



RAPPORTI TECNICI INGV

Monitoraggio multiparametrico presso la
Mefite d'Ansanto (Irpinia): installazione,
configurazione e primi risultati



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

526

**Direttore Responsabile**

Daniela VERSACE

Editor in Chief

Milena MORETTI

Editorial Board

Laura ALFONSI

Sofia BARANELLO

Carla BARNABA

Christian BIGNAMI

Simona CARANNANTE

Maria Grazia CIACCIO

Luca COCCHI

Luigi CUCCI

Lorenzo CUGLIARI

Elisabetta D'ANASTASIO

Alessia DI CAPRIO

Roberto DI MARTINO

Domenico DI MAURO

Domenico DORONZO

Filippo GRECO

Alessandro IAROCCI

Mario MATTIA

Daniele MELINI

Anna NARDI

Lucia NARDONE

Marco OLIVIERI

Arianna PESCI

Stefano PINTORE

Pierangelo ROMANO

Paola SBARRA

Davide SCAFIDI

Maurizio SOLDANI

Sara STOPPONI

Umberto TAMMARO

David ZULIANI

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Presidente INGV

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma

Tutti i diritti riservati

www.ingv.it



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

RAPPORTI TECNICI INGV

Monitoraggio multiparametrico presso la
Mefite d'Ansanto (Irpinia): installazione,
configurazione e primi risultati

*Multiparametric monitoring at the Mefite
d'Ansanto site (Irpinia): installation,
configuration and first results*

Nicolò Carra^{1,*}, Claudio Ventura Bordenca¹, Elisa Ferrari¹, Andrea Luca Rizzo^{1,2}, Marco Massa¹,
Alessandra Sciarra³, Marino Domenico Barberio³, Luca Pizzino³, Sandro Rao⁴, Stefano Farroni⁴

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano

²Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 1

⁴INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Nazionale Terremoti

*Corresponding author

Accettato 5 giugno 2026 | Accepted 5 June 2026

Come citare | How to cite Carra, N., Ventura Bordenca, C., Ferrari, E., Rizzo, A. L., Massa, M., Sciarra A., Domenico Barberio, M., Pizzino, L., Rao, S., Farroni, S. (2026). Monitoraggio multiparametrico presso la Mefite d'Ansanto (Irpinia): installazione, configurazione e primi risultati. *Rapporti Tecnici INGV*, 526, 32 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/526>

In copertina Foto aerea del complesso di degassamento delle Mefite d'Ansanto | Cover Aerial photograph of the Mefite d'Ansanto degassing complex

526

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	7
Introduzione	7
1. Inquadramento dell'area di studio	8
1.1 Contesto geotettonico	8
1.2 Composizione chimica, isotopica e origine della falda mineralizzata e delle emissioni gassose	10
2. Installazione della sonda multiparametrica	11
2.1 Scelta della profondità di installazione	12
2.2 Configurazione della sonda multiparametrica	12
2.3 Log di pozzo e registrazione dati	14
2.4 Configurazione del modem	15
2.5 Acquisizione dei dati dalla sonda multiparametrica	17
3. Installazione della stazione meteorologica	18
3.1 Stazione meteo	18
3.2 Installazione del gruppo sensori	19
3.3 Installazione della centralina WeatherLink Live	19
3.4 Acquisizione dei dati meteorologici	20
3.5 Considerazioni preliminari sulla correlazione dei parametri monitorati	20
4. Prospezione geochimica	21
4.1 Misurazioni effettuate con il Dräger XAM-8000	21
4.2 Misurazioni effettuate con il flussimetro portatile Thearen	23
Conclusioni	25
Bibliografia	26
Sitografia	29

Riassunto

Il presente rapporto illustra le attività di installazione e messa in funzione di una stazione multiparametrica per il monitoraggio in continuo e a lungo termine di una polla di acqua con gas gorgogliante presso la Mefite d'Ansanto (Irpinia, Appennino Meridionale), uno dei più significativi esempi di degassamento naturale in area non vulcanica a livello mondiale. Si riportano inoltre le misurazioni effettuate nel corso di una prospezione geochimica volta alla rilevazione dei gas diffusi dal suolo e dei gas liberi in aria. Le emissioni gassose al sito rappresentano un laboratorio naturale di particolare interesse per lo studio dei processi di degassamento tettonico e delle loro possibili correlazioni con la sismicità e la dinamica crostale. L'installazione multiparametrica ha previsto il posizionamento di una sonda CTD (conducibilità elettrica, temperatura, livello acqua) all'interno di un pozzo artesiano gorgogliante. Inoltre, una stazione meteorologica compatta è stata collocata nelle vicinanze in modo da correlare le variazioni registrate nel pozzo con i parametri meteo. La prospezione dei gas è stata svolta utilizzando (i) un flussimetro portatile accoppiato a una camera d'accumulo e (ii) un rilevatore multi-gas. I dati preliminari evidenziano una variabilità temporale dei parametri registrati, presumibilmente legata all'attività di gorgogliamento dei gas in acqua. Il monitoraggio si propone di comprendere meglio la dinamica del degassamento in relazione con la tettonica e la sismicità dell'Appennino Meridionale. I dati relativi al monitoraggio confluiscono nel database MUDA (MULTiparametric DATabase) dove sono liberamente scaricabili tramite la pagina web [1].

Abstract

This report describes the installation of a multiparametric station for continuous, long-term monitoring at the Mefite d'Ansanto site (Irpinia, Southern Apennines), one of the most significant examples of natural degassing in a non-volcanic area worldwide. It also presents measurements carried out during a geochemical survey aimed at detecting both soil-diffused gases and free gases in air. The gas emissions provide a natural laboratory of particular interest for studying tectonic degassing processes and their possible correlations with seismicity and crustal dynamics. The multiparametric installation included the placement of a CTD probe (conductivity, temperature, depth) inside a bubbling artesian well. In addition, a compact meteorological station was installed nearby to correlate variations recorded in the well with meteorological parameters. Geochemical gas survey in the area was carried out using (i) a portable fluxmeter coupled with an accumulation chamber and (ii) a multi-gas detector. Preliminary data highlight the temporal variability of the recorded parameters, presumably related to bubbling activity. The presented monitoring aims to improve our understanding of crustal fluid dynamics in relation to the seismicity of the Southern Apennines. Monitoring data are transmitted to and stored in MUDA (MULTiparametric DATabase). They are freely available at link [1].

