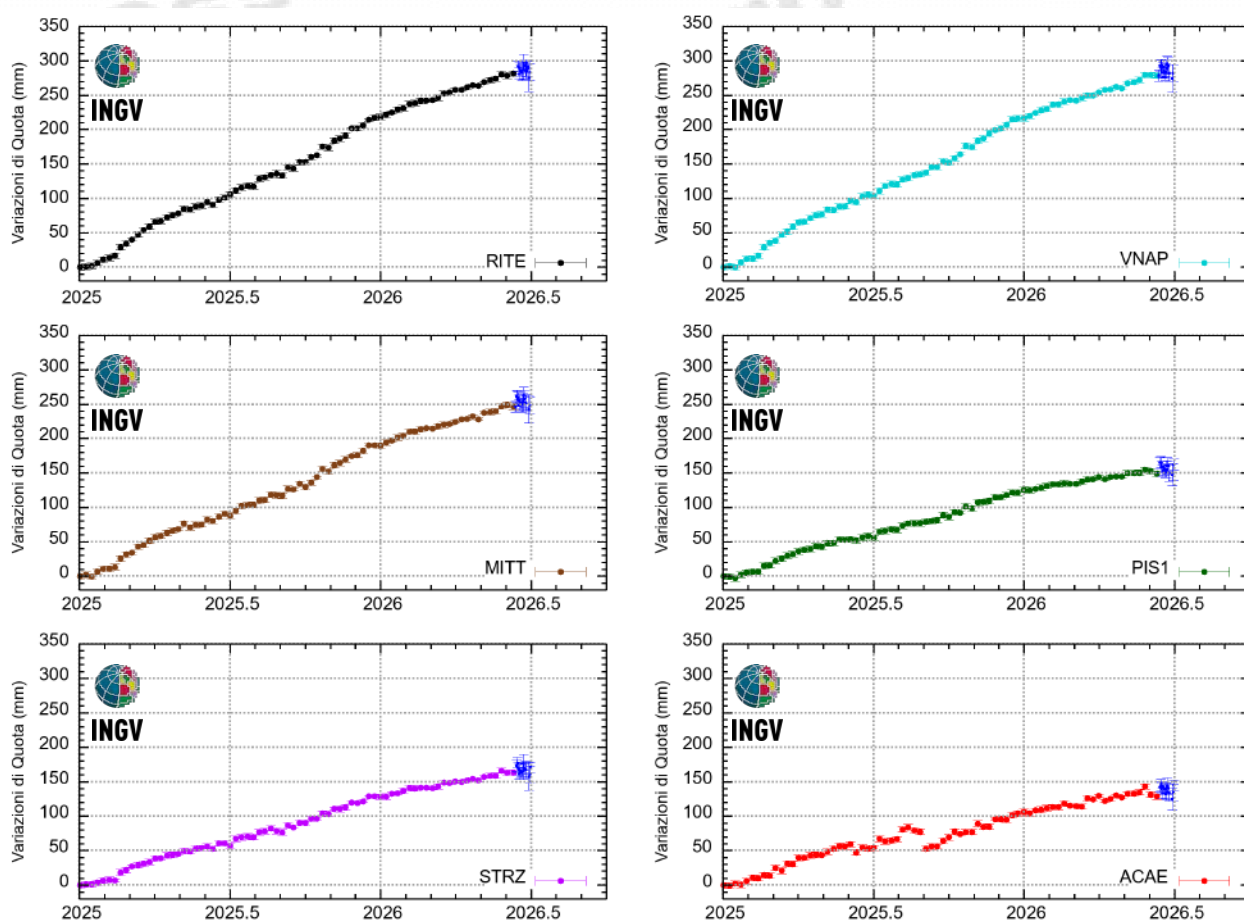


Figura 2.1.3 - Serie temporali delle variazioni in quota delle stazioni di RITE (Pozzuoli - Rione Terra), VNAP (Pozzuoli - Via Napoli), MITT (Pozzuoli - Porto), PIS1 (Pisciarelli), STRZ (Pozzuoli - Cimitero) e ACAE (Accademia Aeronautica) dal 01/01/2025 al 30/06/2026. Elaborazione dati in modalità differenziale singola baseline con software GNSS Spider.

Il sollevamento totale registrato alla stazione GNSS di RITE è di circa 166.5 cm da novembre 2005, inizio dell'attuale fase di *unrest* (Fig. 2.1.4), e di circa 28.5 cm da gennaio 2025 (Figura 2.1.2).

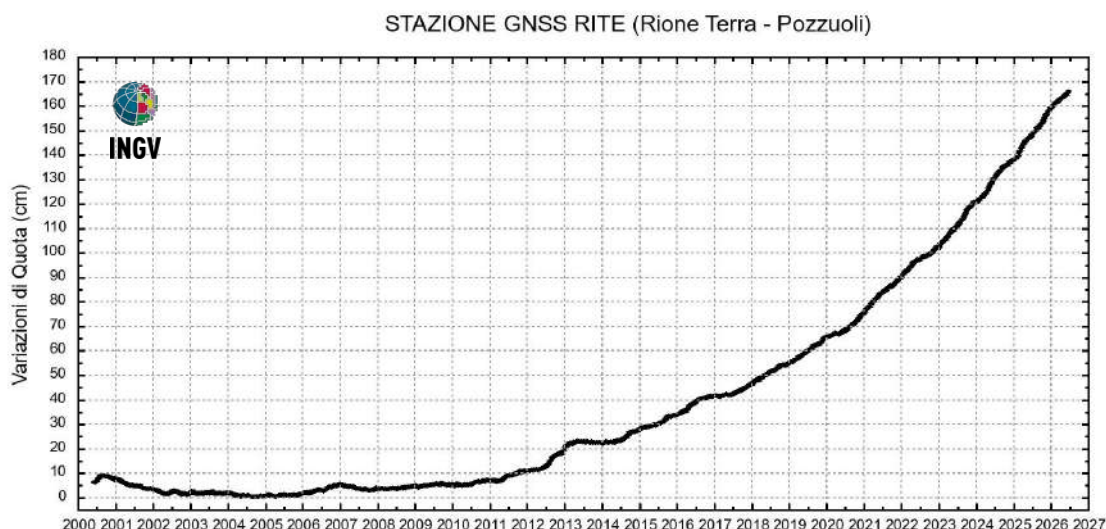


Figura 2.1.4 - Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (Pozzuoli – Rione Terra) dal 2000 a giugno 2026.

In Figura 2.1.5 sono riportate le mappe dei vettori degli spostamenti orizzontali (a) e le isolinee degli spostamenti verticali (b) registrati alle stazioni GNSS ai Campi Flegrei dal 2024.

Si conferma la forma radiale del campo di deformazione con la caratteristica forma a campana, simile a quelle già individuate nelle precedenti fasi del sollevamento (De Martino et al., 2021), e la conseguente stabilità della posizione della sorgente di deformazione localizzata qualche centinaio di metri a sud della stazione RITE.

Permane l'anomalia locale nella zona dei duomi lavici di Accademia - Monte Olibano, già riportata nei precedenti bollettini (si veda anche Giudicepietro et al., 2024).

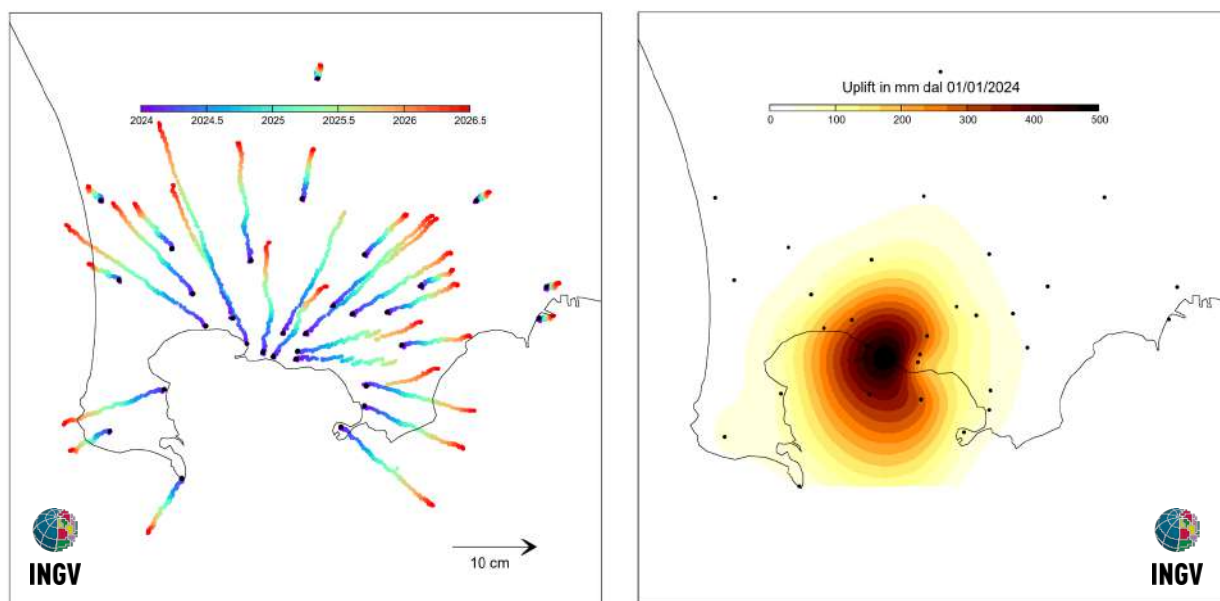


Figura 2.1.5 - Mappa degli spostamenti GNSS orizzontali (a) e verticali (b) registrati nell'area flegrea da gennaio 2024 a giugno 2026.

Le deformazioni verticali del fondale marino della caldera flegrea registrate dall'infrastruttura MEDUSA da gennaio 2024 sono riportate in Figura 2.1.6. Alla stazione CFBA il sollevamento dal 2024 è di circa 36.5 cm.

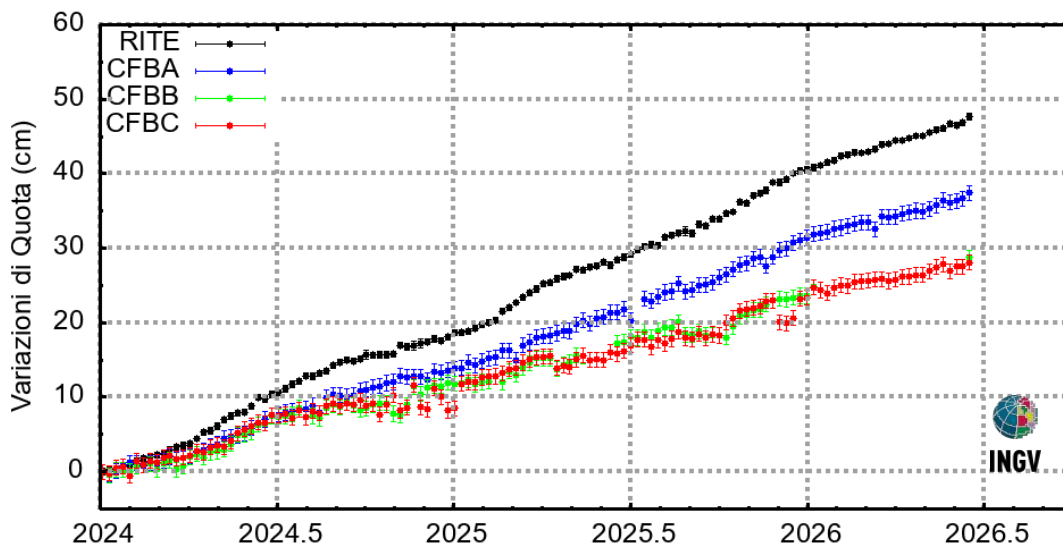


Figura 2.1.6 – Serie temporali delle variazioni settimanali in quota delle stazioni GNSS dell'infrastruttura marina MEDUSA nell'intervallo gennaio 2024 - giugno 2026, confrontate con quella della stazione RITE

2.2 Tiltmetria

La Rete di Monitoraggio delle inclinazioni del suolo dei Campi Flegrei consiste di 12 stazioni di cui 4 equipaggiate con sensori analogici di superficie (BAI, SLF, OLB, CSO), 3 con tiltmetri analogici da pozzo (PSC, ARC, TOI installati da 1 a 7 m di profondità) e 5 con sensori digitali da pozzo (Fig. 2.2.1). Nel mese di maggio 2025 sono state installate 2 nuove stazioni in pozzo a 25 m di profondità (IPA e CSP in Fig. 2.2.1) e si stanno concludendo le operazioni per l'installazione di un'ulteriore stazione (VAP in Fig. 2.2.1).

L'alta risoluzione dei sensori tiltmetrici da pozzo consente di rilevare variazioni di inclinazione del suolo riconducibili sia ad eventi sismici sia a fenomeni locali legati alla migrazione di fluidi in aree ad elevata fratturazione. Tali segnali si sovrappongono alle variazioni generate dal campo di deformazione principale associato all'uplift in corso nella caldera flegrea (Falanga et al., 2023).

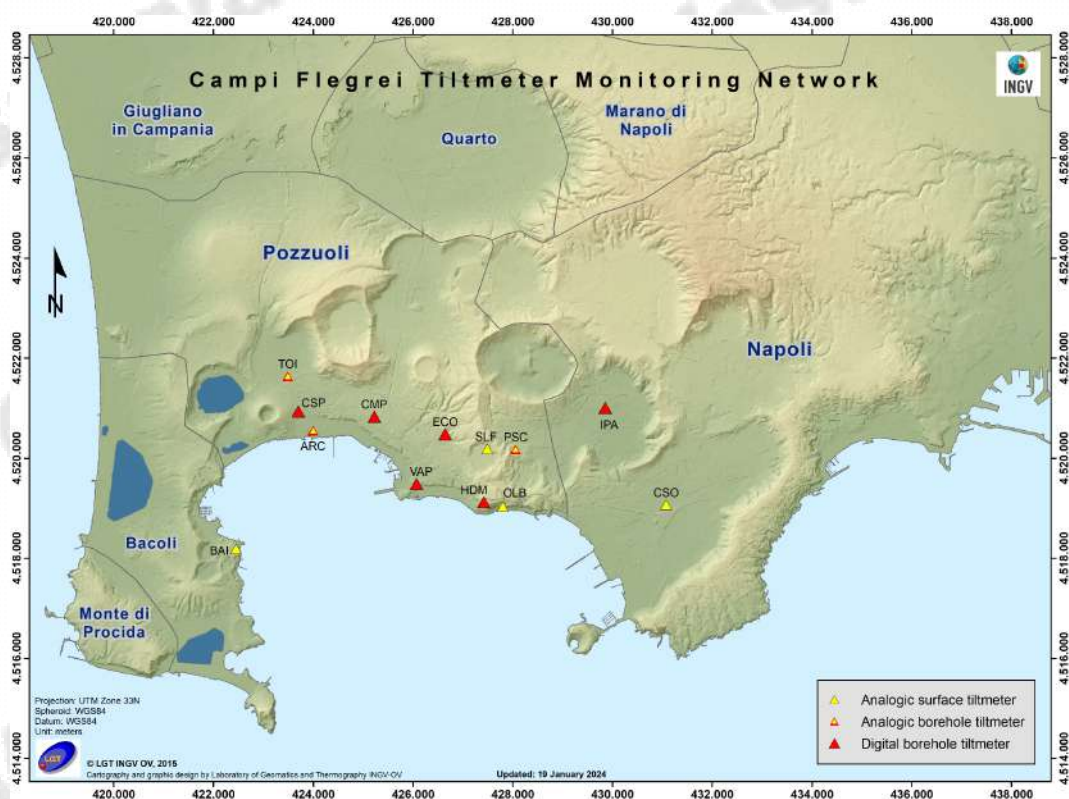


Figura 2.2.1 – Rete Tiltmetrica dei Campi Flegrei (DOI: 10.5281/zenodo.5886962).

Di seguito sono rappresentate le serie temporali e il plot (ultimi 12 mesi) del tilt delle stazioni digitali da pozzo (HDM, ECO e CMP). I segnali nei grafici sono filtrati dalle componenti mareali diurna e semidiurna. In particolare nei diagrammi sono riportati :

- Componente NS (valori di tilt crescenti nel tempo indicano la variazione di inclinazione del suolo a N)
- Componente EW (valori di tilt crescenti nel tempo indicano la variazione di inclinazione del suolo a E)
- Rappresentazione del vettore inclinazione nel tempo

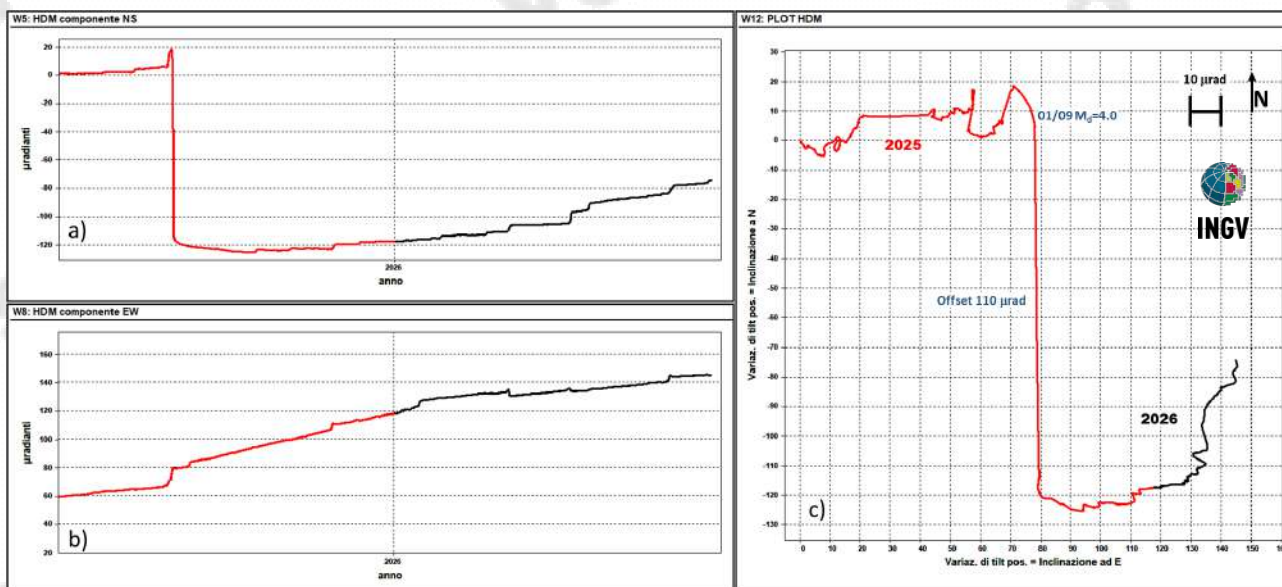


Figura 2.2.2 – Serie temporali e plot (ultimi 12 mesi) del tilt della stazione HDM della rete dei Campi Flegrei.

I segnali registrati alla stazione HDM (Fig. 2.2.2) mostrano una dinamica associata alla deformazione radiale correlata alla fase di uplift dell'area flegrea, sulla quale si sovrappongono effetti locali legati alla dinamica dell'area di Solfatara-Pisciarelli e del duomo lavico dell'Accademia-Monte Olibano. Inoltre sono stati registrati numerosi offset in corrispondenza degli eventi sismici più energetici localizzati nell'area. L'evento di $M_d=4.0$ del 01/09 ha generato un offset cosismico totale di 110 μrad in direzione Sud, coerente con la direzione degli spostamenti registrati alla vicina stazione GNSS di ACAE (Accademia Aeronautica). Successivamente, si è osservata una ripresa dell'inclinazione a NE. Negli ultimi mesi il vettore mostra una prevalente direzione di inclinazione a NNE

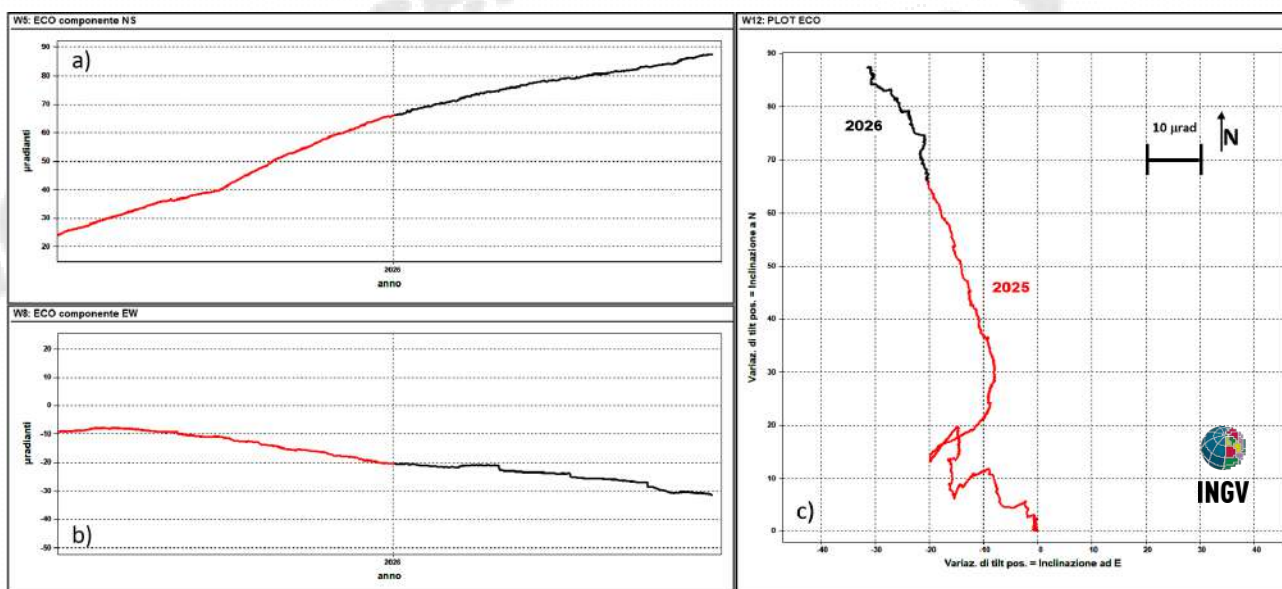


Figura 2.2.3 – Serie temporali e plot (ultimi 12 mesi) del tilt della stazione ECO della rete dei Campi Flegrei.