Keywords Mefite d'Ansanto; Monitoraggio multiparametrico; Degassamento di CO₂ | Multiparametric monitoring; CO₂ degassing

Introduzione

Il complesso delle Mefite, situato nella Valle d'Ansanto in Irpinia (Appennino Meridionale), rappresenta uno dei più importanti e studiati esempi di degassamento naturale della

Terra [Mörner and Etiope, 2002]. Le emissioni di gas a bassa temperatura sono costituite principalmente da anidride carbonica (CO_2) con contributi minori di acido solfidrico (H_2S), metano (CH_4), azoto non atmosferico (N_2) e altre specie gassose in traccia [Italiano et al., 2000]. Le peculiari caratteristiche geologiche e geochemiche del sito lo rendono un modello di riferimento per lo studio dei processi di degassamento profondo e della migrazione dei fluidi in relazione all'assetto geotettonico, in un contesto geodinamico attivo ma privo di vulcanismo recente. Le stime di flusso attualmente disponibili indicano una emissione di CO_2 di circa 2000 tonnellate al giorno [Chiodini et al., 2010], valore che pone le Mefite come la maggiore sorgente naturale di CO_2 in ambiente non vulcanico sinora misurata. Tale degassamento persistente riflette la presenza di un efficiente sistema di trasporto dei fluidi dalla crosta profonda verso la superficie, sostenuto da una sorgente di CO_2 di grande estensione e produttività.

Il presente rapporto documenta l'installazione di una stazione multiparametrica e le attività di prospezione geochemica dei gas emessi condotte nell'area di studio. In particolare, la stazione multiparametrica è progettata per acquisire dati ad alta frequenza (1 dato/minuto), in continuo e a lungo termine. L'obiettivo è quello di osservare le variazioni dei parametri chimico-fisici e di integrarle con le dinamiche sismotettoniche locali. L'approccio multiparametrico si basa su analoghe esperienze internazionali che hanno dimostrato l'efficacia della combinazione di monitoraggio geochemico, idrogeologico e geofisico in contesti non vulcanici [Du et al., 2008; Choubey et al., 2009; Yasuoka et al., 2009; Arora et al., 2012; Huang et al., 2017]. In Italia, il monitoraggio dei fluidi in aree tettonicamente attive ha registrato un notevole sviluppo negli ultimi due decenni grazie a numerosi progetti e reti di osservazione: IDRO-NORD, IDRO-CALABRIA, IDRO-DEEP CO_2 (Progetto INGV DL-50), la Rete Idrogeochemica Nazionale, i monitoraggi condotti da INGV, CNR, Università di Bari e di Napoli nel settore appenninico, nonché il progetto COSMOS in collaborazione con l'Università di Perugia [De Gregorio et al., 2012; Chiaraluce et al., 2014; Barberio et al., 2017; Cannelli et al., 2018; De Luca et al., 2018; Commerci et al., 2019; D'Alessandro et al., 2020; Franchini et al., 2021; Martinelli et al., 2021; Di Luccio et al., 2022; Gori and Barberio, 2022; Ferrari et al., 2024; Tarantino et al., 2024]. In questo quadro, l'INGV ha condotto nell'ambito del progetto FURTHER [2] delle attività di monitoraggio multiparametrico nell'area della Mefite d'Ansanto con l'obiettivo di integrare osservazioni sismologiche, geodetiche e geochemiche al fine di caratterizzare in modo più completo la dinamica del sistema. Il caso di studio presentato in questo rapporto tecnico costituisce il primo esempio di monitoraggio idrogeochemico di un pozzo artesiano presso le Mefite, caratterizzato da intenso gorgogliamento direttamente collegato alle forti emissioni gassose caratteristiche del luogo. Tale attività rappresenta una opportunità per approfondire lo studio dei processi di degassamento profondo e migliorare le strategie osservative in un contesto scientifico simile, lavorando in condizioni di maggiore sicurezza.

1. Inquadramento dell'area di studio

1.1 Contesto geotettonico

La Mefite d'Ansanto si inserisce nel quadro strutturale dell'Appennino Meridionale (Figura 1), caratterizzato da catena a vergenza orientale, formatasi in seguito alla subduzione verso Ovest della litosfera Apula [Doglioni et al., 1999].

L'area di studio ricade nella zona di avanfossa intrappenninica costituita da depositi marnosi silicoclastici di età triassico-cretacea e sedimenti di acque profonde appartenenti al bacino di Lagonegro e alle unità delle Argille Scagliose (unità Sicilide). A partire dal Pleistocene medio-superiore, la zona assiale della catena è stata soggetta a sollevamento e a una tettonica estensionale NE-SW che ha portato alla formazione di faglie sismogenetiche profonde fino a

15 km con andamento NW-SE [Cinque et al., 1993; Hippolyte et al., 1994].

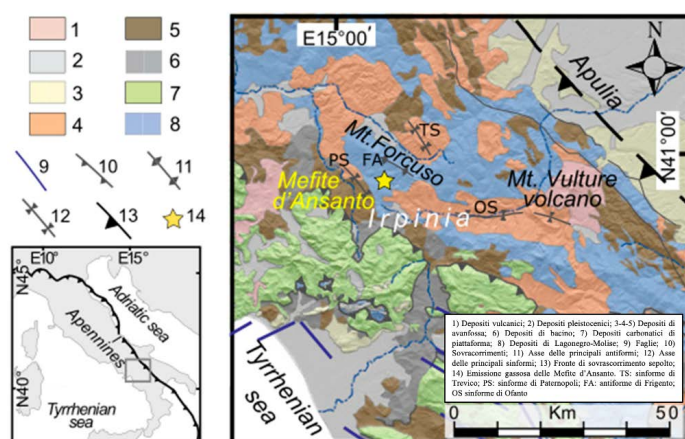


Figura 1 Carta geologica dell'Irpinia (Appennino Meridionale) mostrante la localizzazione del sito di Mefite d'Ansanto [Morabito et al., 2023].

Figure 1 Geological map of the Irpinia region in the Southern Apennines showing the location of Mefite d'Ansanto [Morabito et al., 2023].

Da un punto di vista strutturale, la Mefite d'Ansanto è collocata tra l'antiforme di Frigento (FA) e la sinforme di Paternopoli (PS) [Pischiutta et al., 2013]. L'emissione di gas si colloca in prossimità della zona sismogenetica dell'Irpinia e del Sannio, aree note per eventi distruttivi nel passato, tra cui il terremoto di magnitudo 6.81 del 23 Novembre 1980 (Figura 2; [Del Pezzo et al., 1983; Rovida et al., 2020]).

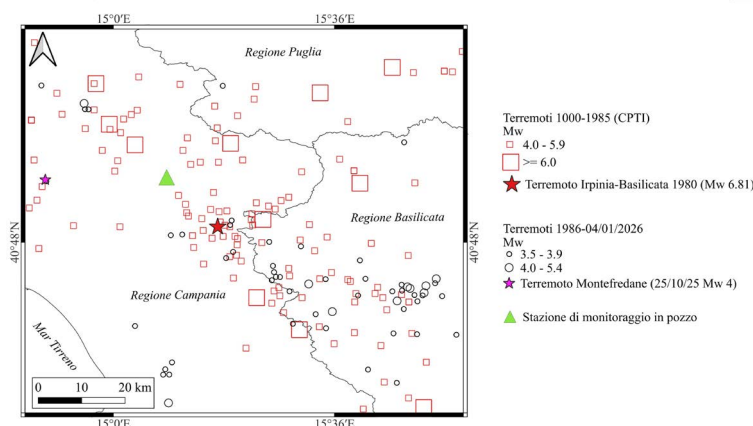


Figura 2 Mappa mostrante la sismicità storica (dal catalogo terremoti CPTI per il periodo 1000-1985, a partire dalla magnitudo 4 [Rovida et al., 2020] e strumentale (dal 1986 al 4 gennaio 2026, a partire dalla magnitudo 3.5; [3]) attorno al sito di monitoraggio (triangolo verde) descritto nel presente rapporto. Il terremoto del 1980 (Irpinia-Basilicata) è messo in evidenza con una stella rossa. Con una stella magenta è invece contrassegnato il recente evento di magnitudo 4, verificatosi durante il periodo di osservazione a circa 30 km dalla stazione di monitoraggio.

Figure 2 Map showing historical seismicity (from the CPTI earthquakes catalogue for the period 1000-1985, for magnitudes ≥ 4.0 ; [Rovida et al., 2020]) and instrumental seismicity (from 1986 to January 4th 2026, for magnitudes ≥ 3.5 ; [3]) around the monitoring site (green triangle) described in this report. The 1980 Irpinia-Basilicata earthquake is highlighted with a red star. The recent Mw 4.0 seismic event, occurred during the observation period at a distance of approximately 30 km from the monitoring station, is indicated by a magenta star.

Tale collocazione in un contesto tettonico attivo giustifica la presenza di fratture e zone di debolezza profonde che fungono da vie preferenziali per la risalita dei fluidi. Il campo principale di emissione gassosa si sviluppa all'interno di una depressione avente diametro di circa 100 m (area in grigio in Figura 3a), ubicata a monte del solco vallivo, a circa 600 m di quota [La Rocca et al., 2023]. Al centro della conca è presente l'emissione più attiva che si manifesta come una pozza di fango gorgogliante con un diametro di circa 10 m attiva tutto l'anno. Attorno a quest'area, in diversi punti, il gas viene invece rilasciato direttamente dal suolo. L'intenso flusso gassoso produce un rumore continuo e ben percepibile fino a decine di metri di distanza. Nell'area sono presenti ulteriori sfiati secondari disposti lungo un allineamento NNO-SSE, a qualche centinaio di metri dal campo di emissione principale. La fuoriuscita di gas si prolunga poi verso ovest, incanalandosi nella valle (arancione in Figura 3a). In prossimità delle bocche di emissione e nel fondo valle, si accumulano elevate concentrazioni di anidride carbonica (CO_2) e idrogeno solforato (H_2S), gas noti per la loro pericolosità in ambienti confinati e poco ventilati. Il rischio dell'area è inoltre testimoniato da incidenti con esito fatale, avvenuti a seguito dell'esposizione diretta a queste emissioni.

L'installazione multiparametrica e la prospezione geochemica sono state svolte presso una polla gorgogliante originatasi all'interno di un pozzo preesistente, situato a circa 200 metri a nord del complesso principale, in corrispondenza di un intenso degassamento di CO_2 e H_2S . (Figura 3b).

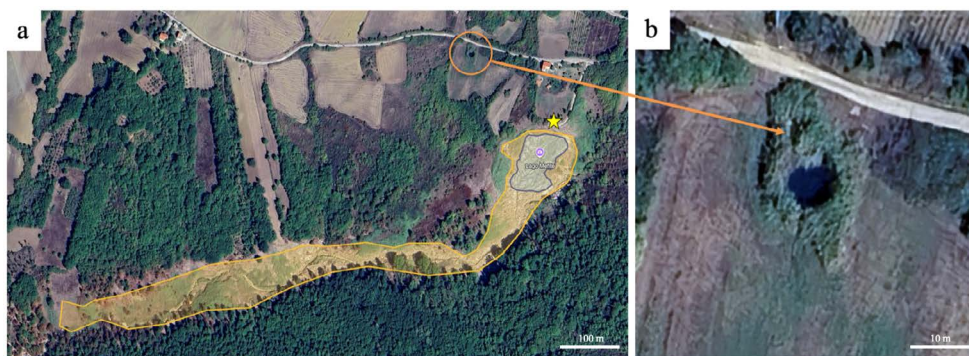


Figura 3 a) Foto aerea del complesso di degassamento delle Mefite d'Ansanto (il campo di emissione principale circoscritto nell'area in grigio; l'area in arancione mostra il solco vallivo; la stella gialla indica il punto panoramico); **b)** zoom sull'area di installazione della stazione idrogeochemica.

Figure 3 a) Aerial photograph of the Mefite d'Ansanto degassing complex (grey area: main emission field; orange area: valley trough; yellow star: panoramic viewpoint); b) close-up view of the installation area of the hydrogeochemical station.