I segnali registrati alla stazione ECO (Figura 2.2.3) mostrano una prevalente inclinazione del suolo in direzione NNW, con diversi offset in direzione SW in corrispondenza degli eventi sismici più energetici. Successivamente all'evento sismico del 13 maggio 2025 ($M_d=4.4$), che ha generato

un'ulteriore offset di circa $8 \mu\text{rad}$ a SW, l'inclinazione della stazione ha mostrato un andamento prevalente verso NE. Da agosto 2025 l'inclinazione del suolo ha ripreso la direzione NNW. In occasione degli eventi sismici più energetici del 2026 si registrano piccoli offset cosismici in direzione W.

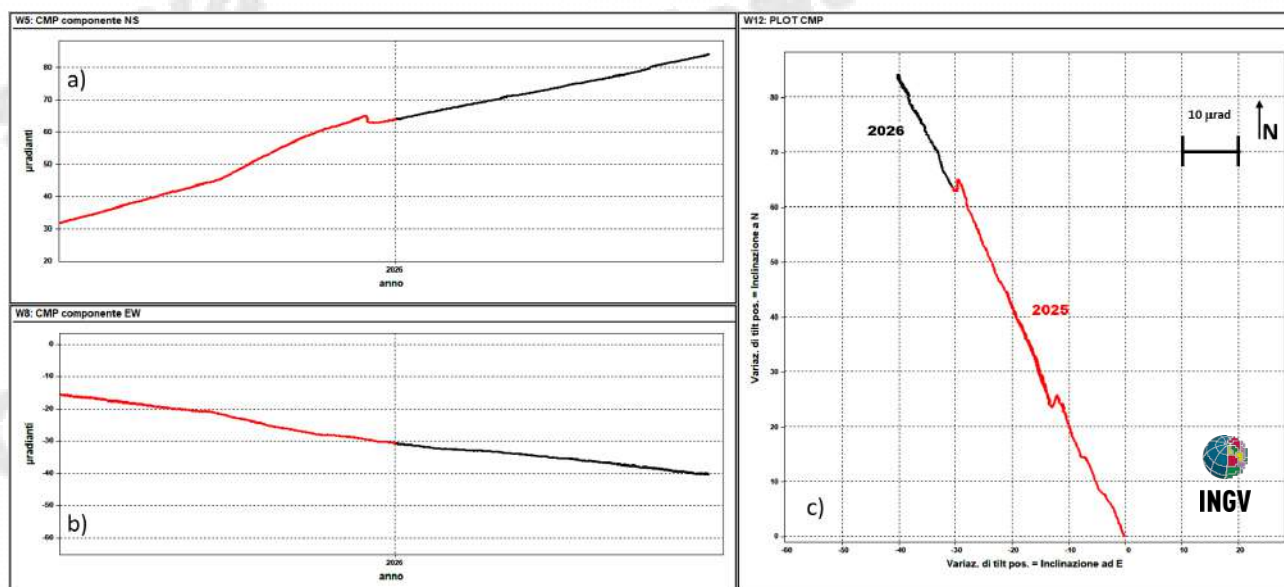


Figura 2.2.4 – Serie temporali e plot (ultimi 12 mesi) del tilt della stazione CMP della rete dei Campi Flegrei.

I segnali registrati alla stazione CMP (Fig. 2.2.4) mostrano, complessivamente, una inclinazione del suolo in direzione NNW seguendo una simmetria radiale correlata all'evoluzione temporale del campo di deformazione generato dalla fase di uplift che interessa l'area flegrea.

2.3 Mareometria

La Rete Mareografica dei Campi Flegrei, riportata in Figura 2.3.1, è costituita da cinque stazioni con strumentazione basata su sistema a shaft encoder e tecnologia radar (stazioni CFB3 e POPT).

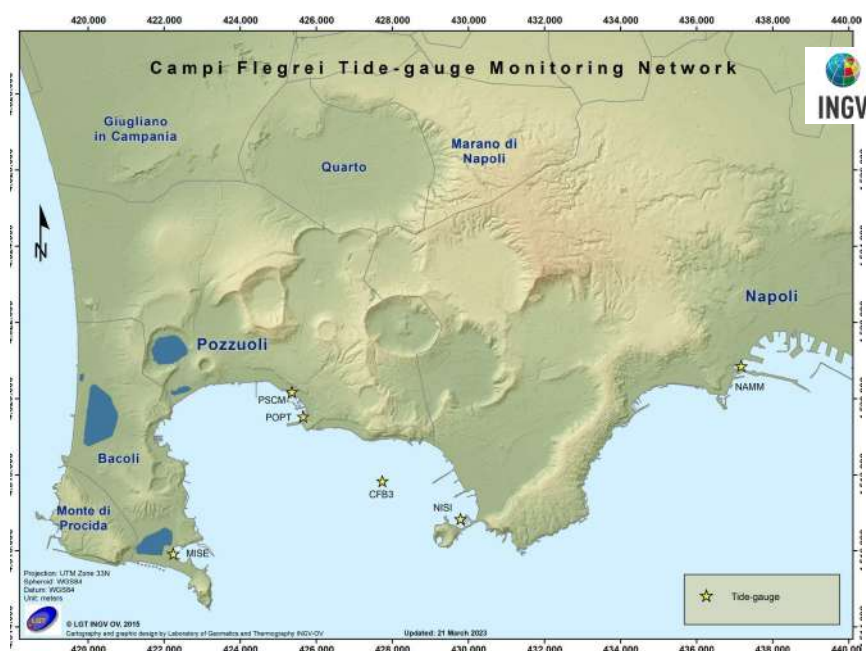


Figura 2.3.1 - Rete Mareografica dei Campi Flegrei.

Nella Figura 2.3.2 sono mostrati i dati mareografici registrati dalla stazione di Pozzuoli Porto (POPT) dai quali si evince un sollevamento dell'area di circa 125.8 cm nel periodo gennaio 2016 – giugno 2026.

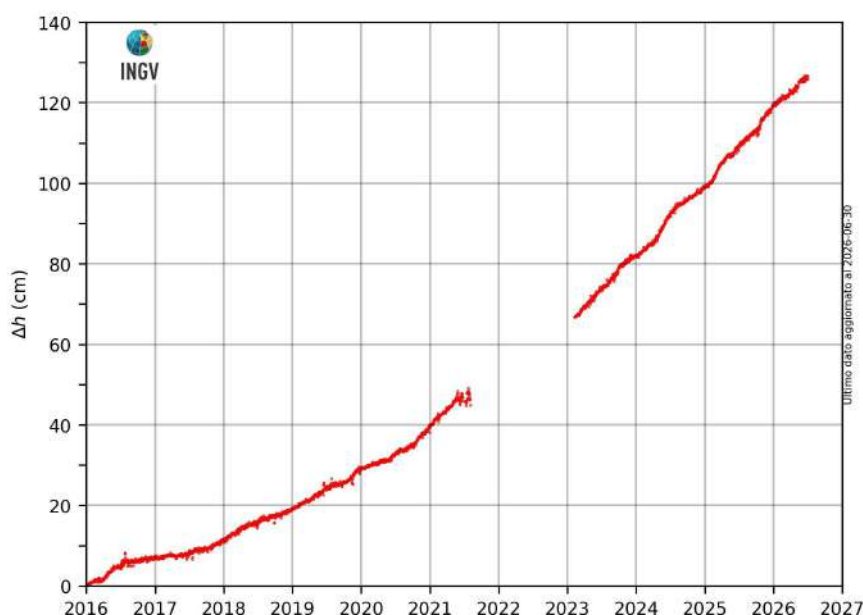


Figura 2.3.2 – Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio 2016 – giugno 2026, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dalla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT), area centrale della caldera Flegrea. Le variazioni, riportate in cm, rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione mareografica di Napoli, molo San Vincenzo (NAMM).

Nella Figura 2.3.3 sono mostrati i dati mareografici registrati dalla stazione di Pozzuoli Porto (POPT) nel periodo gennaio 2006 – giugno 2026.

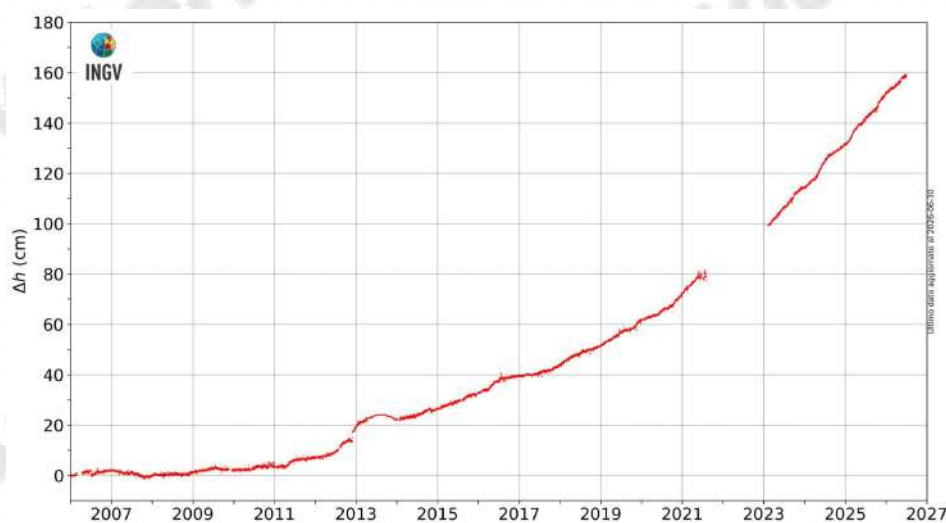


Figura 2.3.3 - Movimenti verticali del suolo nel periodo gennaio 2006 – giugno 2026, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dalla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera Flegrea). Le variazioni, riportate in cm, rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione mareografica di Napoli, molo San Vincenzo (NAMM).

Dal 2006 a oggi, alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto si registra un sollevamento del suolo di circa 158.3 cm.

Nella Figura 2.3.4 sono mostrati i dati registrati da tutte le stazioni mareografiche dell'area dei Campi Flegrei nel periodo gennaio 2006 – giugno 2026.

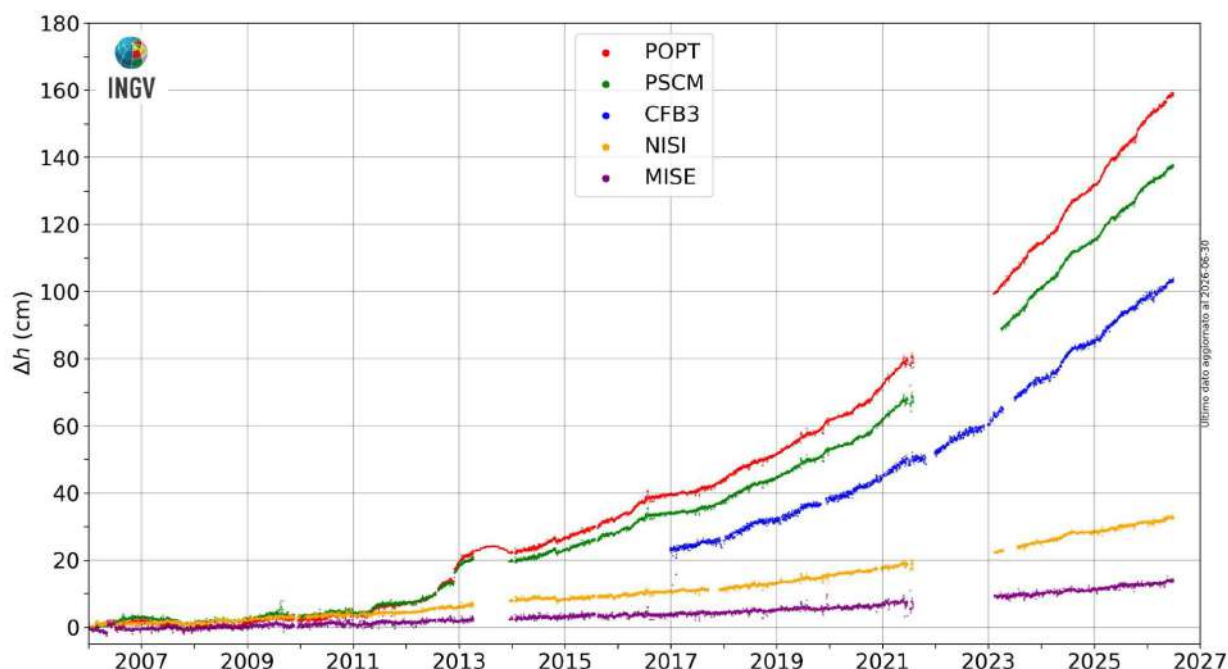


Figura 2.3.4 - Movimenti verticali del suolo nel periodo gennaio 2006 – giugno 2026, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti da tutte le stazioni mareografiche dell'area della caldera Flegrea. Le variazioni, riportate in cm, rappresentano le medie giornaliere e sono tutte riferite alla stazione mareografica di Napoli, molo San Vincenzo (NAMM).

2.4 Gravimetria relativa (misure in continuo)

A partire da gennaio 2023 sono in corso misure gravimetriche in continuo con un gravimetro gPhoneX(#116) installato presso l'Oasi Naturale WWF di Astroni. I dati “raw” acquisiti vengono processati per rimuovere i contributi gravimetrici legati alle maree, gli effetti di tilt, atmosferici e la deriva strumentale (Riccardi et al., 2024). Nella serie raw (Figura 2.4.1a) si osservano gli effetti di alcuni terremoti avvenuti nei Campi Flegrei e associati allo scuotimento sismico dello strumento. Una volta rimossi questi contributi, la serie residua (Figura 2.4.1b), nel periodo 29 Maggio-28 Giugno 2026, mostra limitate variazioni di gravità, comprese nel range dei $\pm 5\mu\text{Gal}$ (Figura 2.4.1b).

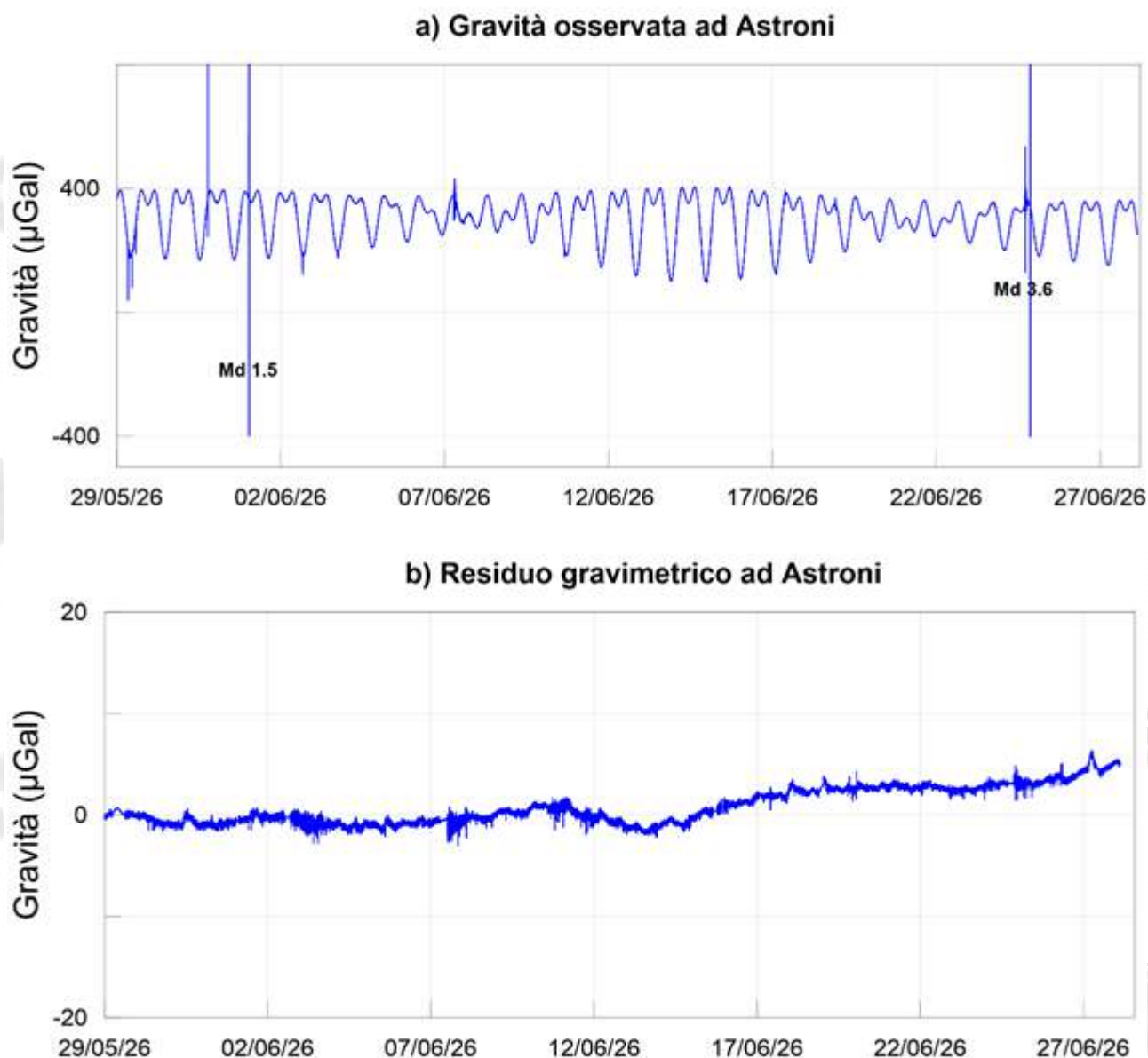


Figura 2.4.1 - a: serie temporale (risoluzione temporale 1 minuto) raw registrata dal gPhone. Si osserva il contributo dominante delle maree. b: serie residua di gravità.

2.5 Dilatometria

La rete dilatometrica installata ai Campi Flegrei consta di 4 siti d'acquisizione (Figura 2.5.1), equipaggiati con dilatometri Sacks-Evertson installati a partire dal 2004 grazie al progetto DINEV (siti Quarto, Monterusciello e Rione Toiano) e VULCAMED (sito Pozzuoli), in collaborazione con il gruppo di ricerca della Carnegie Institution of Washington DC (USA). Nel mese di maggio è stato ripristinato il funzionamento del dilatometro sito a Monterusciello (MRUS in figura 2.5.1), tramite l'utilizzo di una sistema combinato SOC-box + Affinity datalogger. Il dilatometro di Quarto è in acquisizione tramite il proprio datalogger SHOE-box. Gli altri 2 dilatometri saranno ripristinati a breve nell'ambito delle attività di riorganizzazione della rete Dilatometrica.

I dilatometri di Sacks-Evertson hanno precisioni nominali dell'ordine di 10^{-12} , rispetto ad ampi intervalli di frequenze (da 10^{-7} fino a 10^2 Hz), e sono caratterizzati da un'elevata dinamica (140 dB). Tali strumenti sono installati in pozzi di profondità compresa tra 120 e 180 m per minimizzare l'effetto sui segnali acquisiti delle variazioni termiche in superficie e delle attività antropiche. Essi misurano le variazioni del campo di strain locale: il dato così acquisito è espresso come una grandezza adimensionale e rappresenta la variazione relativa della dimensione del volume monitorato.