1.2 Composizione chimica, isotopica e origine della falda mineralizzata e delle emissioni gassose

I valori dei parametri chimico-fisici della falda mineralizzata che alimenta il pozzo artesiano sono riportati in Amoresano et al. [2015], e sono di seguito elencati: temperatura 20.1°C, conducibilità elettrica 4330 microS/cm, pH 6.06 ed Eh -233 mV. Questi due ultimi parametri sono tipici, rispettivamente, di sistemi acquosi con abbondante CO_2 e H_2S in soluzione. La composizione chimica, relativa agli elementi maggiori, consente di classificare l'acqua nella facies idrochimica bicarbonato-calcica, con un evidente arricchimento in Na, Mg e SO_4 da collegare alla dissoluzione di carbonati e di depositi evaporitici (gesso), che certifica l'alimentazione profonda del circuito in studio. Il valore isotopico di O ($\delta^{18}\text{O} = -8.88\text{‰}$ V-SMOW) e

H ($\delta D = -52.4\text{‰}$ V-SMOW) indica un'origine meteorica dell'acqua mineralizzata; il forte flusso di gas associato alla fase acquosa ha probabilmente alterato il valore isotopico dell'ossigeno (rendendolo più negativo) tramite uno scambio isotopico tra CO_2 e H_2O [Amoresano et al., 2015]. Questo processo è tipico di sistemi caratterizzati da alto rapporto gas/acqua, come riscontrato al sito in questione.

I gas emessi dalla Mefite sono dominati da CO_2 (≈ 98 vol%), con quantità minori di N_2 non atmosferico, H_2S , CH_4 e altre specie gassose in traccia [Italiano et al., 2000; Chiodini et al., 2010]. La manifestazione superficiale di tali gas può essere ricondotta al processo di degassamento regionale osservato lungo l'Appennino attivo da almeno diverse migliaia di anni [Sinno, 1969; Chiodini et al., 2010]. L'entità dei flussi osservati suggerisce la presenza di una sorgente profonda in grado di sostenere nel tempo un'emissione così massiccia e continuativa. L'eccezionale persistenza e abbondanza delle emissioni sollevano pertanto interrogativi rilevanti circa l'estensione, la natura e il comportamento del serbatoio profondo che alimenta il sistema, nonché sulle modalità di migrazione dei fluidi attraverso la crosta appenninica. La fonte più plausibile delle specie gassose è individuata nel cuneo mantellico localizzato nel settore tirrenico, caratterizzato da un'anomala abbondanza di fluidi derivanti dalla subduzione della placca adriatica [Chiodini et al., 2004; Frezzotti et al., 2009]. L'origine profonda dei fluidi emessi alle Mefite è supportata dalle misure isotopiche, laddove i gas mostrano valori di $\delta^{13}C$ della CO_2 pari a $0,43\text{‰}$ e rapporti isotopici $^3He/^4He$ (espressi come R/Ra) di 2,72 [Italiano et al., 2000; Chiodini et al., 2010]. Tali evidenze sono riscontrate da analisi più recenti condotte direttamente sulla fase gassosa emessa dal pozzo, che hanno rilevato un rapporto R/Ra pari a 2,83, confermando l'origine profonda del gas, probabilmente riconducibile a una miscelazione di fluidi di provenienza mantellica (circa 40–50%) e crostale [Sciarra et al., 2023]. Questa firma isotopica è comparabile a quella dei gas rilasciati dai sistemi vulcanici attivi del Vesuvio e dei Campi Flegrei, situati 60–80 km a ovest della Mefite, i quali presentano valori di $\delta^{13}C$ compresi tra -2‰ e $0,5\text{‰}$ e rapporti R/Ra tra 2,6 e 3,4 [Caliro et al., 2007], confrontabili a quelli delle Mefite. Questi riscontri hanno portato Italiano et al. [2000] ad ipotizzare la presenza di corpi magmatici intrusi nella porzione assiale dell'Appennino Meridionale, mentre studi successivi hanno suggerito un ruolo dominante delle interazioni tra fluidi derivati dal mantello superiore e carbonati della Piattaforma Apula interna [Giustini and Brilli, 2020]. I fluidi profondi risalgono attraverso la rete interconnessa di fratture e faglie normali, intrappolandosi in serbatoi crostali costituiti da calcari permeabili di età mesozoica appartenenti alla Piattaforma Apula Interna e ricoperti da sedimenti argillosi delle Unità Lagonegresi mioceniche [Chiodini et al., 2010]. Studi recenti hanno evidenziato una correlazione tra il degassamento tettonico di CO_2 e i processi di fagliazione e la sismicità dell'Appennino, che ne favoriscono la manifestazione in superficie [Chiodini et al., 2020; La Rocca et al., 2023].

2. Installazione della sonda multiparametrica

La sonda multiparametrica è stata installata presso una polla di acqua creatasi in corrispondenza di un pozzo artesiano realizzato in precedenza (Figura 4; $40^\circ 58' 33.6''N$ $15^\circ 08' 41.5''E$). Essa è caratterizzata da un evidente ed intenso gorgogliamento, risultato della sovrasaturazione delle specie gassose disciolte nell'acqua di falda (in particolare CO_2). Ai fini del monitoraggio, questa polla è stata preferita a quelle naturali formatesi nell'area di emissione principale (Figura 3a) sia per questioni di sicurezza sia per evitare eventuali variazioni stagionali. Alla sonda multiparametrica (nota come *Diver*, Figura 5), è stato collegato un modem che consente la trasmissione dei dati. Di seguito vengono descritte in modo dettagliato le fasi operative di installazione.

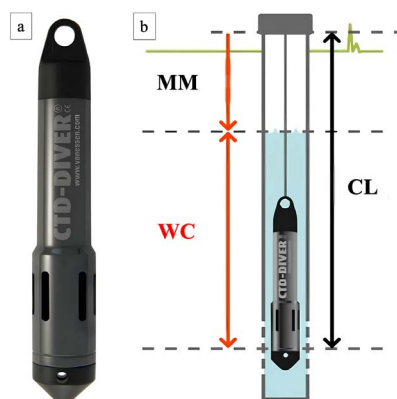
Figura 4 Immagine di dettaglio della polla gorgogliante nella quale è stata installata la sonda multiparametrica.

Figure 4 Detail image of the bubbling spring where the multiparametric probe was installed.



Figura 5 a) CTD-Diver nella configurazione base [4]; **b)** schema della misurazione della colonna d'acqua sopra il CTD-Diver e del livello falda. MM: manual measurement, WC: water column, CL: cable length.

Figure 5 a) CTD-Diver in its standard configuration [4]; **b)** schematic representation of the measurement of the water column above the CTD-Diver and the phreatic level. MM: manual measurement, WC: water column, CL: cable length.