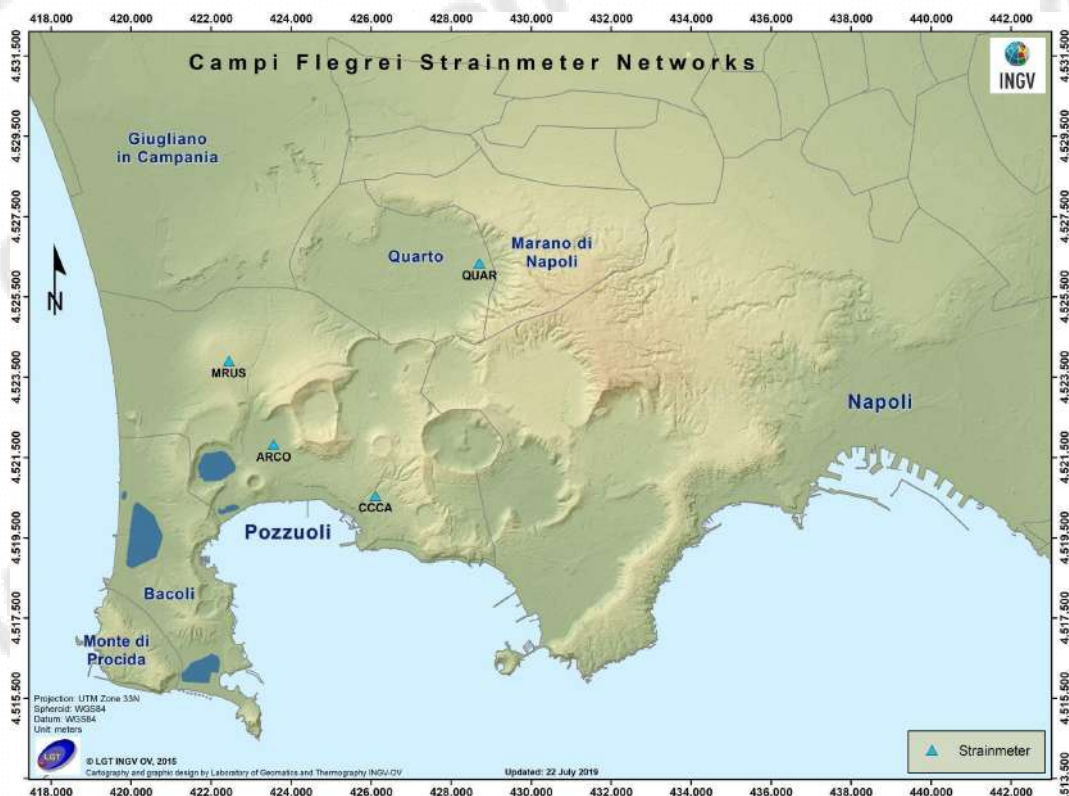


Figura 2.5.1 – Rete Dilatometrica dei Campi Flegrei

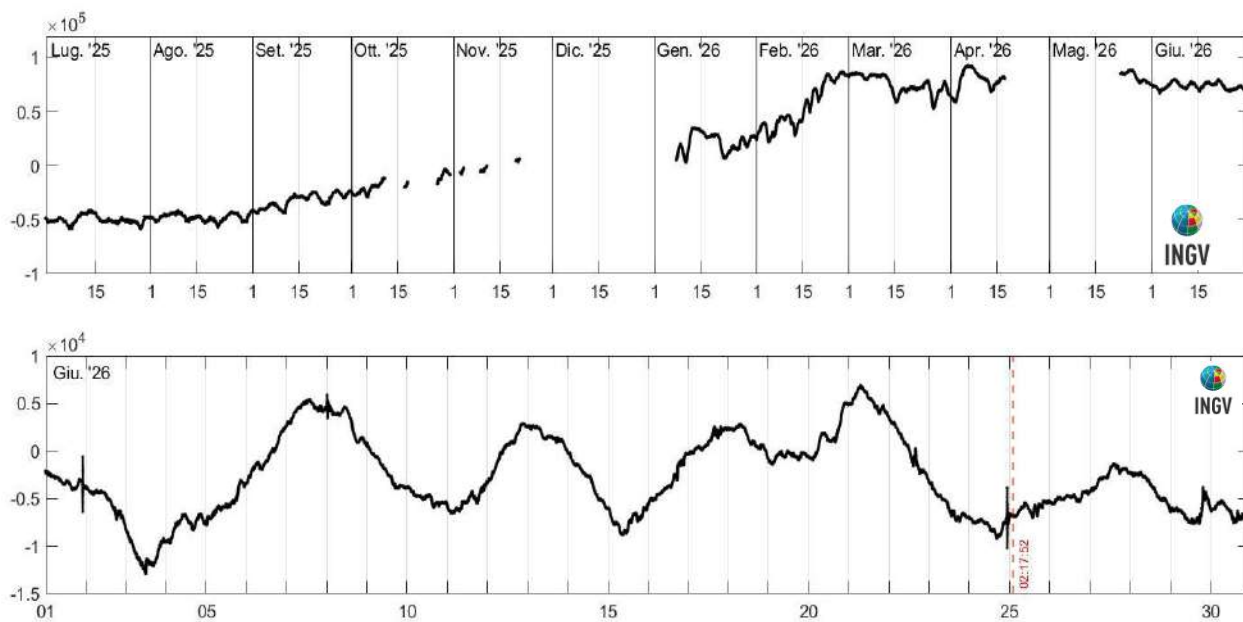


Figura 2.5.2 - Strain registrato dalla stazione dilatometrica di Quarto. In alto è mostrato lo strain registrato nell'ultimo anno, dalle 00:00 UTC del 1/07/2025 alle 24:00 UTC del 30/06/2026. In basso, i dati di strain disponibili nell'ultimo periodo, dalle 00:00 UTC del 01/06/2026 alle 24:00 UTC del 30/06/2026.

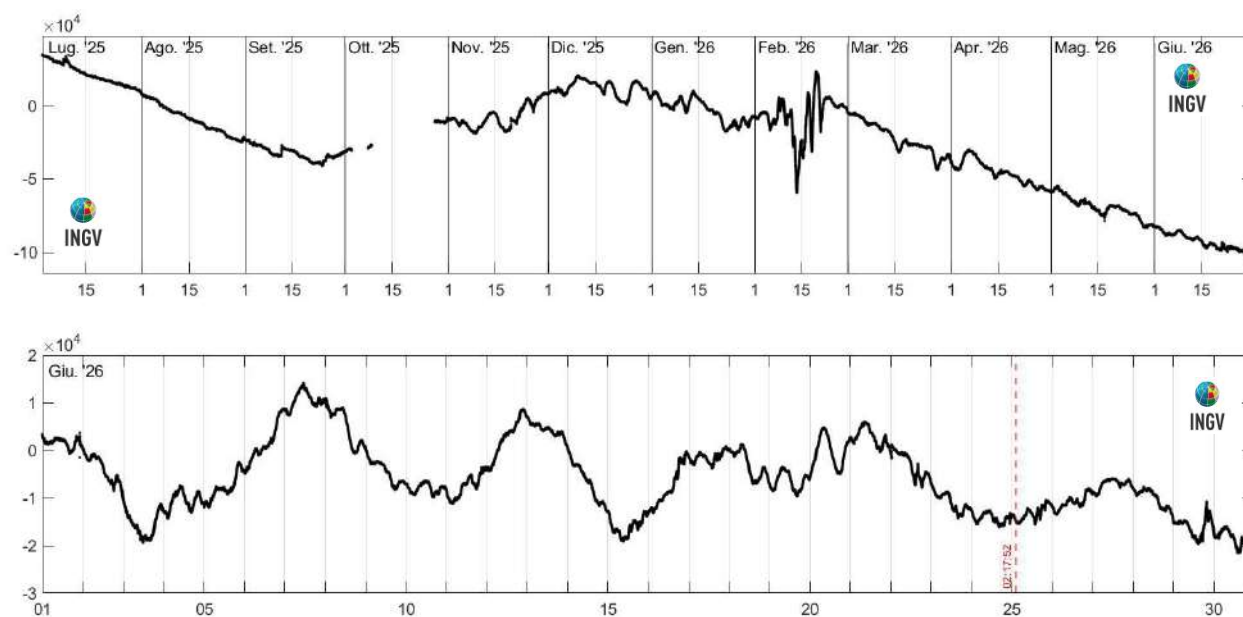


Figura 2.5.3 - In alto: Strain registrato nell'ultimo anno alla stazione di Monterusciello, dalle 00:00 UTC del 01/07/2025 alle 24:00 UTC del giorno 30/06/2026. In basso: Strain registrato nell'ultimo periodo alla stazione di Monterusciello, dalle 00:00 del 1/06/2026 alle 24:00 del 30/06/2026.

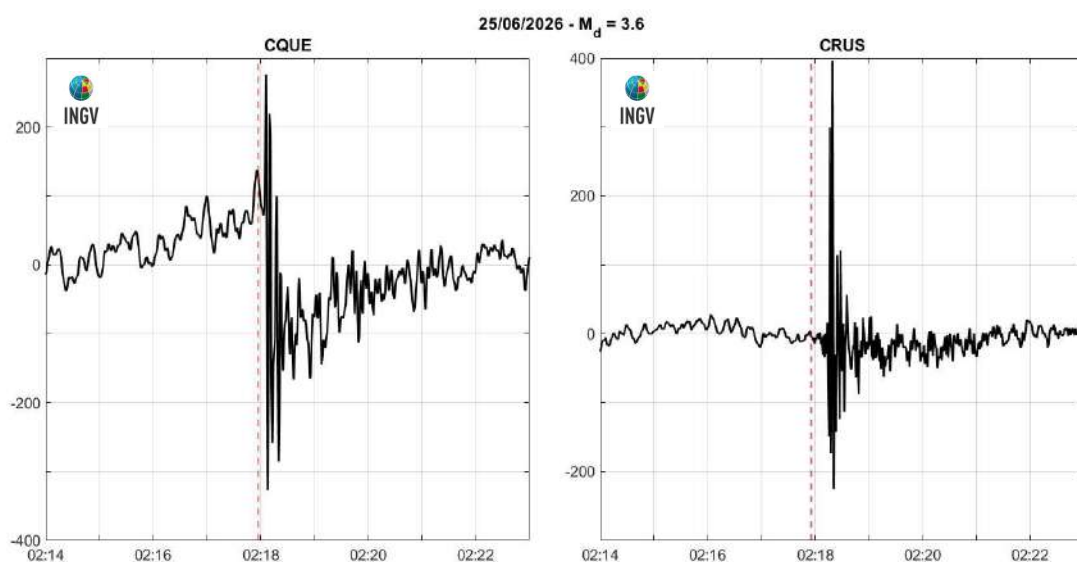


Figura 2.5.4 - Strain registrato dai dilatometri installati a Quarto e Monterusciello in concomitanza dell'evento di $M_d = 3.6$ avvenuto il giorno 25/06/2026.

Nel corso dell'ultimo mese, le stazioni dilatometriche di Quarto e Monterusciello hanno mostrato variazioni cosismiche in concomitanza dell'evento di $M_d = 3.6$ avvenuto durante la giornata del 25/06/2026 (Fig. 2.5.4). Non si registrano ulteriori variazioni significative nel dato dilatometrico.

3. MONITORAGGIO TERMICO AD IMMAGINE

3.1 Rete Permanente Monitoraggio Termico ad Immagine

La stazione SF2 della Rete Permanente di Monitoraggio Termico dei Campi Flegrei (TIRNet) acquisisce immagini notturne all'infrarosso termico con risoluzione 640x480 pixel del settore settentrionale del versante interno del cratere della Solfatara, mentre la stazione PS1 acquisisce immagini della parte alta del versante ad ovest della fumarola principale in località Pisciarelli (Fig. 3.1.1; Sansivero & Vilardo, 2024).

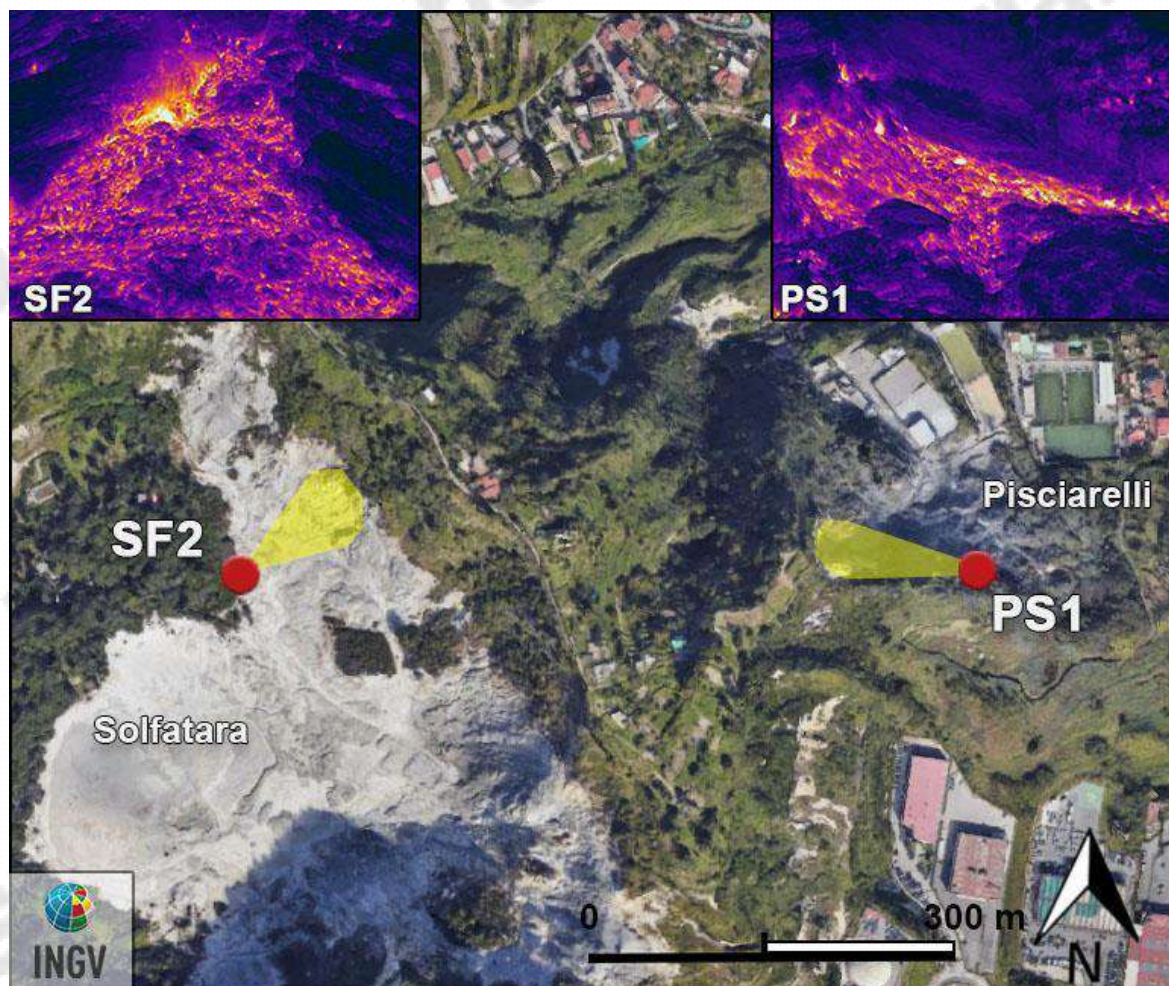


Figura 3.1.1 - Mappa della Rete Permanente di Monitoraggio Termico ad immagine (TIRNet) con l'ubicazione delle stazioni SF2 e PS1. Pallini rossi: indicano i punti di ripresa; aree gialle: indicano schematicamente le aree acquisite.

Le figure seguenti mostrano l'elaborazione delle serie temporali dei valori di temperatura massima delle immagini IR acquisite dalle stazioni SF2 (Fig. 3.1.2) e PS1 (Fig. 3.1.3), processati con metodologia di rimozione della stagionalità basata sull'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition; Sansivero et al., 2025; Sansivero & Vilardo, 2024). I trend a lungo termine sono ottenuti applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate con STL.

I valori di temperatura massima al suolo rilevati dalla **stazione SF2** (Fig. 3.1.2) nel mese di giugno mostrano una sostanziale stabilità accompagnata da alcune oscillazioni. Il trend a lungo termine (in rosso) conferma tale stabilità.

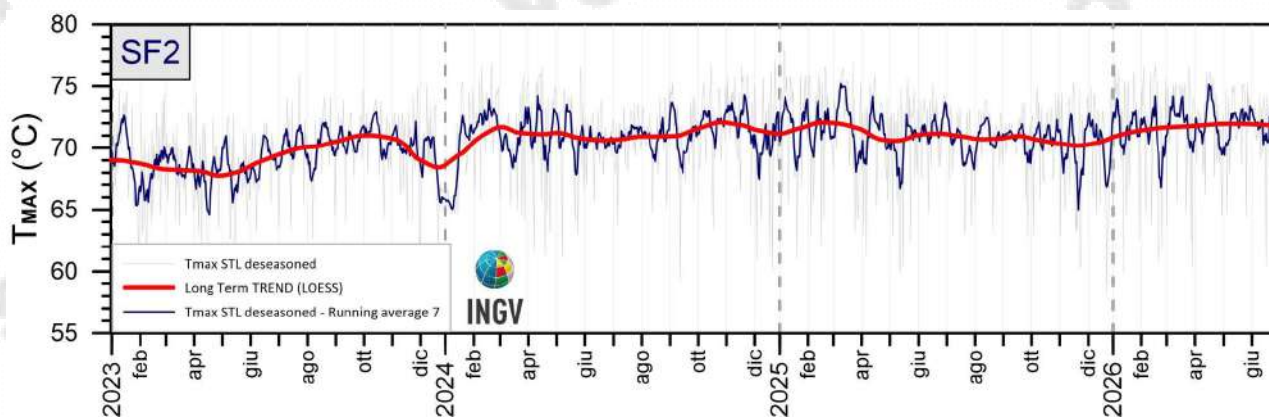


Figura 3.1.2 - Stazione SF2: Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR, destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo STL [medie settimanali (blu); trend a lungo termine (rosso)]. Il trend a lungo termine è ottenuto applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate.

La **stazione PS1** (Fig. 3.1.3) nel corso del mese di giugno 2026 mostra un lieve aumento delle temperature massime superficiali. Il trend a lungo termine, ottenuto con fitting LOESS di 2° (in rosso), conferma l'aumento dei valori di temperatura massima superficiale che ha caratterizzato gli ultimi mesi.

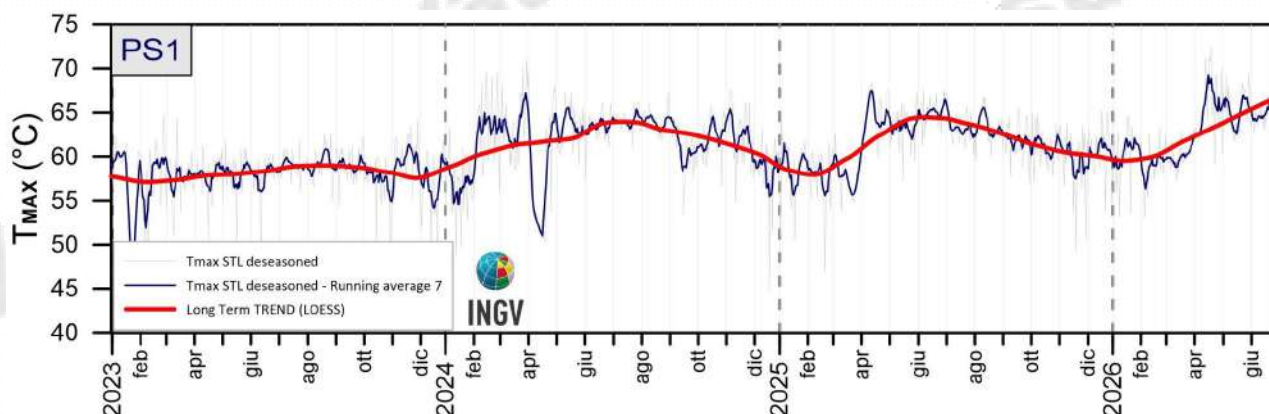


Figura 3.1.3 - Stazione PS1. Serie temporali dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo STL [medie settimanali (blu); trend a lungo termine (rosso)]. Il trend a lungo termine è ottenuto applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate.

Il Trend a lungo termine (ottobre 2007 – giugno 2026) delle temperature massime superficiali rilevate dalle immagini IR acquisite alla **stazione PS1**, ottenuto mediante applicazione dell'algoritmo STL (Fig. 3.1.4), mostra valori sostanzialmente stabili.

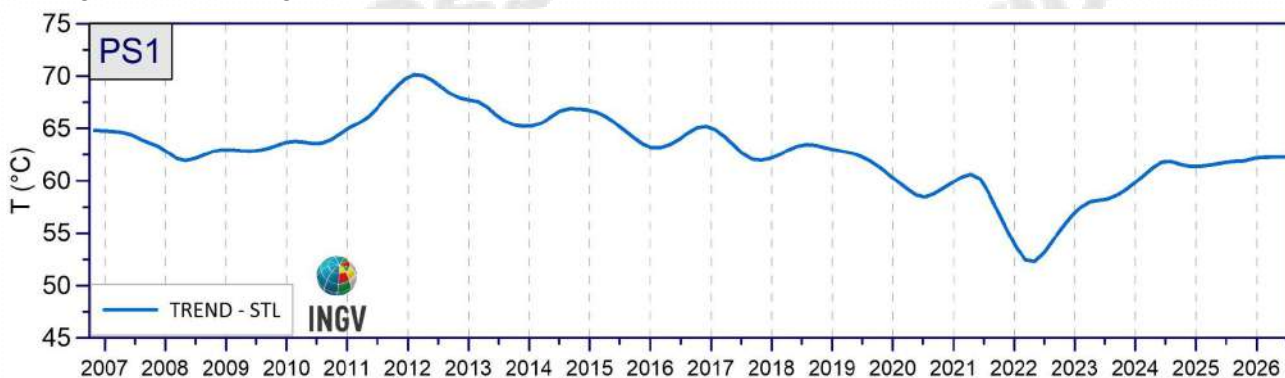


Figura 3.1.4 - Stazione PS1: Trend a lungo termine dei valori di temperatura massima rilevati nelle immagini IR ottenuti mediante applicazione dell'algoritmo STL.

3.2 Monitoraggio Termico con Termocamera Mobile, Termocoppia e Drone

La sorveglianza vulcanica tramite Telecamere Termiche Mobili (TTM) e termocoppie rigide ha come principale obiettivo l'individuazione di eventuali variazioni dei valori di temperatura misurati al suolo in punti discreti e/o di aree a temperatura maggiore in modo da evidenziare eventuali modifiche nella distribuzione areale del campo fumarolico.

I rilievi sono eseguiti mensilmente in condizioni di non irraggiamento solare (essenzialmente di notte), utilizzando una termocamera portatile FLIR SC640 ad alta risoluzione (640 x 480 pixel) e sensibilità ($<0.06 \div +30$ °C). La termocoppia utilizzata è di tipo K, con errore strumentale di circa 0.1°C nell'intervallo -200÷1260 °C. Le misure ottenute con la termocamera sono confrontate, quando possibile, con quelle eseguite con termocoppia rigida.

Da dicembre 2020 si utilizza una nuova termocamera FLIR T1020 con una maggiore risoluzione (1024 x 768 pixel). Quando possibile, contemporaneamente alla FLIR T1020 si continua ad utilizzare anche la FLIR SC640. La doppia misura ha consentito di calibrare i valori rilevati con la nuova termocamera.

Da aprile 2019, in alcuni siti e quando le condizioni lo consentono, contestualmente alla FLIR T1020, le misure di temperatura vengono rilevate anche con l'ausilio di un drone equipaggiato con una termocamera FLIR VUEPRO ad alta risoluzione (640x512 pixel) e precisione ± 5 °C. Da dicembre 2025 si utilizza anche una Zenmuse H30T della DJI a più alta risoluzione (1280x1024 pixel) e sensibilità di 0.05 °C.

Ubicazione dei punti di misura ai Campi Flegrei

Le aree e i punti in cui sono effettuate le misure termiche nella caldera dei Campi Flegrei sono distribuite in varie zone del fondo della caldera (Fig. 3.2.1).

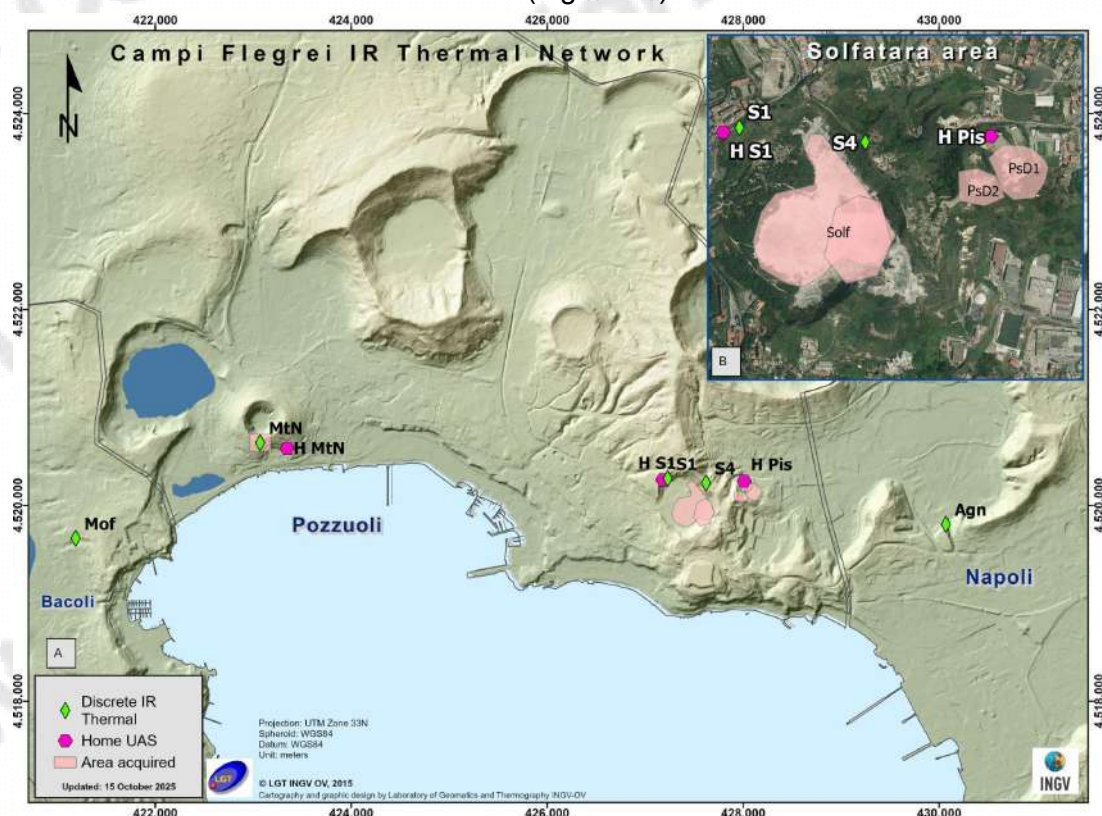


Figura 3.2.1 – Ubicazione dei punti di misura e dei settori indagati ai Campi Flegrei. I rombi verdi indicano i punti stazione in cui sono stati effettuati rilievi termici con termocoppia rigida e telecamera termica. In rosa sono evidenziate le aree riprese da termocamera a mano o da drone, mentre gli esagoni fucsia indicano la Home da cui il drone decolla e atterra. Il riquadro B offre una visione dettagliata dei punti di misura nelle aree de La Solfatara e di Pisciarelli.

Di seguito, i dati e le osservazioni relative al mese in esame per tre siti: Pisciarelli, Solfatara e Monte Nuovo (Fig. 3.2.1).

Pisciarelli

A Pisciarelli l'allargamento dell'area della polla è aumentato al punto da impedire l'accesso a tutti i siti di misura (Fig. 3.2.1B). Di conseguenza, il rispetto delle procedure di sicurezza non ha consentito di effettuare le misure strumentali dirette nell'area più prossima alla polla. Pertanto dal mese di aprile 2019 i rilievi sono effettuati prevalentemente con l'ausilio di un drone.

La fotocomposizione termica, come mostrato nei bollettini dei mesi precedenti, evidenzia due aree con maggiore anomalia termica, denominate PsD1 e PsD2. L'area PsD2 include il versante rilevato dalla telecamera termica fissa TIMNet dell'Osservatorio Vesuviano.

I valori di temperatura massima rilevati non presentano variazioni significative rispetto ai mesi precedenti (Fig. 3.2.2b).

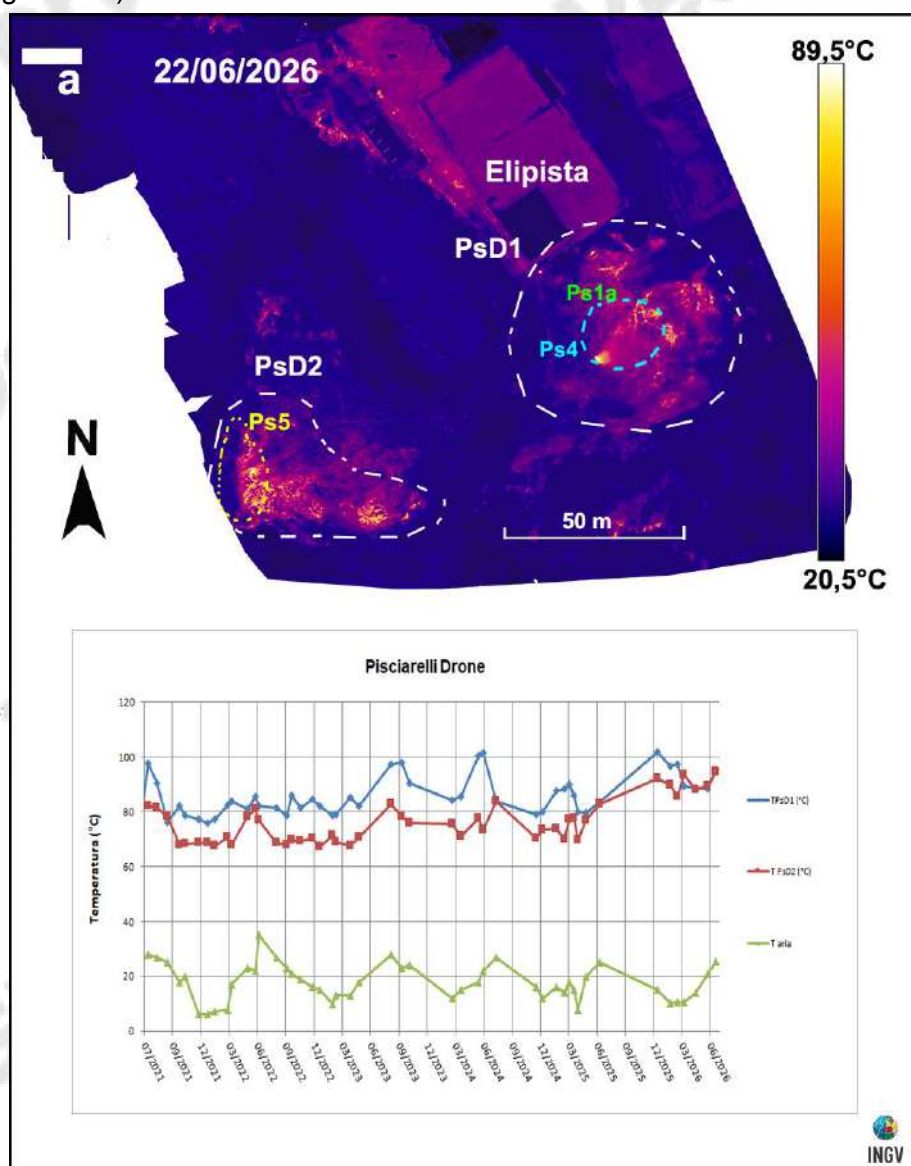


Figura 3.2.2 – Fotocomposizione di immagini termiche rilevate da drone nel mese di maggio 2026 (a) e valori massimi di temperatura (T) delle aree a maggiore anomalia termica (PsD1 e PsD2), confrontati con la temperatura dell'aria misurata nel momento del rilievo termico, da luglio 2021 a giugno 2026 (b).

Monte Nuovo

I valori di temperatura rilevati con telecamera termica e termocoppia rigida, lungo il versante meridionale dell'edificio di Monte Nuovo (MtN, Fig. 3.2.1), sono piuttosto stabili, a meno di variazioni stagionali (Fig. 3.2.3c).

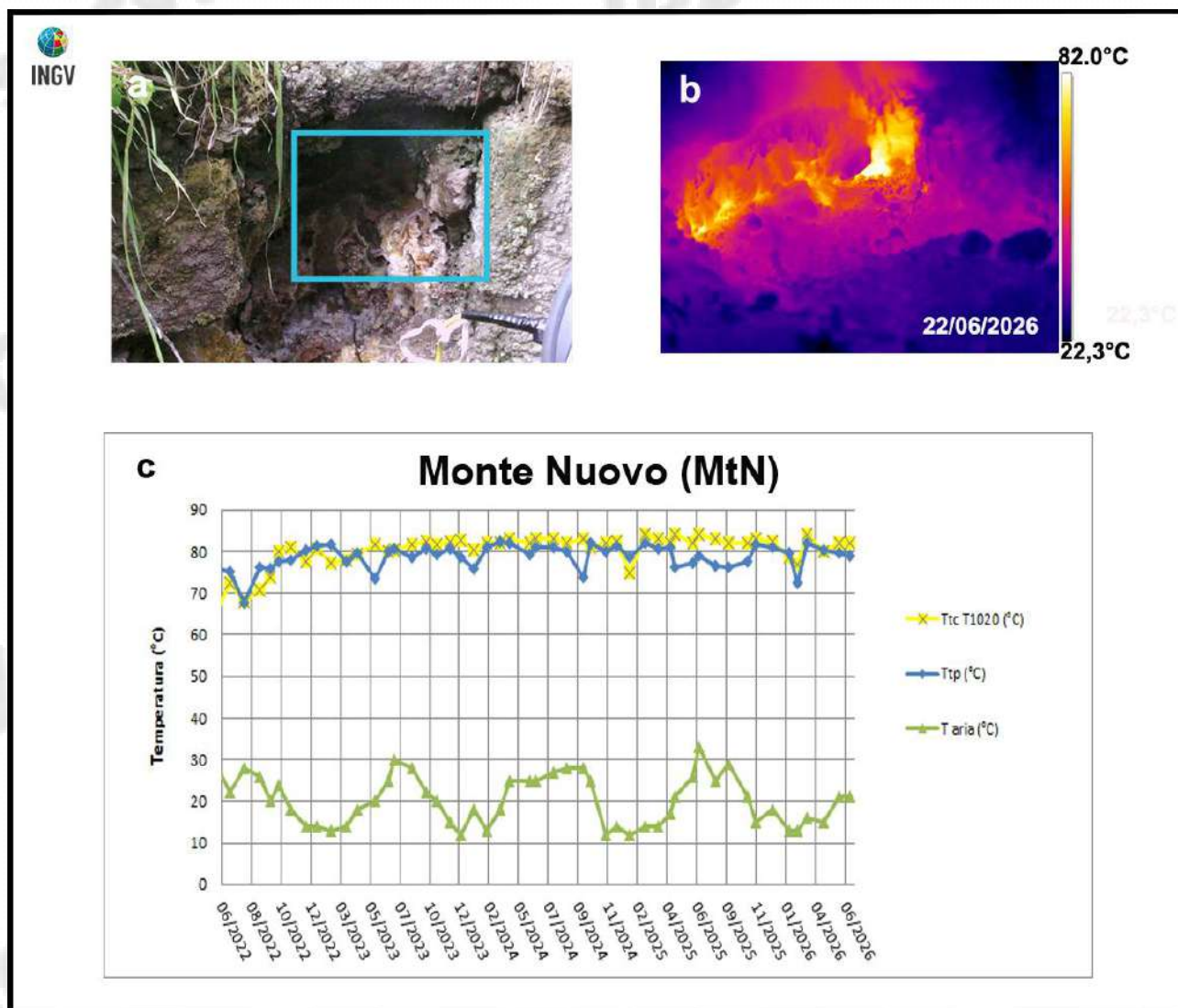


Figura 3.2.3 – Fumarola lungo il versante meridionale di Monte Nuovo. Immagini nel visibile (a) e termica (b) riprese dal punto MTN di Figura 3.2.1; il riquadro azzurro in (a) indica l'area inquadrata nella termografia. Il grafico (c) riporta la serie temporale (giugno 2022 – giugno 2026) dei valori massimi di temperatura con termocamera FLIR T1020 (TtcT1020) e con termocoppia (Ttp), confrontati con la temperatura dell'aria (Taria) misurata nel momento del rilievo termico.

Solfatara

La Figura 3.2.4 riporta una fotocomposizione termica del cratere de La Solfatara acquisite tramite drone (Solf, Fig. 3.2.1). I rilievi sono stati condotti a una quota costante di 55 m dal suolo, garantendo una risoluzione spaziale (GSD) di circa 10,4 cm/pixel.

Nel mese di giugno, si segnala una temperatura massima nell'area Bocca Nuova e Bocca Grande di 165,1°C.

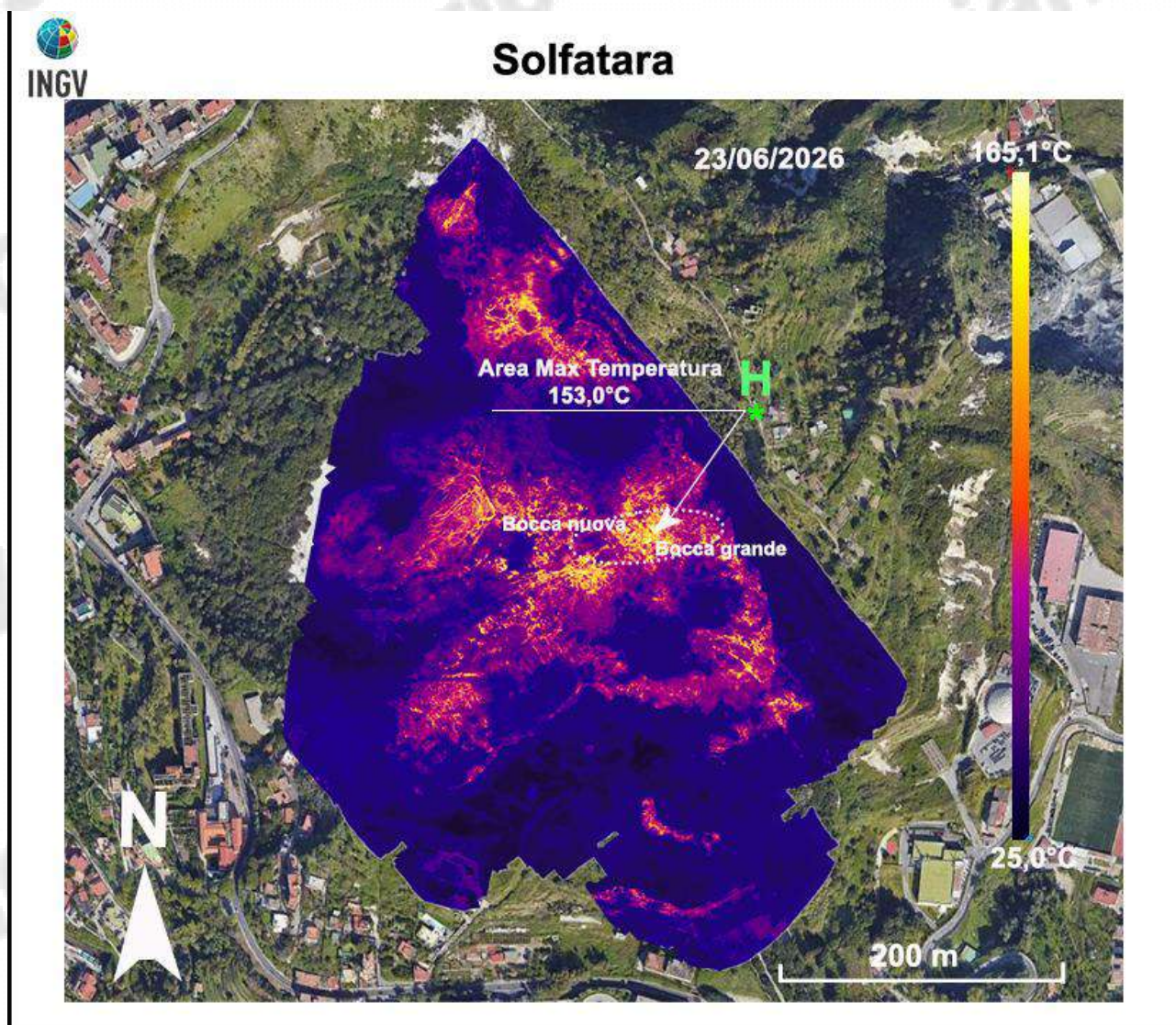


Figura 3.2.4 – Fotocomposizione di immagini termiche rilevate da drone nel mese di giugno 2026 su La Solfatara (Solf in figura 3.2.1.B). H* indica il sito di decollo e di atterraggio del drone corrispondente al punto S1 di Fig.3.2.1.B.

4. GEOCHIMICA DEI FLUIDI

L'attività di monitoraggio svolta nel mese di giugno 2026 ai Campi Flegrei (Fig. 4.1) ha riguardato:

- l'acquisizione in continuo del flusso di CO_2 dal suolo, della temperatura della fumarola BG e del gradiente termico nel cratere della Solfatara (stazioni multiparametriche V03, V11, V202, e GTS1); la misura della concentrazione in aria di CO_2 , H_2S , SO_2 , H_2O tramite tre stazioni multigas (MG1, MG2, MG3).
- l'acquisizione in continuo dei dati di flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura della fumarola tramite la stazione multiparametrica FLXOV8 e la stazione V07 installate a Pisciarelli;
- il campionamento delle fumarole principali Bocca Grande e Bocca Nuova nel cratere della Solfatara;
- misure di flusso di CO_2 dal suolo e temperatura del suolo su punti fissi selezionati nell'area della Solfatara e di Pisciarelli.

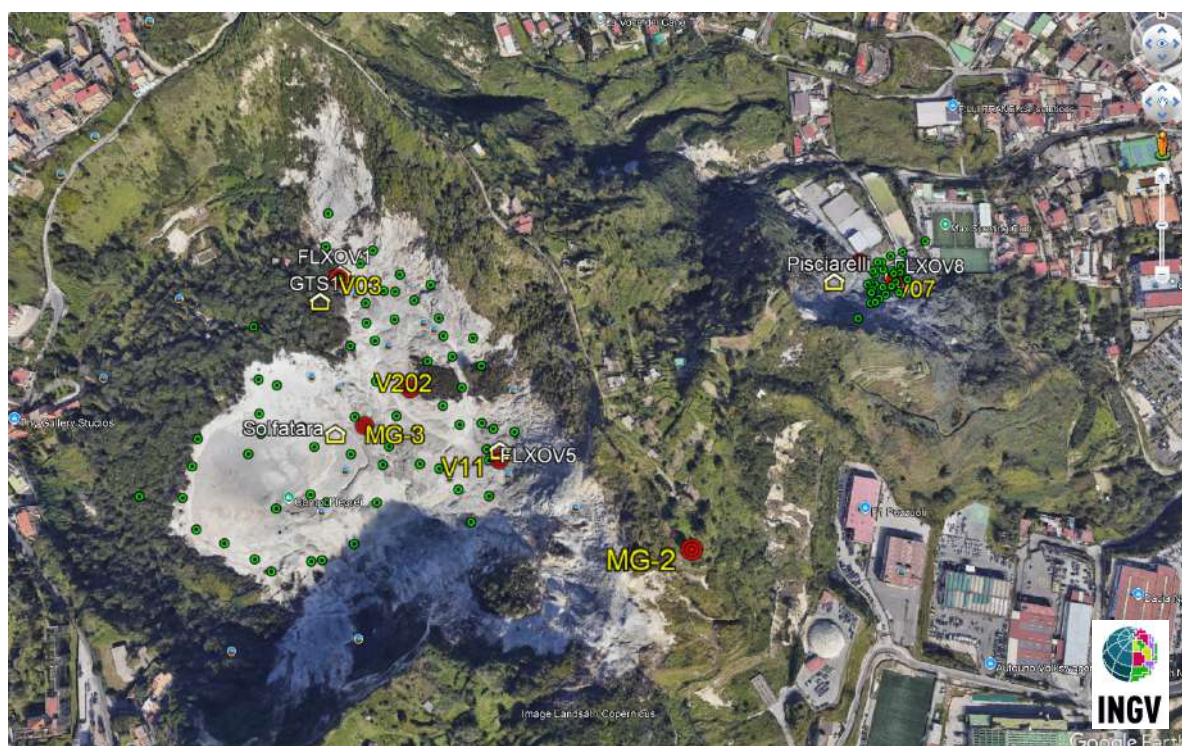


Figura 4.1 - Ubicazione delle stazioni della rete geochimica ai Campi Flegrei e dei siti dove sono eseguite le attività di monitoraggio geochimico. Sono riportate: i) le stazioni geochimiche del tipo GEMMA (FLXOV5, FLXOV8); ii) le nuove stazioni multiparametriche (V03, V07, V11, V202); iii) e le tre nuove stazioni per le misure multigas (CO_2 , H_2S , SO_2 , H_2O) e del vento con un sensore 3D sonico, ubicate in area Solfatara-Pisciarelli tutt'ora in fase di test; iv) le principali fumarole della Solfatara (BG e BN) e di Pisciarelli. Sono inoltre riportati i punti fissi per la misura del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura del suolo in area Solfatara (simboli verdi) e in area Pisciarelli (simboli verdi).