2.1 Scelta della profondità di installazione

Per la profondità di installazione della sonda multiparametrica è stata scelta la profondità di circa 2 metri. Tale valore deriva dal fatto che all'interno della polla vi è un'ostruzione che impedisce di raggiungere profondità più elevate. Stante il forte degassamento della polla ed il carattere di artesianità del pozzo, questa profondità è ritenuta sufficiente per i presupposti del monitoraggio a lungo termine.

È plausibile che il livello piezometrico mostri variazioni stagionali legate alle condizioni meteorologiche e idrologiche. Tuttavia, si prevede che l'abbassamento del livello dell'acqua nella polla non sia tale da compromettere la continuità delle misure.

2.2 Configurazione della sonda multiparametrica

La sonda utilizzata è un CTD-Diver (Van Essen; Figura 5, [4]), un data-logger di tipo subacqueo in grado di misurare simultaneamente tre parametri (Tabella 1): la pressione dell'acqua (espressa in hPa), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e la conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Il sensore di pressione è di tipo ceramico piezo-resistivo (allumina Al_2O_3), mentre quello di conducibilità è a 4 elettrodi con elettrodi in platino. Tali parametri risultano particolarmente utili per il monitoraggio idrogeochimico in ambienti naturali come sorgenti, polle, pozzi o laghi e sono adatti a osservare eventuali variazioni legate a dinamiche geochimiche e/o biologiche. La casa produttrice, fornisce cinque modelli, ottimizzati per diversi range di colonna d'acqua sovrastante la sonda: 10m, 50m, 100m, 150m e 200m. È essenziale scegliere il modello corretto in modo che la

pressione della colonna d'acqua al di sopra del Diver non ecceda il valore massimo previsto dal modello stesso (Figura 5b). Una errata installazione può comportare danni alla sensoristica, fino ad arrivare di conseguenza alla mancata registrazione o alla perdita dei dati. Per la nostra installazione è stato scelto un Diver da 10 m data l'esigua profondità raggiungibile all'interno della polla. Successivamente si è predisposto il collegamento tra Diver e modem tramite il cavo ottico-digitale (MDC). Le lunghezze disponibili in commercio vanno da 15 a 250 metri. Per una scelta corretta si deve considerare la logistica del sito di installazione (ad esempio, profondità di installazione del Diver, distanza tra Diver e modem). Per le caratteristiche del sito di Mefite si è optato per un cavo da 15 m. La configurazione del Diver è avvenuta attraverso il software Diver-Office [5], fornito dal produttore. I passaggi principali sono stati:

- creare un nuovo progetto nominato con il nome del sito;
- aggiungere un *monitoring point* denominato VEI_xxxx (dove xxxx è il numero seriale del Diver utilizzato);
- collegare il Diver al PC tramite base ottica (o tramite connettore MDC se il Diver è già collegato al cavo MDC);
- accedere alla sezione "Diver" e impostare i seguenti parametri: (i) Conductivity type: Specific Conductivity, (ii) Conductivity range: 30.00 mS/cm, (iii) Sample interval: 60 s;
- salvare la configurazione cliccando su "Program".

L'intervallo di campionamento selezionato (60 s) si traduce in un monitoraggio in continuo ad alta frequenza.

Marca	Modello	Tipologia	Range di campionamento	Risoluzione e accuratezza	Frequenza di campionamento
Van Essen	CTD-Diver	Sonda idrogeochimica per misurazione della temperatura, conducibilità elettrica e pressione dell'acqua	Pmax: 10 mH ₂ O; Temp: da -20 a +80°C; Cond: 0-120 mS/cm	<i>Risoluzione:</i> Liv: 0.2 cmH ₂ O; Temp: 0.1°C; Cond: 0.2 mS/cm <i>Accuratezza:</i> Liv: ±0.05%; Temp: ±0.1°C; Cond: ±1%	Programmabile (0.5 s - 99 h)
Eijkelpkamp	GDT-S Prime	Modem per l'acquisizione e invio dati del CTD-Diver. Misura temperatura e pressione atmosferica, usata per la compensazione barometrica del dato di pressione CTD	PB: da 10 a 1200 mbar Temp: da -40 a +85 °C	Barometro integrato: <i>Risoluzione:</i> 0.01 mbar <i>Accuratezza:</i> ± 2 mbar (nell'intervallo tra 300 e 1100 mbar, a temperature tra 0 e 50 °C) Termometro integrato: <i>Risoluzione:</i> 0.01 °C <i>Accuratezza:</i> ± 0.8 °C (a 25 °C) / ± 2.0 °C (nell'intervallo tra 0 e 50 °C) Orologio interno: <i>Accuratezza:</i> superiore a 1 minuto/giorno	Programmabile (60 s - 1 settimana)

Davis	Vantage Vue 2	Stazione metereologica wireless autoalimentata a pannello solare	Temp: -40/65°C; UR: 1-100%; Vento: 1-67 m/s; PB: 540-1100 hPa	<i>Risoluzione:</i> Temp: 0.1°C; UR: 1%; Vento: 0.1 m/s; PB: 0.1 hPa/mb; Rain: 0.2 mm <i>Accuratezza:</i> Temp: ±0.3°C; UR: ±2%; Vento: ±5%; PB: ±1.0 hPa; Rain ±4%.	60 s
Dräger	XAM-8000	Rilevatore portatile multi-gas (CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, CH ₄ , H ₂)	CO ₂ : 0-5% vol; O ₂ : 0-25% vol; H ₂ S: 0-200 ppm; CH ₄ : 0-44k ppm; H ₂ : 0-2000 ppm	<i>Risoluzione:</i> CO ₂ : 0,01% vol; O ₂ : 0,1% vol; H ₂ S: 0,1 ppm; CH ₄ : 440 ppm; H ₂ : 5 ppm. <i>Accuratezza:</i> ±2% (CO ₂ , H ₂ S e CH ₄), ±0.2% (O ₂)	~1 s
Thearen	Thearen SFC / WITREC® Diffuse Flux Meter	Camera di accumulo per misurazione dei flussi di gas diffusi dal suolo	CO ₂ : 0-20.000 ppm; CH ₄ : 0-10k ppm; H ₂ S: 0-1k ppm; CO ₂ : 0-20k ppm; PF: 50-110 kPa; Flusso: >0.1 mmol m ⁻² d ⁻¹ ;	<i>Accuratezza:</i> CO ₂ : ±3% (~1 ppm); CH ₄ : 1 ppm; H ₂ S: 0.1 ppm; CO ₂ : 1 ppm; PF: ±0.4 kPa;	1-2 Hz (ogni 0.5-1 s)

Tabella 1 Descrizione delle specifiche tecniche della strumentazione utilizzata nell'installazione della stazione di monitoraggio presso le Mefite d'Ansanto. Profondità massima (Pmax), mH₂O (metri d'acqua), Livello colonna d'acqua (Liv), Temperatura (Temp), Conducibilità elettrica (Cond), Pressione barometrica (PB), Umidità relativa (UR), Pressione di flusso (PF).