Di seguito sono riportate le osservazioni più rilevanti sui dati acquisiti nel periodo in esame.

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, 2025); Chiodini (2009); Chiodini et al., (2010, 2011, 2012, 2015a, b, 2016, 2021), ai quali si rimanda per approfondimento.

Le analisi di laboratorio dei campioni prelevati evidenziano il perdurare dei trend di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale già identificati in precedenza (vedi Bollettini di Sorveglianza precedenti; Figg. 4.2 - 4.6).

Il rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ delle fumarole (Fig. 4.2) nei campioni di giugno 2026 mostra una lieve diminuzione pur rimanendo su valori elevati (~ 0.43 per la fumarola BG e ~ 0.46 per la fumarola BN), che in generale testimoniano una elevata frazione di gas magmatici presente nei fluidi fumarolici (Caliro et al., 2007; Chiodini et al., 2010).

In particolare, l'interpretazione di queste variazioni risulta più complessa alla luce degli 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 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ misurato alle fumarole (Chiodini et al., 2015a, 2016, 2021; Caliro et al., 2025). Inoltre, è possibile che una frazione della CO_2 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; Buono et al., 2023).

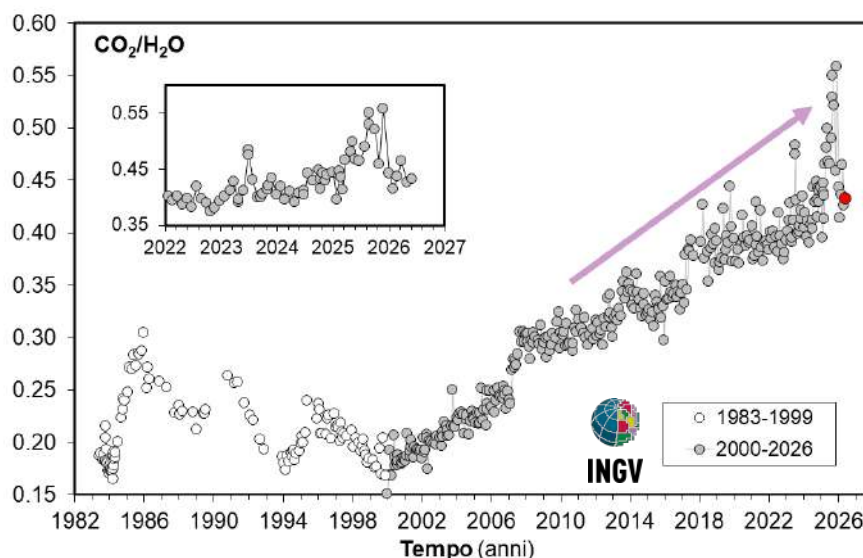


Figura 4.2 - Cronogramma del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ per la fumarola BG. In grigio sono riportati i dati a partire dal 2000, quando è iniziato un trend d'aumento del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, in generale, indicativo di una crescente frazione della componente magmatica nei fluidi fumarolici. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di giugno 2026. Nel riquadro un dettaglio dal 2022.

L'analisi di geoindicatori di Temperatura e Pressione, basati sulle composizioni delle fumarole BG e BN, indica il progressivo riscaldamento e pressurizzazione delle parti più superficiali del sistema idrotermale della Solfatara. In particolare, i valori di concentrazione di monossido di carbonio (CO), disponibili alla Solfatara di Pozzuoli fin dalla crisi del 1983-84, mostrano a partire dagli inizi degli anni 2000 un evidente trend di crescita, particolarmente marcato dai campioni del 2018-2022. Questo incremento ha raggiunto un massimo nel luglio 2020, seguito da una fase di diminuzione fino ai primi mesi del 2022, quando inizia un nuovo aumento (fumarola BG, Fig. 4.3). I campioni degli ultimi mesi confermano il trend di aumento delle concentrazioni di CO . Tale variazione è 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 (DP) D'Amore and Panichi (1980), che in generale ben descrive la f_{O_2} in molti sistemi idrotermali del mondo, il trend del CO corrisponderebbe a un aumento di temperatura di circa 40°C dagli inizi

degli anni 2000 (T circa 215 °C) a oggi (T circa 255 °C), raggiungendo un massimo (T ~ 263 °C) nel 2018 (Fig. 4.4). In particolare, i campioni del mese di giugno 2026 evidenziano variazioni della concentrazione di CO e della temperatura stimata (~255 °C), in accordo con il suddetto trend d'aumento di lungo termine.

Il processo di riscaldamento del sistema flegreo e le possibili cause sono trattate nei lavori scientifici di Chiodini et al. (2015a; 2016; 2021) a cui si rimanda per approfondimento.

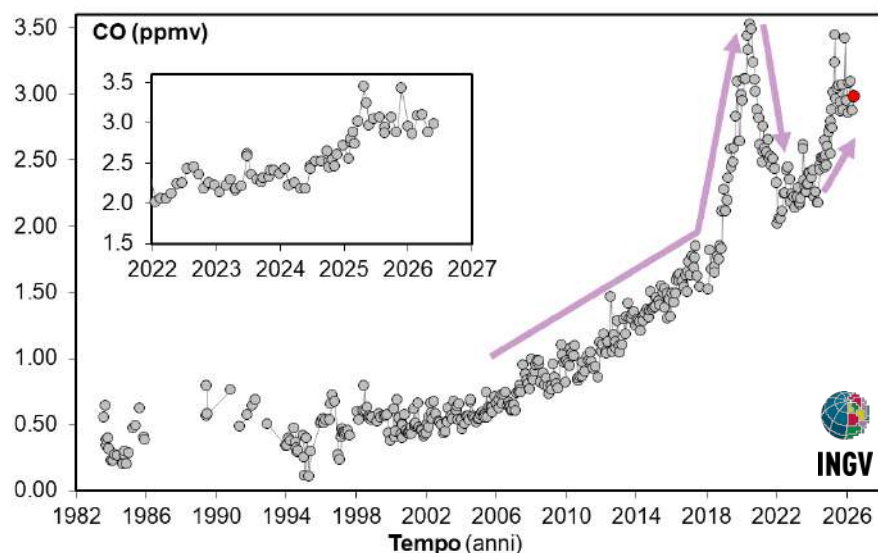


Figura 4.3 – Variazioni della concentrazione di monossido di carbonio (CO) misurato alla fumarola BG a partire dal 1983. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di giugno 2026. In generale alti contenuti di CO caratterizzano sistemi vulcanici a elevata temperatura, mentre fumarole alimentate da 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. Nel riquadro un dettaglio dal 2022.

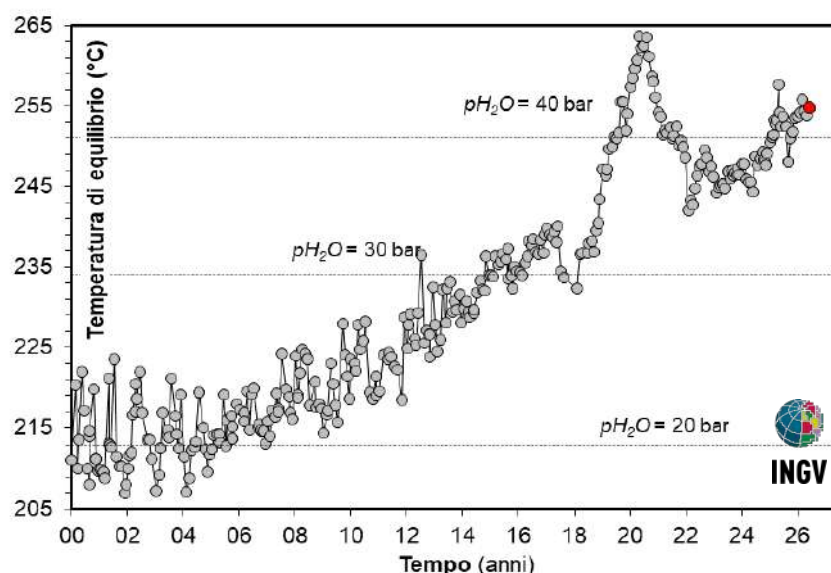


Figura 4.4 – Cronogramma delle temperature di equilibrio per il sistema CO-CO₂, relativo alla fumarola BG, stimate assumendo condizioni redox fissate dalla relazione di D'Amore and Panichi (1980). Tali temperature, rappresentative della parte più superficiale del sistema idrotermale (Caliro et al., 2007), mostrano un trend in aumento a partire dai primi anni del 2000. Con il simbolo rosso è evidenziato il campione di giugno 2026.

Contemporaneamente all'aumento di temperatura descritto, dal 2018 viene rilevato anche un aumento del rapporto H_2S/CO_2 (Fig. 4.5). In particolare nel diagramma sono riportati i rapporti di concentrazione misurati (simboli grigi), e quelli calcolati in condizioni di equilibrio con la pirite alle temperature e condizioni redox riportate in Figura 4.4 (vedi Caliro et al., 2025). La figura evidenzia una forte similitudine dei valori misurati e calcolati sin dalla fine della fase bradisismica degli anni '80 (non nel diagramma). Tale similitudine suggerisce che per circa 40 anni le concentrazioni dello zolfo sono state controllate da condizioni di equilibrio nella parte più superficiale del sistema. I due andamenti cominciano a mostrare un lieve scostamento a partire dal 2018, scostamento che diventa significativo a partire dal 2021 raggiungendo un massimo a ottobre 2022, per poi ritornare a valori di equilibrio a settembre 2024, seguiti da una nuova divergenza. Tale variazione è stata interpretata (Caliro et al., 2025) come compatibile con un processo di degassamento di un magma in risalita nella crosta terrestre, tra i 9 e i 6 km di profondità. Le concentrazioni di zolfo nei campioni degli ultimi mesi mostrano un nuovo ritorno verso condizioni di equilibrio idrotermale.

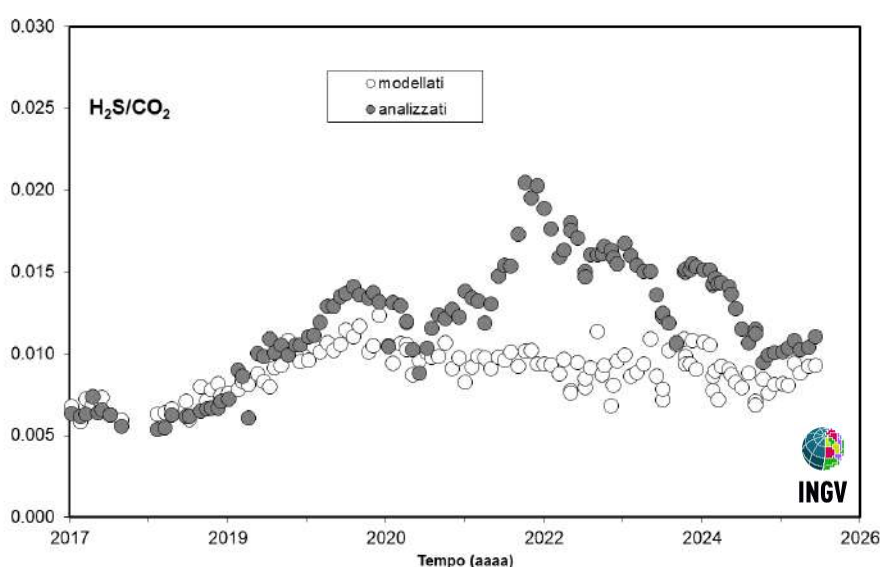


Figura 4.5 - Cronogramma del rapporto H_2S/CO_2 per la fumarola BG a partire dal 2017. I simboli grigi rappresentano i valori misurati, mentre i simboli bianchi i valori di equilibrio con i minerali idrotermali presenti nella porzione superficiale del sistema (Caliro et al., 2025).

Il cronogramma del rapporto CO_2/CH_4 (Fig. 4.6) mostra picchi interpretati come dovuti all'arrivo di fluidi magmatici ossidanti e a basso contenuto in CH_4 nel sistema idrotermale (Chiodini 2009; Chiodini et al., 2010, 2011, 2012). I vari picchi corrisponderebbero, quindi, a eventi di degassamento magmatico, avvenuti in precedenza, con conseguente immissione di fluidi magmatici nel sistema idrotermale che alimenta le fumarole della Solfatara. Per maggiori dettagli su tale processo si rimanda a specifici lavori scientifici (Chiodini et al., 2012, 2016). Inoltre, in Figura 4.6 è possibile riconoscere un generale trend d'aumento del rapporto a partire dal 2000, interrotto da fasi discendenti, con valori che hanno raggiunto i picchi massimi nel 2017, 2023 e nel settembre 2025.

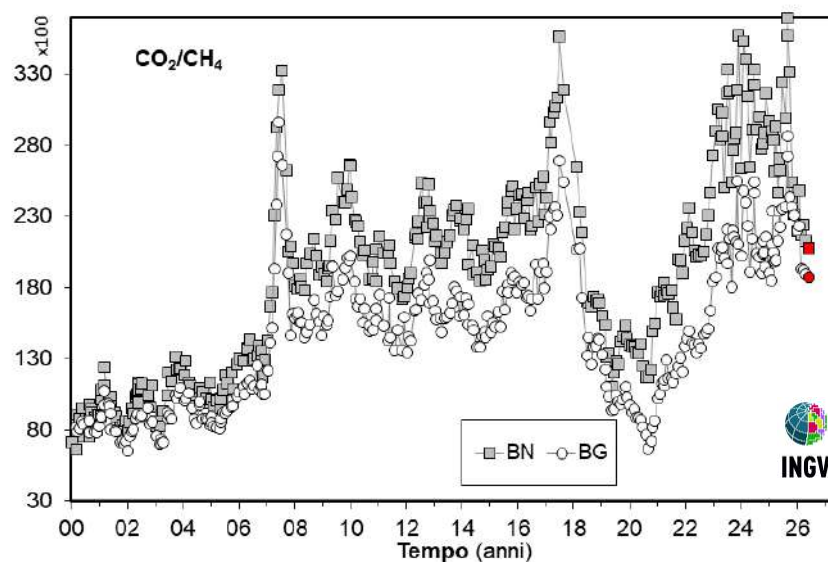


Figura 4.6 – Variazioni del rapporto CO_2/CH_4 per le fumarole BG e BN a partire dal 2000. I picchi nel rapporto, registrati in superficie con circa un anno di ritardo, evidenziano episodi di degassamento magmatico avvenuti ai Campi Flegrei (Chiodini et al., 2012). Con il simbolo rosso sono evidenziati i campioni di giugno 2026.

In particolare, dalla fine del 2020 è iniziato un nuovo trend d'aumento del rapporto CO_2/CH_4 , che continua fino a raggiungere un massimo nel dicembre 2023. Il basso valore del rapporto CO_2/CH_4 (i.e. elevate concentrazioni di CH_4) mostrato nel periodo 2018-2021, contemporaneamente all'aumento della concentrazione del monossido di carbonio e dell'idrogeno, ma in generale di tutte le specie di gas ridotte, evidenzia una variazione del comportamento del sistema idrotermale in risposta all'iniezione di fluidi magmatici, rispetto a quanto mostrato nei periodi precedenti. I fluidi emessi dal sistema idrotermale, nel periodo 2018-2021, mostrano caratteristiche più riducenti, che secondo le più recenti interpretazioni possono essere indotte da estesi processi di condensazione del vapore nella parte superficiale del sistema in risposta all'aumento delle condizioni di pressione e temperatura. Il rapporto CO_2/CH_4 mostra un massimo dei valori raggiunto tra dicembre 2023 e febbraio 2024, per poi diminuire. I campioni degli ultimi mesi mostrano un'ampia variabilità pur rimanendo su valori elevati del rapporto.

Il processo di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale è supportato dalle misure periodiche, su punti fissi nel cratere della Solfatara, del flusso di CO_2 dal suolo e della temperatura del suolo che mostrano trend di aumento pluriennali (Fig. 4.7). In particolare, i valori di flusso di CO_2 dal suolo relativi alle campagne mensili di misura, mostrano un andamento caratterizzato da una periodicità annuale, rientrando in un trend di aumento dei valori a partire dal 2006 (Fig. 4.7). Queste misure (~60 punti, Target area in Fig. 4.7a), sono state confrontate con i dati di flusso totale emesso dall'area di degassamento, misurato nelle campagne estese eseguite fino al 2016 (~400 misure per campagna, Chiodini et al., 2021). La correlazione tra i valori di flusso misurati nell'area target e l'area estesa, ha permesso di stimare un valore medio del flusso dell'intera area di degassamento in ~3200 t/d nel 2020 (Chiodini et al., 2021) e ~3500 t/d nel 2023, valori paragonabili al flusso medio di CO_2 nel *plume* di vulcani attivi a degassamento persistente.

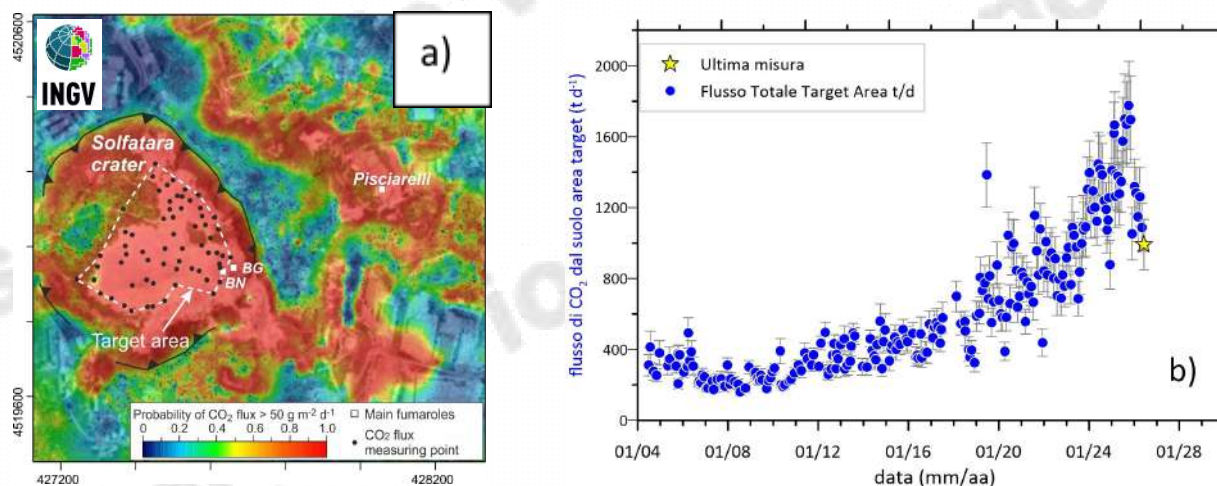


Figura 4.7– a) Mappa dell'area di degassamento diffuso della Solfatara-Pisciarelli (Cardellini et al., 2017), con l'ubicazione dell'area target; b) Cronogramma dei flussi di CO₂, i punti blu si riferiscono all'emissione dall'area target in tonnellate al giorno (td⁻¹) calcolata con il codice sGs UnMix (Bini et al., 2025).

La relazione tra i valori stimati di flusso relativi alle campagne estese e il flusso delle misure mensili risulta essere cambiata per le ultime misure (dal 2022) rispetto a quella riportata in Chiodini et al. (2021). Questa differenza suggerisce una variazione del pattern di degassamento diffuso nell'area, con un incremento relativo nell'area craterica (misurata mensilmente) rispetto a quella esterna interessata dalle misure estese di flusso di CO₂, con conseguente diminuzione del fattore di proporzione definito in Chiodini et al. (2021). Pertanto, ai fini del monitoraggio vengono riportati i valori di flusso stimati sulle misure mensili della sola area target interna alla Solfatara (Fig. 4.7a). Per questa area le misure di giugno 2026 indicano un valore, tra i più bassi registrati negli ultimi mesi, di ~ 1000 t/d.

La media delle temperature del suolo a 10 cm di profondità, misurate mensilmente sulla stessa maglia di punti, mostra un chiaro andamento stagionale sovrapposto a un trend d'aumento (Fig. 4.8), con un incremento del valore medio delle temperature misurate di oltre 8 °C nel periodo 2002-2025. Nella mappa di Figura 4.9a è riportato l'aumento di temperatura espresso in °C/anno calcolato per ogni punto di misura a partire dal 2002. L'incremento di temperatura interessa diffusamente tutta l'area craterica con un massimo nella zona centrale; naturalmente, l'incremento di temperatura non interessa le aree delle fumarole e del bordo del cratere a NE, dove le temperature sono vicine al limite fisico di condensazione per i fluidi emessi dalla Solfatara (~95°C, Fig. 4.9b).

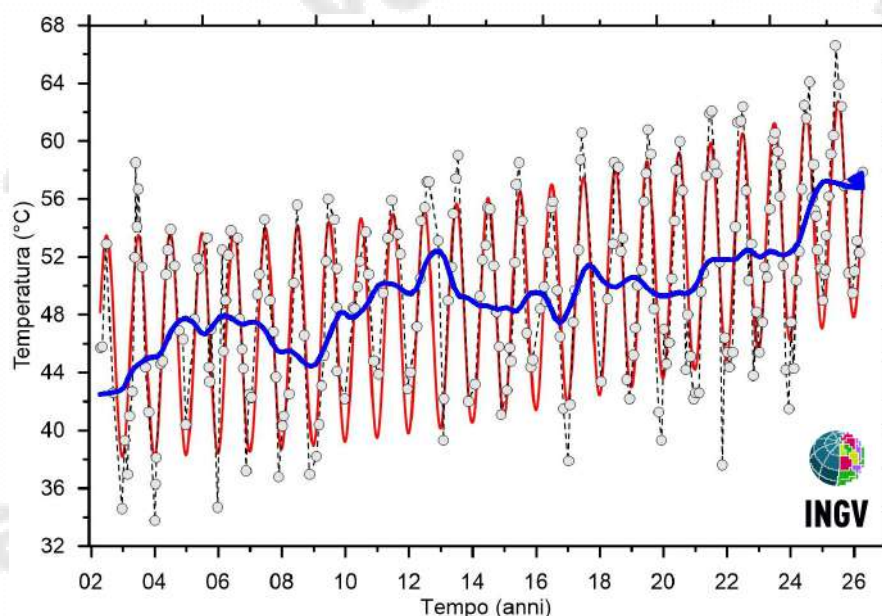


Figura 4.8 – Cronogramma della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 61 punti fissi nell'area craterica della Solfatara. Va evidenziato l'aumento del valore medio nel periodo 2002-2024 di oltre 8 °C. Il trend depurato dalla componente stagionale mediante l'utilizzo dell'algoritmo di destagionalizzazione STL (Seasonal-Trend decomposition based on Loess, Cleveland et al., 1990), è riportato con la linea blu.

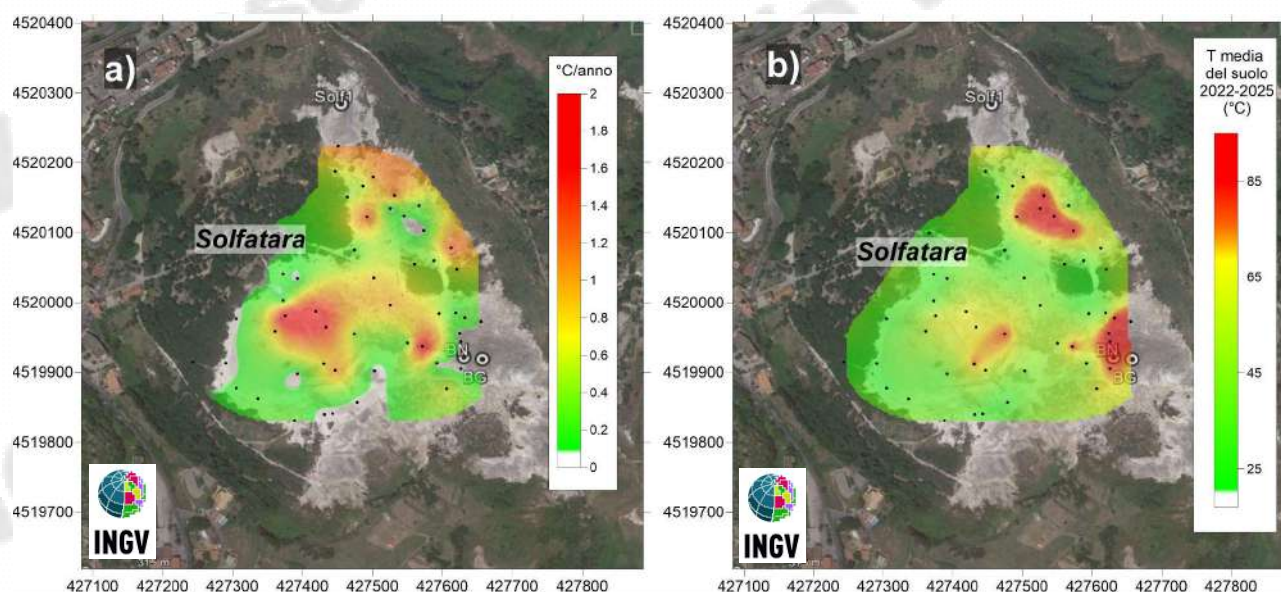


Figura 4.9 – a) Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ogni punto misurato a partire dal 2002. L'incremento di temperatura interessa diffusamente tutta l'area craterica con un massimo nella zona centrale. L'incremento di temperatura non interessa le aree delle fumarole e del bordo del cratere a NE dove le temperature sono vicine al limite fisico di condensazione per i fluidi emessi dalla Solfatara (~95°C). b) mappa delle temperature dei punti misurati (media dal 2022 al 2025).

Tale processo di riscaldamento è evidenziato anche da misure analoghe di flusso di CO₂ dal suolo e temperatura del suolo, eseguite periodicamente su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli. In Figura 4.10 è riportata la media delle temperature del suolo, misurate a 10 cm di profondità, che dal 2009 mostra un rilevante trend d'aumento, con un incremento del valore medio di circa 6 °C. A partire dal 2022, l'incremento di temperatura risulta meno marcato, per poi mostrare un nuovo trend d'aumento a partire dal 2024.

A causa della inaccessibilità della maggior parte dei punti periodicamente misurati nell'area di Pisciarelli, dovuta all'allargamento e all'incremento di attività della polla, i punti di misura non più raggiungibili sono stati sostituiti con altri nelle immediate vicinanze. La mappa dove è riportata la distribuzione areale dell'incremento annuo di temperatura mette in evidenza un aumento diffuso delle temperature in tutta l'area indagata e la presenza di zone interessate da processi di fumarolizzazione locale.

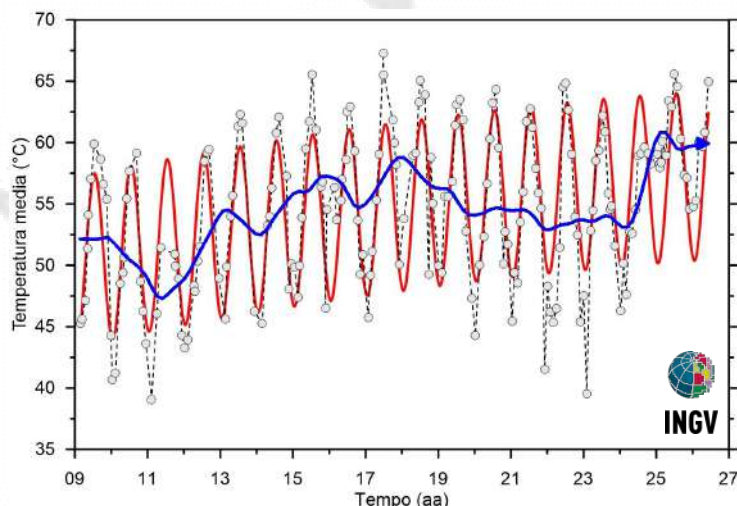


Figura 4.10 – Cronogramma della media delle temperature del suolo (a 10 cm di profondità) misurate su 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli dal 2009. Il trend destagionalizzato, mediante l'utilizzo dell'algoritmo di destagionalizzazione STL (Seasonal-Trend decomposition based on Loess, Cleveland et al., 1990), è riportato con la linea blu.

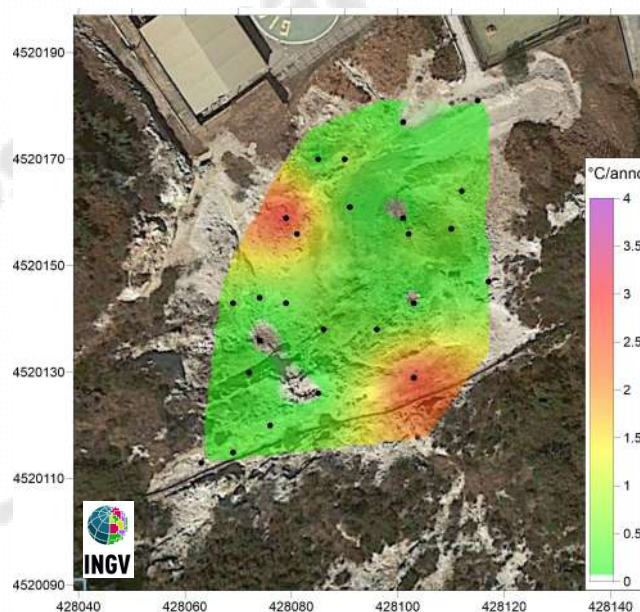


Figura 4.11 – Mappa dell'incremento di temperatura in °C/anno calcolato per ognuno dei 25 punti fissi nell'area di Pisciarelli misurati a partire dal 2009. L'incremento di temperatura interessa tutta l'area indagata con le zone di maggiore riscaldamento legate a processi di fumarolizzazione locale.

La stazione multiparametrica FLXOV5, attiva dal 2015 nel cratere della Solfatara dal mese di febbraio 2026 a causa di un malfunzionamento è stata dismessa, non essendo più riparabile. In Figura 4.12 sono riportati i valori di flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola BG

acquisiti dalla stazione fissa V11 installata a marzo 2023 a pochi metri dalla fumarola BG e nelle vicinanze della stazione FLXOV5. Nel mese di ottobre 2025 è stato installato un nuovo sensore di temperatura, nell'area di emissione della fumarola BG che presenta la temperatura più elevata. Il valore medio di temperatura acquisito da questa stazione nel periodo di riferimento è $\sim 173^\circ\text{C}$ (Fig. 4.12). Questa stazione acquisisce anche la temperatura nel sito di misura della vecchia stazione FLXOV5, che mostra un valore medio di circa 171°C . E' da evidenziare negli ultimi mesi il significativo aumento di temperatura delle fumarole BG, confermato anche dalle misure periodiche eseguite mensilmente durante il campionamento dei fluidi, che hanno mostrato valori fino a circa 173°C .

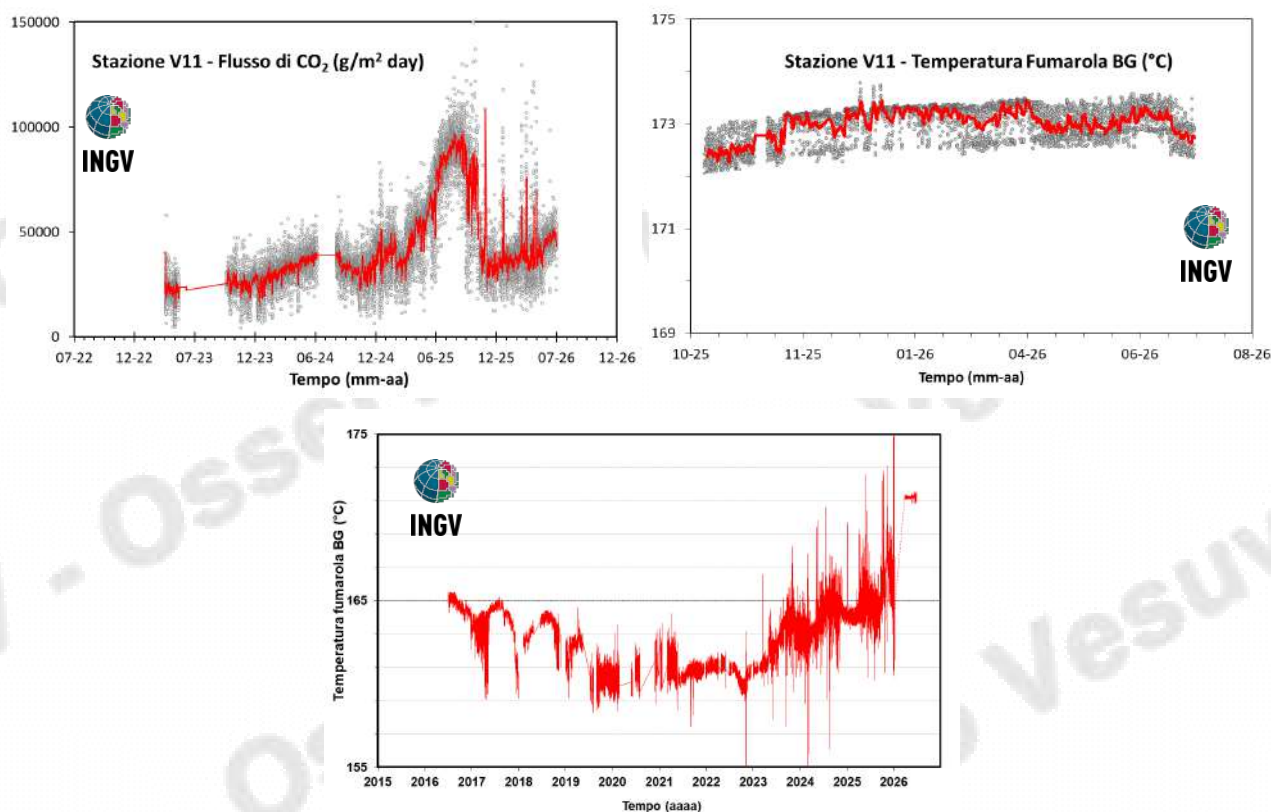


Figura 4.12 – Valori del flusso di CO₂ dal suolo e della temperatura della fumarola BG misurati dalla stazione V11 installata nel cratere della Solfatara, a pochi metri dalla fumarola principale BG.

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, è presumibilmente la causa delle variazioni macroscopiche osservate nel sito di Pisciarelli 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 (Fig. 4.13) e nell'aumento dei flussi di CO₂ dal suolo misurati in continuo dalla stazione geochimica (Fig. 4.14). Il flusso di CO₂ dal suolo misurato dalla stazione FLXOV8, così come la concentrazione di CO₂ in aria, nel mese di giugno 2026 hanno mostrato un lieve aumento dei valori rispetto ai periodi precedenti (Fig. 4.15).

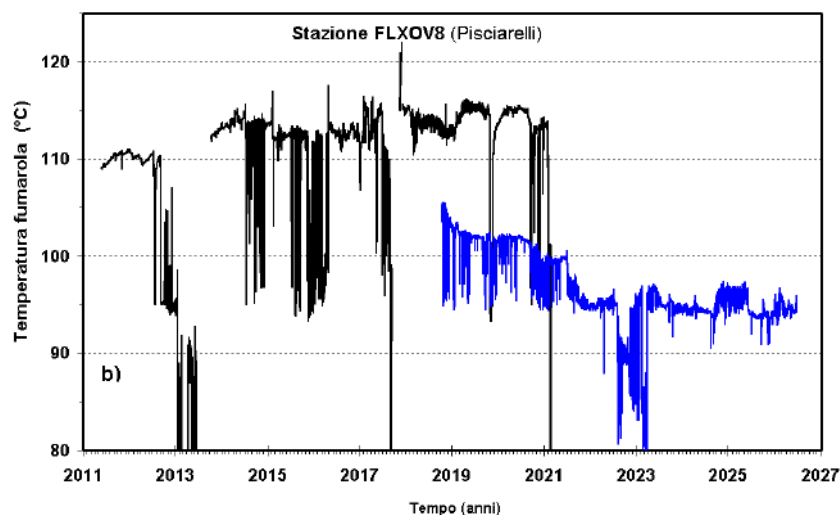


Figura 4.13 – Cronogramma dal 2011 della temperatura della fumarola principale di Pisciarelli. Con la linea blu sono riportati i valori di temperatura misurati in continuo, a partire dal mese di ottobre 2018, in un'altra emissione fumarolica nell'area di Pisciarelli sita a pochi metri di distanza dalla fumarola principale e caratterizzata da una minore temperatura di emissione.

Nella polla di Pisciarelli nel mese di giugno 2026 il livello del liquido ha avuto oscillazioni correlate alle precipitazioni meteoriche verificatesi. Tale fenomeno, già osservato negli ultimi anni (dal 2020), è verosimilmente legato a un diminuito apporto del liquido che alimenta la polla, composto da una miscela di condensati fumarolici e di acque di origine meteorica. Appare evidente, quindi, il crescente controllo delle condizioni meteo rispetto all'attività vulcano-idrotermale sulla dinamica della polla, sulla temperatura della fumarola e più in generale sulle variazioni locali del sito di degassamento.

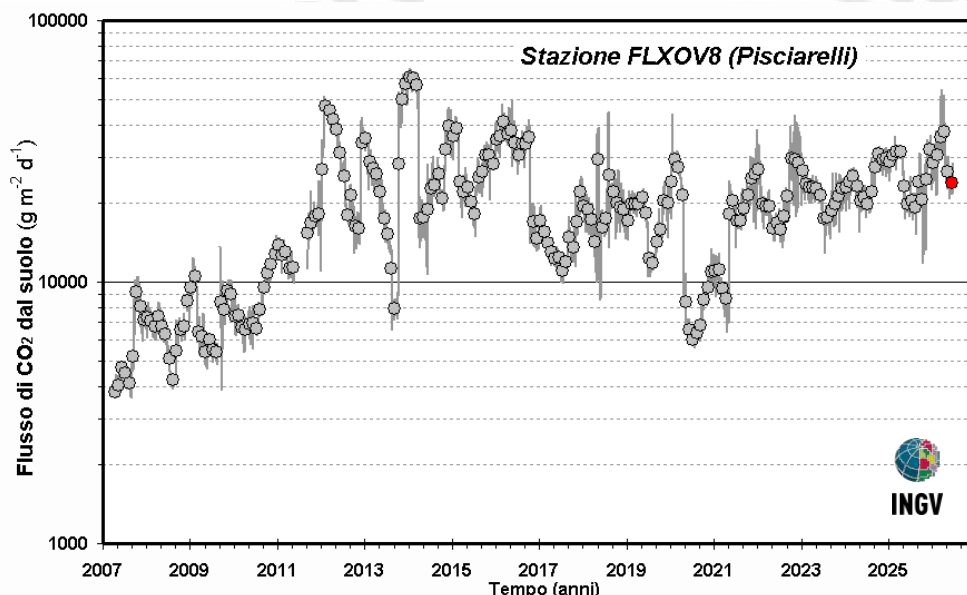


Figura 4.14 - Medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) dei flussi di CO_2 misurati dalla stazione automatica a Pisciarelli. È da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo a partire dal 2007 del flusso CO_2 . La media dei flussi relativa al mese di giugno 2026 è riportata con il simbolo rosso.

In Figura 4.13 (linea blu) sono riportati i valori di temperatura misurati in continuo a partire dal mese di ottobre 2018 in un'altra emissione fumarolica nell'area di Pisciarelli, caratterizzata da una

minore temperatura di emissione e sita a pochi metri di distanza dalla fumarola principale. Nel mese di giugno 2026 i valori di temperatura misurati hanno mostrato un valore medio di $\sim 95^{\circ}\text{C}$, temperatura prossima alla condensazione del fluido fumarolico.

L'incremento del processo di degassamento nell'area a partire dal 2009 è supportato dalle misure del flusso di CO_2 delle fumarole (Tamburello et al., 2019) (Fig. 4.14).

Inoltre, l'aumento dell'attività di degassamento nell'area di Pisciarelli è anche indicato dalla misura in continuo della concentrazione di CO_2 in aria e dall'ampiezza del segnale sismico associato al tremore fumarolico (RSAM, Real-time Seismic Amplitude Measurement) misurato dalla stazione sismica CPIS, sostituita nel 2023 da una nuova stazione installata in prossimità della precedente per problemi di accessibilità del sito (Fig. 4.15). Tali parametri sono strettamente correlati all'intensità dell'attività idrotermale (Chiodini et al., 2017; Giudicepietro et al., 2019, 2020). In particolare, l'RSAM rappresenta un indicatore dell'attività fumarolica locale riferita alla polla di Pisciarelli e può mostrare una variabilità, legata anche all'influenza di fenomeni meteorici (Morelli et al., 2025).

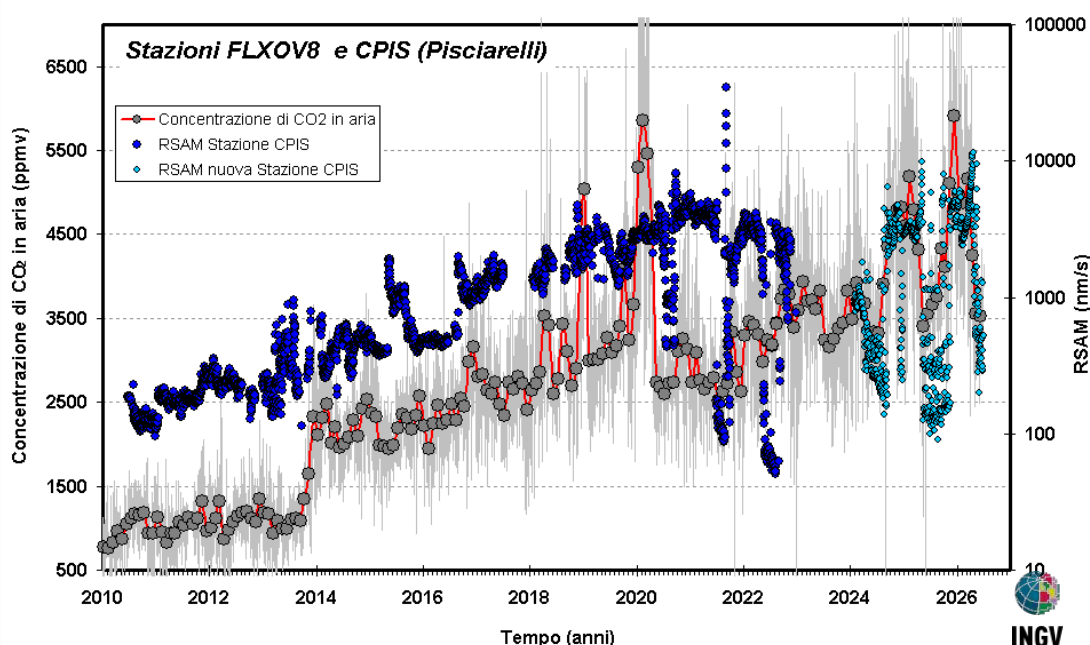


Figura 4.15 - Cronogramma delle medie giornaliere (linea) e medie mensili (cerchi) della concentrazione di CO_2 registrata in aria con frequenza bioraria dalla stazione geochimica per la misura del flusso di CO_2 dal suolo di Pisciarelli (FLXOV8). Nel cronogramma è riportata anche la serie temporale dell'ampiezza del tremore fumarolico su base giornaliera registrata dalla stazione sismica CPIS, installata a pochi metri dalla fumarola principale. Il velocimetro della stazione sismica CPIS è stato sostituito a fine 2023 da un nuovo sensore di pari caratteristiche situato a 26 m di distanza in linea d'aria in direzione NW e ad una quota più elevata di circa 10 m per motivi di sicurezza.