Table 1 Description of the technical specifications of the instrumentation used for the installation of the monitoring station at the Mefite d'Ansanto. Maximum depth (Pmax), mH₂O (water column), Water column level (Liv), Temperature (Temp), Electric conductivity (Cond), Barometric pressure (PB), Relative humidity (UR), Flow pressure (PF).

2.3 Log di pozzo e registrazione dati

Dopo la configurazione del Diver è buona prassi eseguire un log della colonna d'acqua in tempo reale accedendo alla funzione Real Time, utile per verificare il corretto posizionamento del Diver alla profondità scelta e per controllare eventuali importanti variazioni di temperatura e conducibilità elettrica con la profondità. Per far ciò è necessario collegare il cavo MDC al Diver e al computer tramite adattatore USB. Il software mostrerà i seguenti dati (Figura 6a, b): pressione idrostatica (cmH₂O), spessore della colonna d'acqua (cm), temperatura (°C) e conducibilità elettrica specifica (µS/cm). Durante la fase di discesa, al raggiungimento del livello di falda da parte del sensore, si registrano variazioni repentine nei tracciati dei parametri monitorati.

È importante fare scendere lentamente il Diver per evitare saturazioni del sensore o perdita di precisione. Una volta raggiunta la profondità desiderata, si fissa il cavo MDC in superficie in modo che la sonda non possa scendere ulteriormente verso il basso. Successivamente, si interrompe la visualizzazione in tempo reale, si salva il file Excel e si torna alla schermata principale per avviare ufficialmente la registrazione dati. Quest'ultima avviene cliccando su START nella finestra Diver. Il data-logger è dotato di una memoria interna che consente

l'archiviazione in locale dei dati campionati. I dati vengono poi successivamente trasmessi via e-mail tramite il modem dedicato. Un aspetto importante da considerare è che il data-logger misura la pressione totale, comprensiva sia della colonna d'acqua che grava sul sensore sia della pressione atmosferica sovrastante. Di conseguenza, eventuali variazioni barometriche possono influenzare direttamente il valore registrato, richiedendo una correzione (*Baro Compensation*) mediante il valore di pressione barometrica registrato dal modem.

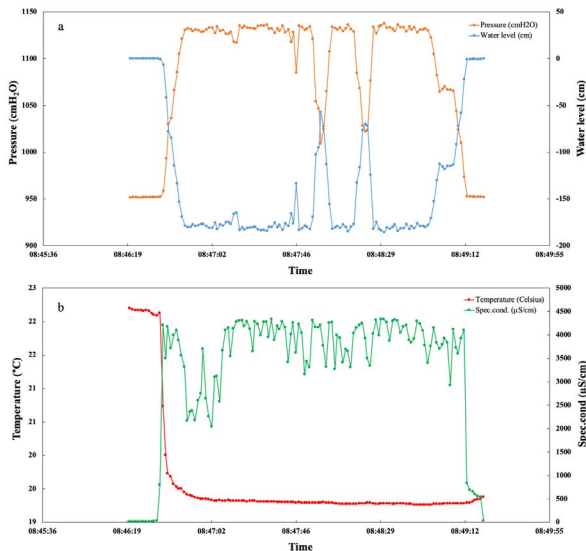


Figura 6 Grafici mostranti i log del pozzo di Mefite con **a)** variazioni di pressione totale misurata dal Diver e colonna d'acqua, **b)** variazioni di temperatura e conducibilità elettrica specifica dell'acqua.

Figure 6 Graphs showing the Mefite well logs displaying: **a)** variations in hydrostatic pressure and water column, **b)** variations in water temperature and specific electrical conductivity.

2.4 Configurazione del modem

Il GDT-S Prime (Global Data Transmitter Single), prodotto da Eijkelkamp [6], è un sistema di trasmissione dati di tipo *plug and play* progettato per operare senza la necessità di configurazioni complesse o interventi tecnici preliminari (Figura 7; Tabella 1). L'attivazione del dispositivo richiede solo alcune semplici operazioni, tra cui il collegamento del cavo MDC del data-logger, l'inserimento del pacco batteria e della scheda SIM, nonché il montaggio dell'antenna LTE. Una volta completati questi passaggi è possibile accedere al pannello di configurazione attraverso il QR code stampato all'interno del modem, che consente di impostare i parametri operativi e verificare il corretto funzionamento del sistema (Figura 7).

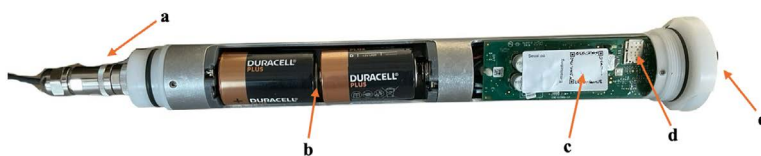


Figura 7 Schema strutturale interno del Modem GDT-S Prime. **a)** connettore per il cavo MDC; **b)** pacco batteria; **c)** QR code per connessione al portale di configurazione; **d)** SIM card per connessione LTE; **e)** connettore antenna LTE.

Figure 7 Internal structural scheme of the GDT-S Prime Modem. **a)** connector for the MDC cable; **b)** battery pack; **c)** QR code for access to the configuration portal; **d)** SIM card for LTE connection; **e)** LTE antenna connector.

L'interfaccia online permette la selezione e l'inserimento della frequenza di campionamento, degli indirizzi e-mail dei destinatari che vogliono ricevere i dati, l'intervallo di invio dei dati

tramite e-mail e altri dettagli operativi (Figura 8). Inoltre, tramite essa è possibile monitorare da remoto il corretto funzionamento del sistema visualizzando lo stato della batteria del modem e del data-logger, l'ultima connessione effettuata al server e la forza del segnale LTE (espresso in dBm).