In blu scuro sono riportati i valori ottenuti dalla vecchia stazione CPIS e in ciano quelli ottenuti dalla nuova stazione sismica situata ad una maggiore distanza dalla polla. Questi parametri risultano strettamente correlati tra di loro e all'intensità dell'attività idrotermale (Chiodini et al., 2017, Giudicepietro et al., 2019, Morelli et al., 2026). E' da evidenziare il continuo trend d'aumento nel tempo delle concentrazioni di CO_2 in aria e dell'ampiezza del tremore fumarolico dal 2013 al 2021, successivamente, le serie mostrano una fase di diminuzione e maggiore variabilità.

La serie temporale di concentrazione di CO_2 in aria (registrata con frequenza bioraria dalla stazione geochimica FLXOV8) mostra un significativo aumento nel tempo delle concentrazioni (come medie mensili) da ~ 1000 ppm nel 2012, con un massimo di ~ 5000 ppm registrato nei periodi gennaio-marzo 2019 e gennaio-marzo 2020. Dopo il 2020 si osserva una fase caratterizzata da valori più variabili e, in parte, da una diminuzione rispetto ai massimi precedenti;

tuttavia, negli anni più recenti la concentrazione di CO₂ in aria mostra nuovamente valori elevati, con una media mensile di circa 5000 ppm nel giugno 2026.

Analogamente, l'ampiezza del tremore fumarolico (RSAM) mostra, a partire dal 2013, un rilevante aumento nel tempo raggiungendo un massimo nel 2021. Successivamente, il segnale mostra una maggiore variabilità, tuttavia la correlazione tra la concentrazione di CO₂ in aria e il tremore fumarolico riferito alla polla di Pisciarelli, risulta evidente anche dopo lo spostamento nel 2023 della stazione sismica a causa di problemi di accessibilità del sito.

In considerazione di tali evidenti variazioni, in osservanza al principio di precauzione e al fine di operare in sicurezza nel sito di emissione sono al momento sospese le attività di misura e di manutenzione delle strumentazioni nell'area interessata dalla polla.

Monitoraggio geochimico temporaneo in aree con anomalie di CO₂

Su richiesta del Dipartimento della Protezione Civile, la rete di monitoraggio geochimico è stata integrata con il completamento dell'installazione di due nuove stazioni per il monitoraggio in continuo della CO₂ in aree nelle quali erano state segnalate anomalie nella concentrazione di CO₂ e termiche: una presso l'Istituto "Lucio Petronio" di Pozzuoli e una all'interno della galleria della Linea 2 della Metropolitana di Napoli, tratta Pozzuoli Solfatara–Napoli Campi Flegrei. Le attività sono state svolte dall'INGV-Osservatorio Vesuviano nell'ambito delle proprie competenze tecnico-scientifiche, al fine di fornire elementi conoscitivi utili alle istituzioni e agli enti competenti per le successive valutazioni e determinazioni. La prosecuzione dell'acquisizione dei dati sarà mantenuta compatibilmente con le condizioni operative, tecniche, logistiche e di sicurezza, con l'obiettivo di seguire l'evoluzione temporale delle anomalie di CO₂ segnalate.

In particolare a seguito della segnalazione di concentrazioni anomale di CO₂ all'interno di alcuni locali dell'Istituto Professionale "Lucio Petronio", in Via San Gennaro Agnano n. 25 a Pozzuoli, ubicato in prossimità del versante sud-orientale del cratere della Solfatara, la rete geochimica è stata temporaneamente integrata con una stazione per il monitoraggio in continuo del flusso di CO₂ dal suolo, delle temperature del suolo e dei principali parametri atmosferici.



Figura 4.16 Stazione geochimica installata il 19 maggio 2026 presso l'Istituto Professionale "Lucio Petronio" per la misura del flusso di CO₂ dal suolo, delle temperature del suolo e dei parametri atmosferici.

La stazione è stata posizionata in corrispondenza dell'area nella quale erano state rilevate le principali evidenze del fenomeno ed è configurata per l'acquisizione, con cadenza oraria, dei seguenti parametri:

- flusso di CO₂ dal suolo, misurato con il metodo della camera di accumulo;
- temperatura del suolo, misurata mediante sensori PT100 in cinque punti caratterizzati da valori compresi indicativamente tra ~60 °C e ~93 °C;
- parametri atmosferici, utili a contestualizzare le variazioni osservate in funzione delle condizioni ambientali.

L'analisi dei dati acquisiti in continuo dal momento dell'installazione evidenzia la persistenza del processo di degassamento e dell'anomalia termica nell'area monitorata.

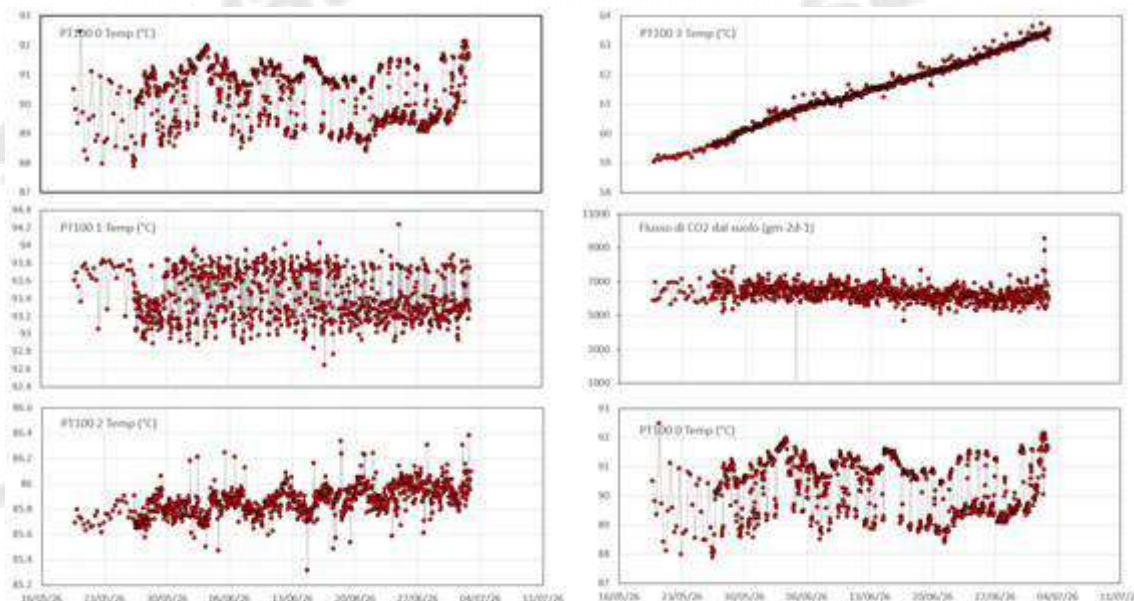


Figura 4.17 Alcuni parametri acquisiti dalla stazione geochimica installata il 19 maggio 2026 presso l'Istituto Professionale "Lucio Petronio".

Inoltre, nella galleria della Linea 2 è stata installata una stazione geochimica a circa 50 m dall'ingresso lato Bagnoli, equipaggiata con tre sensori NDIR per la misura della concentrazione di CO₂ in aria a diverse altezze dal suolo e con un anemometro sonico 2D per la misura della direzione e dell'intensità del vento. I dati acquisiti consentono di seguire l'evoluzione temporale delle concentrazioni di CO₂ e di effettuare prime stime, da considerarsi preliminari, del flusso di gas emesso in galleria.

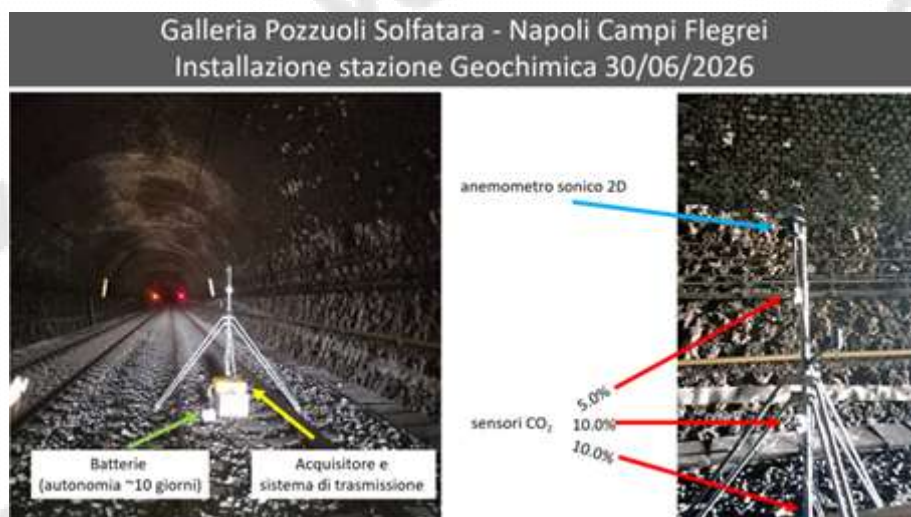


Figura 4.18 - Stazione geochimica installata il 30 giugno 2026 a circa 50 m dall'ingresso lato Bagnoli della galleria della Linea 2 della Metropolitana di Napoli, tratta Pozzuoli Solfatara - Napoli Campi Flegrei. La stazione misura la concentrazione di CO₂ in aria a tre differenti altezze dal suolo mediante sensori NDIR e la direzione e velocità del vento mediante anemometro sonico.

I dati acquisiti sono riportati nei cronogrammi di Figura 4.19 ed includono: a) la direzione del vento, espressa in gradi da Nord in senso orario; b) l'intensità del vento, espressa in m/s, con valori che hanno raggiunto circa 7 m/s durante la perturbazione del 2 luglio; c) le concentrazioni di CO₂ in aria, espresse in ppmv, misurate a tre differenti quote dal suolo, pari a 50 cm, 120 cm e 200 cm. Nel periodo considerato sono state misurate concentrazioni fino a circa il 7% in volume, corrispondenti a circa 70.000 ppmv.

I dati acquisiti hanno consentito di effettuare una stima preliminare, mediante un approccio semplificato, del flusso di CO₂ emesso nella galleria in circa 95 ± 40 t/d, equivalente a circa $0,56 \pm 0,25$ m³/s di gas puro. Tali stime devono essere considerate preliminari e riferite alle condizioni di degassamento osservate nel periodo di acquisizione considerato.

Alla luce della dinamica attuale del sistema flegreo, non è possibile escludere variazioni future, anche in aumento, del flusso di CO₂ emesso in galleria.

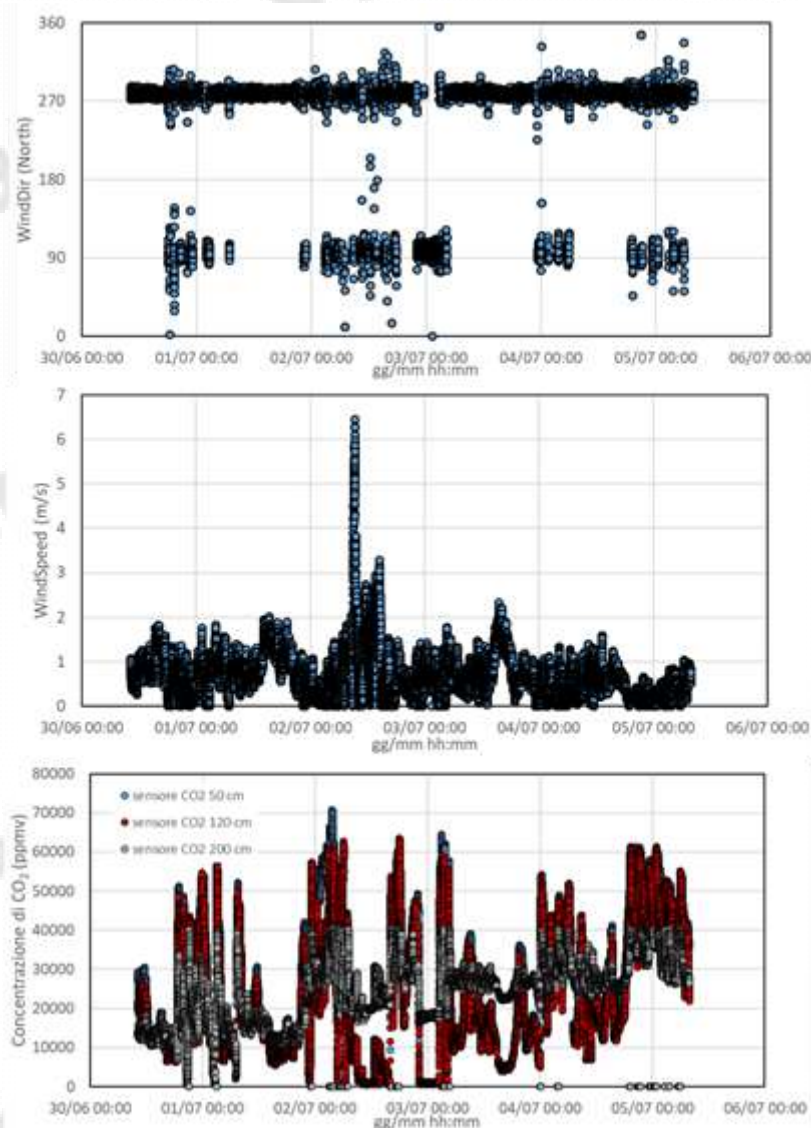


Figura 4.19 - Dati acquisiti dalla stazione installata nella galleria della Linea 2 della Metropolitana di Napoli, tratta Pozzuoli Solfatara - Napoli Campi Flegrei, nel periodo 30 giugno - 5 luglio 2026: a) direzione del vento in gradi da Nord in senso orario; b) intensità del vento in m/s; c) concentrazione di CO₂ in aria, espressa in ppmv, a tre differenti quote dal suolo (50 cm, 120 cm e 200 cm). Nel periodo considerato sono state misurate concentrazioni fino a circa il 7% in volume, corrispondenti a circa 70.000 ppmv.

5. AGGIORNAMENTO ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO NELL'AREA CIRCOSTANTE IL POZZO "GEOGRID"

5.1 Misure di flusso diffuso di CO₂ dal suolo in area del cantiere del pozzo del Progetto GEOGRID

Al fine di rilevare eventuali variazioni locali del processo di degassamento diffuso dal suolo, a partire dal mese di settembre 2020, sono state ripetute mensilmente le campagne di misura del flusso di CO₂ dal suolo in circa 30 punti distribuiti in un'area di circa 0.25 km², centrata sul cantiere della perforazione eseguita nell'ambito del progetto GEOGRID (Fig. 5.1.1a). Le misure sono state confrontate con quelle relative al database di misure del flusso di CO₂ diffuso eseguite dal 1998 al 2016 (Cardellini et al., 2017), riguardanti la stessa area (Fig. 5.1.1b).

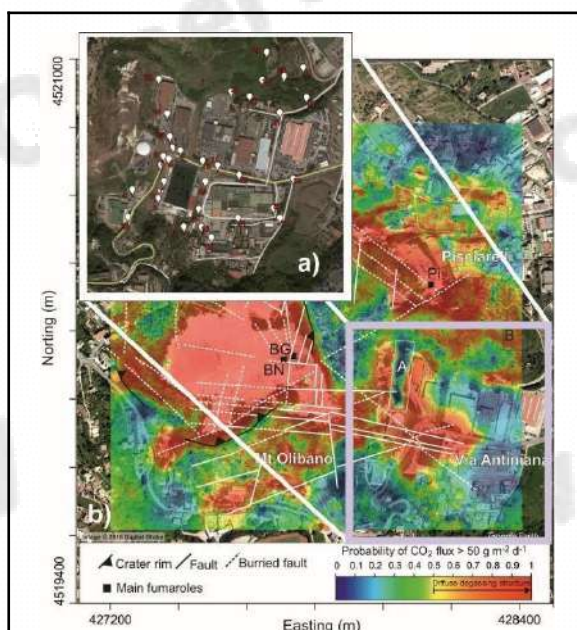


Figura 5.1.1 - a) Distribuzione dei punti di misura del flusso di CO₂ dal suolo nell'area della perforazione GEOGRID; b) Mappa di probabilità del flusso di CO₂ della struttura a degassamento diffuso della Solfatara, basata sull'intero set di dati dal 1998 fino al 2016 (da Cardellini et al., 2017).

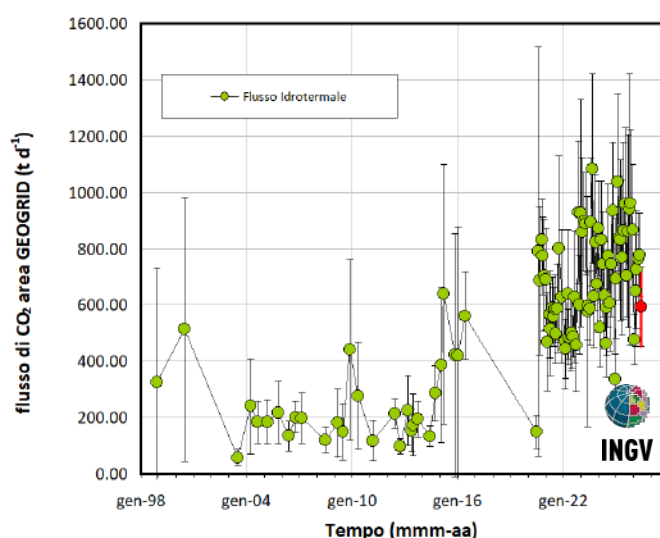


Figura 5.1.2 - Cronogramma dell'output di CO₂ diffuso dal suolo stimato per l'area di interesse. Le misure eseguite ad agosto 2020 hanno mostrato un valore tra i più bassi misurati, mentre quelle successive mostrano un aumento medio dei valori, con ~600 tonnellate di CO₂ al giorno per le misure di giugno 2026 (simbolo rosso). Le barre verticali rappresentano l'intervallo di confidenza del 95%.

I valori di flusso di CO₂ stimati nell'area indagata (0.25 km²) hanno mostrato un *range* compreso tra 58 e 638 t/d nel periodo dal 1998 al 2016, con un valore medio di circa 250 t/d. Tuttavia è da notare che gli ultimi valori disponibili fino al 2016 mostravano un trend in aumento, mentre il valore stimato per le misure eseguite nel mese di agosto 2020, di circa 150 t/d, risulta tra i valori più bassi misurati nell'area. Le misure successive mostrano un aumento dei valori fino a ~900 t/d nei primi mesi del 2023, in linea con il trend d'aumento mostrato fino al 2016; le ultime misure del mese di giugno 2026 mostrano un valore del flusso di CO₂ stimato in ~600 t/d (Fig. 5.1.2).

5.2 Monitoraggio Termico ad Immagine – Stazione ANTN

La stazione ANTN della Rete Permanente di Monitoraggio Termico dei Campi Flegrei (TIRNet) acquisisce immagini all'infrarosso termico dell'area di Antiniana, compresa tra il versante esterno sud-orientale del cratere della Solfatara e il versante a sud dell'area di Pisciarelli, laddove è stata effettuata la perforazione realizzata nel contesto del Progetto Geogrid (Fig. 5.2.1).

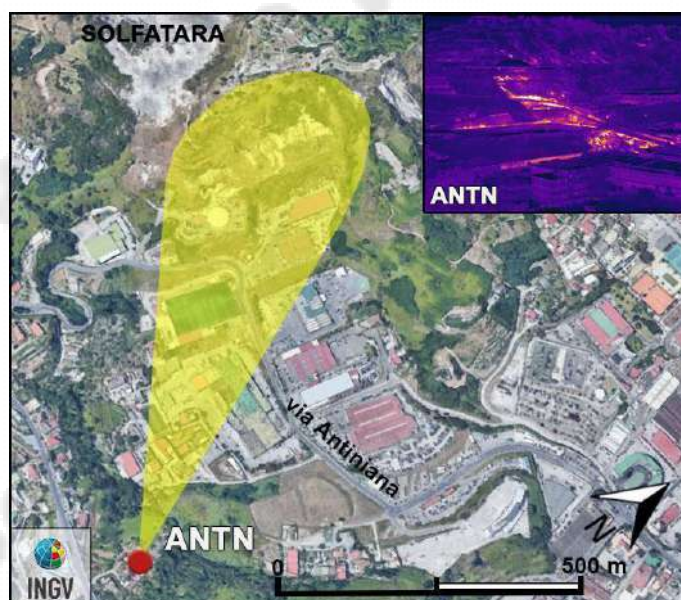


Figura 5.2.1 - Stazione ANTN. Pallino rosso: punto di ripresa; area gialla: indica schematicamente l'area acquisita.

La figura seguente mostra l'elaborazione della serie temporale dei valori di temperatura massima delle immagini IR acquisite dalla stazione ANTN (Fig. 5.2.2).

Tali dati sono relativi ad una zona circoscritta, interessata dal maggiore rilascio termico dell'area indagata, e sono stati processati con metodologia di rimozione della stagionalità basata sull'algoritmo di destagionalizzazione analitica STL (Seasonal Trend Decomposition; Sansivero et al., 2025; Sansivero & Vilardo, 2024). Il trend a lungo termine è ottenuto applicando un fitting LOESS di 2° alle temperature massime destagionalizzate con STL.

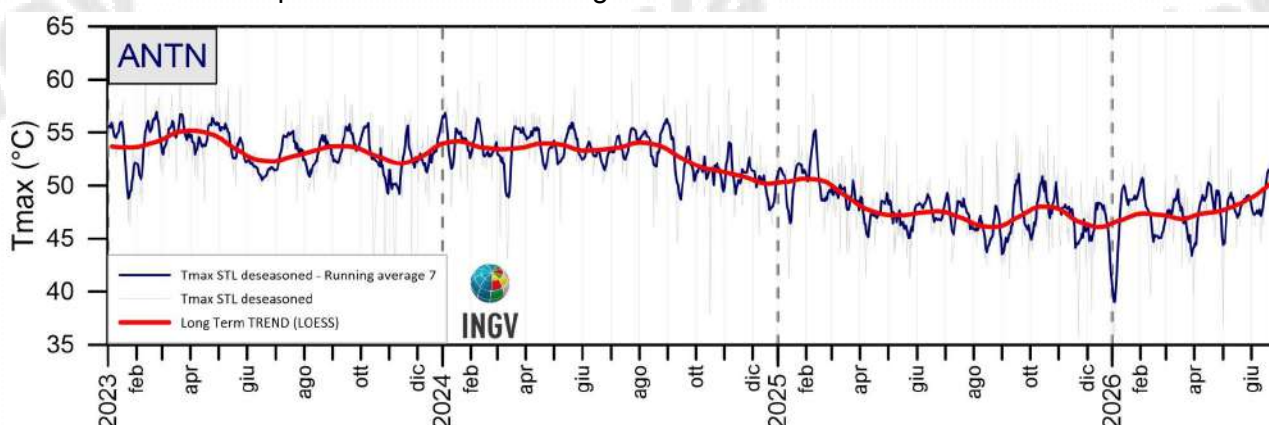


Figura 5.2.2 - Stazione ANTN. Serie temporale dei valori di temperatura massima giornaliera rilevata nelle immagini IR destagionalizzate mediante applicazione dell'algoritmo STL [medie settimanali (blu); trend a lungo termine (rosso)].

I valori massimi di temperatura al suolo rilevati dalla **stazione ANTN** (Fig. 5.2.2) nel mese di giugno 2026 mostrano un lieve aumento nella seconda metà del mese. Il trend a lungo termine (in rosso) evidenzia il lieve aumento dei valori delle temperature massime.

QUADRO DI SINTESI DELLO STATO DEL VULCANO NEL MESE DI RIFERIMENTO E VALUTAZIONI

1) **SISMOLOGIA:** Nell'area dei Campi Flegrei sono stati registrati 377 terremoti ($M_{\max}=3.6\pm0.3$), di cui 253 localizzati, avvenuti prevalentemente tra Pozzuoli, Agnano, l'area Solfatara-Pisciarelli, Bagnoli e il Golfo di Pozzuoli, con profondità concentrate prevalentemente nei primi 3 km e profondità massima di circa 4 km.

2) **DEFORMAZIONI:** Da aprile 2025 si è registrato un sollevamento del suolo con valore medio mensile di circa 15 ± 3 mm/mese fino agli inizi di ottobre. A partire dal 10 ottobre 2025 si è registrato un aumento della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio mensile di sollevamento di circa 25 ± 3 mm/mese. Dalla metà di dicembre 2025 si è registrata una diminuzione della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio di velocità mensile di circa 15 ± 3 mm/mese. Dagli inizi di febbraio 2026 si registra un'ulteriore diminuzione della velocità di sollevamento del suolo, con un valore medio di velocità mensile di circa 10 ± 3 mm/mese.

Il sollevamento registrato alla stazione GNSS di RITE è di circa 166.5 cm da novembre 2005, di cui circa 28.5 cm da gennaio 2025.

Le variazioni alle stazioni tiltmetriche e a quelle mareografiche sono coerenti con la fase di uplift che interessa l'area.

3) **TERMOGRAFIA:** Le serie temporali delle temperature massime superficiali acquisite dalla rete permanente di telecamere TIR mostrano andamenti sostanzialmente stabili alla Solfatara, e lievi aumenti nell'area di Pisciarelli e nell'area di Agnano-via Antiniana.

Le misure con termocamere mobili e droni effettuate in diversi punti dei Campi Flegrei mostrano andamenti piuttosto stabili.

4) **GEOCHIMICA:** La composizione delle fumarole e i parametri monitorati indicano il perdurare dei trend pluriennali di riscaldamento e pressurizzazione del sistema idrotermale che ha raggiunto un massimo nel luglio 2020, per poi invertirsi fino ai primi mesi del 2022, quando è iniziato un nuovo trend d'aumento tuttora in corso.

Il flusso di CO_2 dal suolo misurato nella sola area target interna alla Solfatara mostra un valore tra i più bassi registrati negli ultimi mesi stimato in circa 1000 t/d, un valore comunque elevato e comparabile a quelli che misurati nel plume di vulcani attivi a degassamento persistente.

Nella Figura 6.1 sono rappresentati i parametri di monitoraggio più indicativi in un confronto temporale a breve e medio termine.

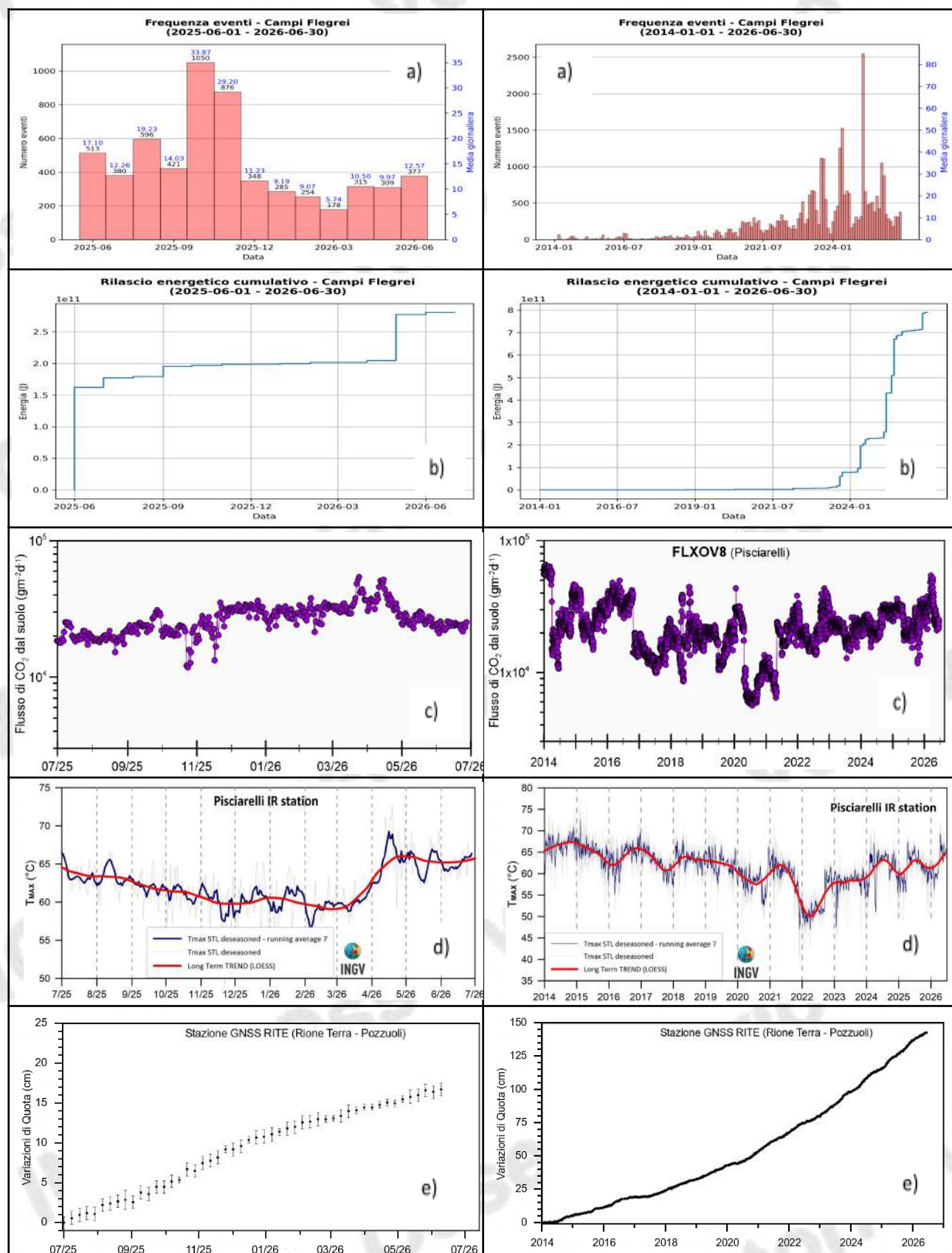


Figura 6.1 – Frequenza di accadimento degli eventi sismici (a), rilascio di energia sismica cumulativa (b), variazioni del flusso di CO₂ alla stazione geochimica di Pisciarelli (c), trend delle temperature massime superficiali destagionalizzate delle telecamere all'infrarosso termico a Pisciarelli (d) e andamento delle deformazioni del suolo alla stazione GNSS di RITE (e), negli ultimi dodici mesi (a sinistra) e dal 2014 (a destra).

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, che possano comportare una diversa evoluzione dei fenomeni sopra descritti, saranno oggetto di approfondimenti tempestivamente comunicati.

Il monitoraggio dell'area flegrea permane al livello di allerta "Giallo".

Bibliografia

- Astort, A., Trasatti, E., Caricchi, L., Polcari, M., De Martino, P., Acocella, V., & Di Vito, M. A. (2024). Tracking the 2007–2023 magma-driven unrest at Campi Flegrei caldera (Italy). *Communications Earth & Environment*, 5(1), 506.
- Bellucci Sessa, E., Borriello G., Cirillo F. & Working Group NAPLES (2022). NAPLES (moNitoring mApS of camPania voLcanoES) (1.0) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5886962>.
- Berrino, G., Rymer, H., Brown, G. C., & Corrado, G. (1992). Gravity-height correlations for unrest at calderas. *Journal of volcanology and geothermal research*, 53(1-4), 11-26.
- Bini, G., Tamburello, G., Cacciaguerra, S., Perfetti, P. (2025). sGs UnMix: a web application for spatial prediction and mixture modeling with a case study on volcanic soil CO₂ fluxes. *Environmental Modelling & Software*, 106652.
- Buono G., Caliro S., Paonita A., Pappalardo L., Chiodini G. (2023). Discriminating carbon dioxide sources during volcanic unrest: The case of Campi Flegrei caldera (Italy). *Geology* ; doi: <https://doi.org/10.1130/G50624.1>
- Caliro, S., Chiodini, G., Avino, R., Carandente, A., Cuoco, E., Di Vito, M.A., Minopoli, C., Rufino, F., Santi, A., Lages, J., Mangiacapra, A., Monteleone, B., Pappalardo, L., Taracsák, Z., Tramati, C., Vizzini, S. and Aiuppa, A., 2025. Escalation of caldera unrest indicated by increasing emission of isotopically light sulfur. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01632-w>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.04.007>
- Caliro S., Chiodini G., and Paonita A. (2014) Geochemical evidences of magma dynamics at Campi Flegrei (Italy). *Geochim. Cosmochim. Acta* 132, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.01.021>
- Chiodini, G., G. Vilardo, V. Augusti, D. Granieri, S. Caliro, C. Minopoli, and C. Terranova (2007) Thermal monitoring of hydrothermal activity by permanent infrared automatic stations: Results obtained at Solfatara di Pozzuoli, Campi Flegrei (Italy). *J. Geophys. Res.*, 112, B12206, <https://doi.org/10.1029/2007JB005140>
- 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, <https://doi.org/10.1029/2008JB006258>
- Chiodini, G., R. Avino, S. Caliro, C. Minopoli (2011) Temperature and pressure gas geoidicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei). Annals Geophysics, 54, 2. <https://doi.org/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, <https://doi.org/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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1130/G36905.1>
- Chiodini G., Paonita A., Aiuppa A., Costa A., Caliro S., De Martino P., Acocella V. and Vandemeulebrouck J. (2016) Magmas near the critical degassing pressure drive volcanic unrest towards a critical state. Nat. Commun. 7, 13712. <https://doi.org/10.1038/ncomms13712>
- Chiodini G., Caliro S., Avino R., Bini G., Giudicepietro F., De Cesare W., Ricciolino P., Aiuppa A., Cardellini C., Petrillo Z., Selva J., Siniscalchi A., Tripaldi S. (2021) Hydrothermal pressure-temperature control on CO₂ emissions and seismicity at Campi Flegrei (Italy). J. Volcanol. Geotherm. Res. 414 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107245> .
- Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., and Terpenning, I., (1990). STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess: Journal of Official Statistics, v. 6, p. 3–73.
- Cusano P., Petrosino S. and Saccorotti G. (2008) Hydrothermal origin for sustained Long-Period (LP) activity at Campi Flegrei Volcanic Complex, Italy. J. Volcanol. Geotherm. Res. doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.07.019.
- 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.
- D'Auria, L., Giudicepietro, F., Aquino, I., Borriello, G., Del Gaudio, C., Lo Bascio, D., Martini, M., Ricciardi, G. P., Ricciolino, P., and Ricco, C. (2011), Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent dynamics of Campi Flegrei caldera (1989–2010), J. Geophys. Res., 116, B04313, doi:10.1029/2010JB007837.
- De Martino, P.; Guardato, S.; Donnarumma, G.P.; Dolce, M.; Trombetti, T.; Chierici, F.; Macedonio, G.; Beranzoli, L.; Iannaccone, G.(2020), Four Years of Continuous Seafloor Displacement Measurements in the Campi Flegrei Caldera. Front. Earth Sci. 2020, 8, 615178. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.615178>
- De Martino P, Dolce M, Brandi G, Scarpato G, Tammaro U. The Ground Deformation History of the Neapolitan Volcanic Area (Campi Flegrei Caldera, Somma–Vesuvius Volcano, and Ischia Island) from 20 Years of Continuous GPS Observations (2000–2019). Remote Sensing. 2021; 13(14):2725. <https://doi.org/10.3390/rs13142725>
- Falanga, M., Aquino, I., De Lauro, E., Petrosino, S., & Ricco, C. (2023). New insights on ground deformation at Campi Flegrei caldera inferred from kinematics and dynamics investigation of borehole tilt. Earth and Space Science, 10, e2022EA002702. <https://doi.org/10.1029/2022EA002702>
- Geng J., Chen X., Pan Y., Mao S., Li C., Zhou J., Zhang K. (2019). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. GPS Solutions, 23(91):1-10. doi:10.1007/s10291-019-0888-1
- Giudicepietro F., Casu F., Bonano M., De Luca C., De Martino P., Di Traglia F., Di Vito MA., Macedonio G., Manunta M., Monterroso F., Striano P., Lanari R. (2024). First evidence of a

- geodetic anomaly in the Campi Flegrei caldera (Italy) ground deformation pattern revealed by DInSAR and GNSS measurements during the 2021–2023 escalating unrest phase, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol 132, 2024, 104060, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104060>. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104060>
- Giudicepietro F., Chiodini G., Caliro S., De Cesare W., Esposito A. M., Galluzzo D., D. Lo Bascio, G. Macedonio, M. Orazi, P. Ricciolino, and J. Vandemeulebrouck. (2019). Insight into Campi Flegrei Caldera Unrest through seismic tremor measurements at Pisciarelli Fumarolic Field. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5544–5555. <https://doi.org/10.1029/2019GC008610>.
- Giudicepietro, F., Chiodini G., Avino R., Brandi G., Caliro S., De Cesare W., Galluzzo D., Esposito A., La Rocca A., Lo Bascio D., Obrizzo F., Pinto S., Ricci T., Ricciolino P., Siniscalchi A., Tramelli A., Vandemeulebrouck J. and Macedonio G. (2020). Tracking Episodes of Seismicity and Gas Transport in Campi Flegrei Caldera Through Seismic, Geophysical, and Geochemical Measurements, *Seismol. Res. Lett.* XX, 1–11, <https://doi.org/10.1785/0220200223>
- Guardato, S., Donnarumma G.P., Riccio R., et al. InSEA Project: Initiatives in Supporting the Consolidation and Enhancement of the EMSO Infrastructure and Related Activities (2022), *Frontiers in Marine Science* Vol. 9, <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.846701>
- Hector, B., Hinderer, J. (2016). PyGrav, a Python-based program for handling and processing relative gravity data. *Comput. Geosci.* 91, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.03.010>.
- Iannaccone, G.; Guardato, S.; Donnarumma, G.P.; De Martino, P.; Dolce, M.; Macedonio, G.; Chierici, F.; Beranzoli, L. Measurement of Seafloor Deformation in the Marine Sector of the Campi Flegrei Caldera (Italy). *J. Geophys. Res. Solid Earth* 2018, 123, 66–83. <https://doi.org/10.1002/2017JB014852>
- Kennedy, J., 2020, GSadjust v1.0: U.S. Geological Survey Software Release, 20 December 2020, <https://doi.org/10.5066/P9YEIOU8>
- Morelli, R. S., Delle Donne, D., Caliro, S., Nardone, L., Orazi, M., Aiuppa, A., et al. (2026). Seismo-acoustic evidence for Meteoric water modulation of hydrothermal fluid discharge. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 131, e2025JB032703. <https://doi.org/10.1029/2025JB032703>
- Riccardi U., Pivetta T., Fedele A., Ricciardi G., Carlino S., (2024) Continuous Gravity Observations at Campi Flegrei Caldera: An Accurate Assessment of Tidal and Non-Tidal Signals and Implications for Volcano Monitoring. *Pure Appl. Geophys.* 182, 1047–1074. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03555-4>
- Ricciolino P., Lo Bascio D., Esposito R. (2024). GOSSIP - Database Sismologico Pubblico INGV-Osservatorio Vesuviano. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/gossip>
- Ricco, C., Aquino, I., Borgstrom, S.E. and Del Gaudio, C. (2013) 19 years of tilt data on Mt. Vesuvius: State of the art and future perspectives. *Ann. Geophys.* 2013, Vol. 56 n. 4.
- Ricco, C., Petrosino, S., Aquino, I., Del Gaudio, C. and Falanga, M. (2019) Some Investigations on a Possible Relationship between Ground Deformation and Seismic Activity at Campi Flegrei and Ischia Volcanic Areas (Southern Italy). *Geosciences*. 2019, Vol. 9 Pag. 1-24. ISSN:2076-3263.
- Sansivero, F., Vilardo, G., & Buonocunto, C. (2025). Development of a Thermal Infrared Network for Volcanic and Environmental Monitoring: Hardware Design and Data Analysis Software Code. *Sensors*, 25(13), 4141.

- Sansivero, F., & Vilardo, G. (2024). Twenty Years of Thermal Infrared Observations (2004–2024) at Campi Flegrei Caldera (Italy) by the Permanent Surveillance Ground Network of INGV-Osservatorio Vesuviano. *Remote Sensing*, 16(17), 3352. <https://doi.org/10.3390/rs16173352>
- Sansivero, F.; Vilardo, G.; Buonocunto, C. (2025). Development of a Thermal Infrared Network for Volcanic and Environmental Monitoring: Hardware Design and Data Analysis Software Code. *Sensors* (Basel, Switzerland), 25.13: 4141. <https://doi.org/10.3390/s25134141>
- Schüller, K. (2020). Theoretical basis for earth tide analysis and prediction. Manual-01-ET34-X-V, Surin, Thailand, PP. 217.
- Beilin, J. (2006). Apport de la gravimétrie absolue à la réalisation de la composante gravimétrique du Réseau Géodésique Français. *Inst. Géogr. Natl., Paris, France*.
- Silvestri M., Diaz J.A., Marotta E., Dalla Via G., Bellucci Sessa E., Caputo T., Buongiorno M.F., Sansivero F., Musacchio M., Belviso P., Carandente A., Peluso R., Nave R., Vilardo G., Doumaz F. and E. Corrales (2017). The 2016 field campaign of la Solfatara volcano: monitoring methods and instruments for volcanic surveillance. *Rapporti Tecnici INGV*, ISSN 2039-7941, Anno 2017, Numero 380.
- Tamburello G., S. Caliro, G. Chiodini, et al. (2019). Escalating CO2 degassing at the Pisciarelli fumarolic system, and implications for the ongoing Campi Flegrei unrest, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.07.005>.
- Trombetti, T., Burigana, C., De Martino, P., Guardato, S., Macedonio, G., Iannaccone, G. and Chierici, F. On the seafloor horizontal displacement from cGPS and compass data in the Campi Flegrei caldera. *J Geod* 97, 62 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01751-z>

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 sismiche 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 nella convenzione biennale attuativa per le attività di servizio in esecuzione dell'Accordo Quadro tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'INGV (Periodo 2024-2026), alle attività previste nell'ambito del Sistema Nazionale di Protezione Civile. In particolare, questo documento, redatto in conformità all'Allegato Tecnico 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 arrecati 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.