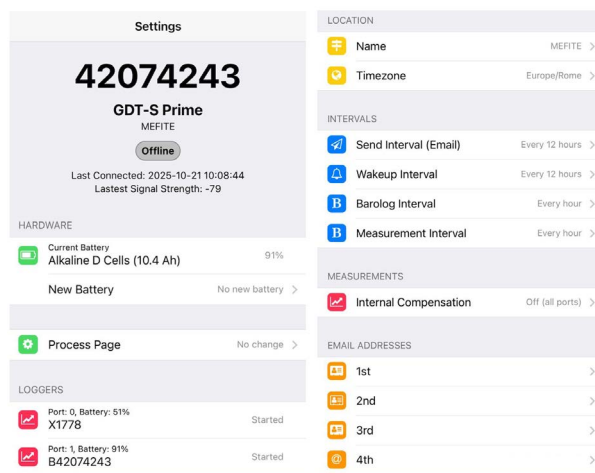


Figura 8 Interfaccia grafica della web app per il controllo e l'impostazione dei parametri del modem.
Figure 8 Graphical user interface of the web app for monitoring and configuring the modem parameters.

Dopo aver preparato e configurato il modem, lo si avvia tramite un piccolo magnete avvicinato al sensore presente accanto all'attacco dell'antenna. L'avvio della ricerca di rete viene segnalato tramite luce verde lampeggiante. Se l'aggancio va a buon fine, la luce rimane fissa per alcuni secondi e poi si spegne. A questo punto si accede al portale online associato (Figura 8, [6]) per:

- verificare la presenza di PORT 0 (Diver) e PORT 1 (Modem);
- impostare un intervallo di invio dati di 15 minuti, utile per le verifiche preliminari.

A questo punto si controlla che l'e-mail con gli allegati contenenti i dati (VEI e BARO) arrivi regolarmente. Il file VEI contiene tutti i dati della sonda, mentre il BARO riporta i valori di temperatura dell'aria e pressione barometrica registrati dal modem.

Se i dati vengono ricevuti correttamente e le due porte risultano attive il sistema può considerarsi operativo. Dopo essersi sincerati che tutto funzioni a dovere, si imposta l'intervallo di invio delle e-mail alla frequenza desiderata (nel caso di questa installazione, abbiamo scelto ogni 12 ore) e l'intervallo di misurazione barometrica da parte del modem ogni ora (per la compensazione dei dati di pressione idrostatica). Il modem si affida a un'unità di trasmissione intermedia (antenna) in grado di connettersi alla rete LTE in modo da inviare i dati al portale Eijkelpamp. Nel caso dell'installazione presso il sito di Mefite è stata impiegata una SIM multi-operatore 1NCE, tramite la quale si migliora il collegamento alla rete mobile anche in zone con copertura LTE discontinua. Per ulteriore sicurezza è stata collegata al modem un'antenna SIRIO 4G (Figura 9), utile ad amplificare la ricezione del segnale e garantire la trasmissione dei dati anche in condizioni ambientali sfavorevoli. Nonostante il modem sia certificato con grado di protezione IP68 (resistente alla polvere, agli agenti atmosferici e all'immersione temporanea), è buona norma proteggere ulteriormente il dispositivo durante l'installazione, posizionandolo all'interno di cabine tecniche dedicate o in alternativa adottando sistemi di isolamento artigianali con contenitori e involucri in PVC (Figura 9), al fine di garantire una maggiore durata operativa e prevenire eventuali malfunzionamenti.



Figura 9 Installazione modem con antenna SIRIO 4G. L'immagine mostra un esempio di isolamento ideale per installare il modem in esterna e prevenire malfunzionamenti.

Figure 9 Installation of the hydrogeochemical station equipped with SIRIO 4G antenna. The image shows an example of optimal insulation for outdoor installation to prevent malfunctioning.

2.5 Acquisizione dei dati dalla sonda multiparametrica

In questa sezione sono riportati i dati registrati dal Diver installato nella polla riferiti a intervalli temporali di 25 giorni, una settimana e un giorno. Si osserva una continua fluttuazione del livello (Figura 10) e della temperatura e conducibilità elettrica specifica dell'acqua (Figura 11). Tali variazioni risultano verosimilmente riconducibili al fenomeno del gorgogliamento di gas in acqua. Nel caso del livello di falda, la presenza di bolle di gas in prossimità del sensore può generare spazi vuoti temporanei, registrati come delle diminuzioni di pressione, inducendo quindi una falsa variazione di colonna d'acqua percepita dallo strumento. Per quanto riguarda invece la conducibilità elettrica, le oscillazioni rapide possono essere attribuite al rimescolamento continuo della colonna d'acqua causato dal *bubbling* stesso, con conseguente redistribuzione dei sali disciolti provenienti dagli strati rocciosi circostanti. Nel grafico della temperatura (Figura 11) si nota una variazione netta, coerente con l'ipotesi di irraggiamento solare diretto della polla nelle ore centrali della giornata. Sebbene l'incremento termico risulti limitato, ciò può essere spiegato proprio dal moto di rimescolamento indotto dal *bubbling* che impedisce un riscaldamento superficiale marcato dell'acqua.

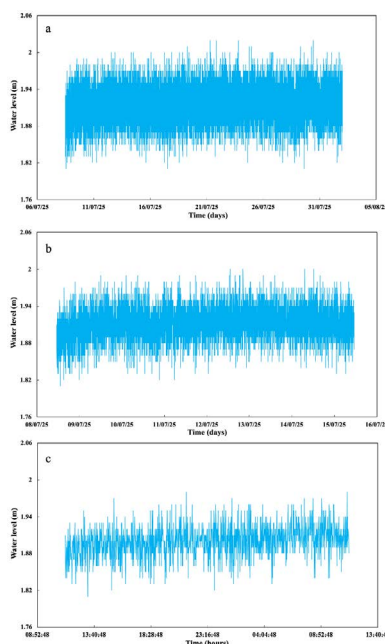


Figura 10 Misurazione della colonna d'acqua nell'intervallo di a) 25 giorni, b) una settimana, e c) un giorno.

Figure 10 Measurement of the water column over a time window of a) 25 days, b) one week, and c) one day.

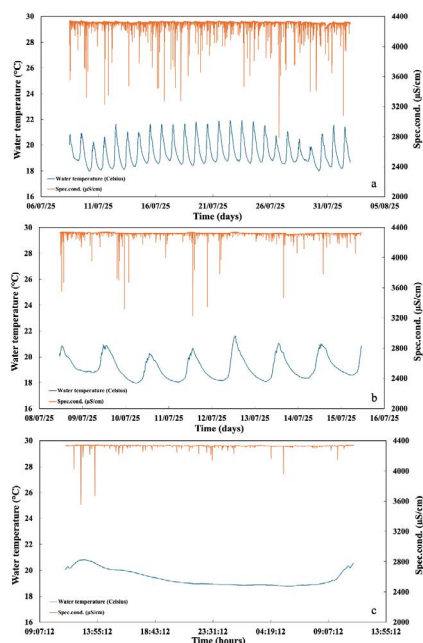


Figura 11 Misurazione della temperatura e conducibilità elettrica specifica dell'acqua nell'intervallo di **a)** 25 giorni, **b)** una settimana, e **c)** un giorno.

Figure 11 Measurement of the water temperature and specific electrical conductivity over a time window of **a)** 25 days, **b)** one week, and **c)** one day.

3. Installazione della stazione meteorologica

3.1 Stazione meteo

La stazione meteorologica è un sistema per il monitoraggio in continuo di parametri atmosferici, tra cui temperatura dell'aria (°C), umidità relativa (%), pressione barometrica (hPa), precipitazioni (mm), velocità (Km/h) e direzione del vento (Tabella 1). L'intero sistema installato alle Mefite è composto da due unità principali prodotte dalla DAVIS Instruments [7]:

- il gruppo sensori Vantage Vue installato sul campo e responsabile della raccolta dei dati;
- la centralina WeatherLink Live per la trasmissione dei dati verso il portale cloud dedicato.

A questi si può affiancare una console interattiva Vantage Vue, opzionale, che consente la visualizzazione locale in tempo reale dei dati meteorologici. Il gruppo sensori (Figura 12a) è alimentato tramite un sistema ibrido costituito da un pannello solare integrato e da una batteria di backup al litio (modello CR-123 da 3 Volt). La comunicazione tra il gruppo sensori e la centralina WeatherLink Live (Figura 12b) avviene attraverso un'antenna radio a bassa potenza, con una portata di circa 300 m in campo aperto, priva di ostacoli strutturali. I dati vengono aggiornati in tempo reale sull'interfaccia online della casa madre [8]. Essa offre anche la possibilità di controllare lo stato di salute delle batterie del gruppo sensori e della centralina, la connessione di rete della centralina, la potenza del segnale proveniente dal gruppo sensori oltre che visualizzare, graficare e scaricare i dati. Il monitoraggio dei parametri meteorologici rappresenta un elemento fondamentale per l'interpretazione complessiva delle dinamiche idrogeochimiche locali, poiché consente di valutare l'influenza delle condizioni meteo sulle variazioni che coinvolgono le falde acquifere nell'area di studio e, di conseguenza, sul comportamento della polla nel tempo.

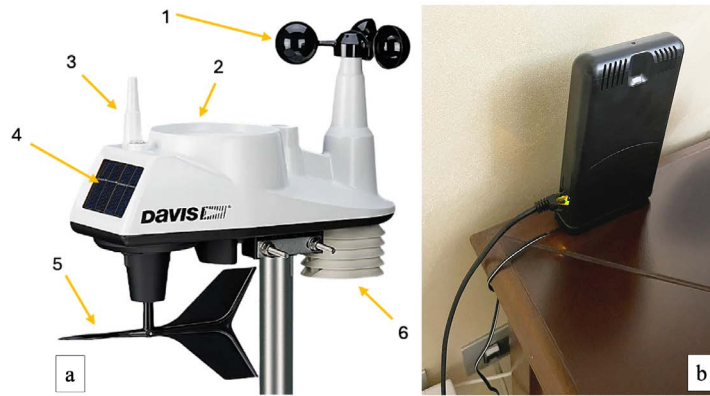


Figura 12 a) Gruppo sensori Davis Vantage Vue nella configurazione operativa costituito dalle seguenti componenti: 1) anemometro, 2) pluviometro, 3) antenna radio, 4) pannello solare, 5) banderuola, 6) schermo radiativo; **b)** modem WeatherLink Live collegato a un router domestico per trasmissione dati tramite Internet LTE.
Figure 12 a) Davis Vantage Vue sensor probe in its operative configuration composed by: 1) wind cups, 2) rain collector, 3) radio antenna, 4) solar panel, 5) wind vane, 6) radiation shield; **b)** WeatherLink Live modem plugged into a domestic router for data transmission via Internet LTE.

3.2 Installazione del gruppo sensori

La procedura per l'installazione del gruppo sensori Vantage Vue prevede i seguenti passaggi:

1. posizionare il gruppo sensori su un palo di supporto a circa 2 metri di altezza dal suolo tramite l'anello di serraggio;
2. verificare il corretto montaggio delle componenti:
3. Banderuola e anemometro fissati mediante chiave a brugola fornita a corredo;
4. Pluviometro assicurandosi che il meccanismo sia libero da ostruzioni;
5. accertarsi che il pannello fotovoltaico sia orientato verso SUD;
6. inserire una batteria CR123 nell'apposito vano.

Per ottenere dati meteorologici attendibili è fondamentale posizionare correttamente la stazione mettendola in bolla e con il pannello solare rivolto verso SUD. Il gruppo sensori deve essere installato in un'area priva di ostacoli che possano interferire con la rilevazione del vento (anemometro e banderuola), della pioggia o alterare la temperatura e l'umidità (eccessivo calore riflesso da superfici vicine).

3.3 Installazione della centralina WeatherLink Live

La centralina WeatherLink Live funge da ponte tra il gruppo sensori e il cloud, trasmettendo i dati in tempo reale al portale online. La centralina deve essere collocata entro un raggio di 300 metri dal gruppo sensori, in un ambiente con linea visiva libera, per evitare interferenze nella comunicazione radio. I passaggi per la configurazione sono:

1. collegare la centralina alla rete elettrica tramite alimentatore dedicato;
2. inserire 4 batterie AA nel vano situato nella parte inferiore;
3. collegare la centralina a internet tramite cavo Ethernet o connessione Wi-Fi;
4. accedere all'app WeatherLink, selezionare l'icona utente e registrare il nuovo dispositivo seguendo le istruzioni [8];
5. una volta configurata la centralina, aggiungere il gruppo sensori tramite apposito pulsante

sull'app. Il gruppo sensori deve essere attivo, quindi il led accanto al vano batterie deve aver lampeggiato di verde.

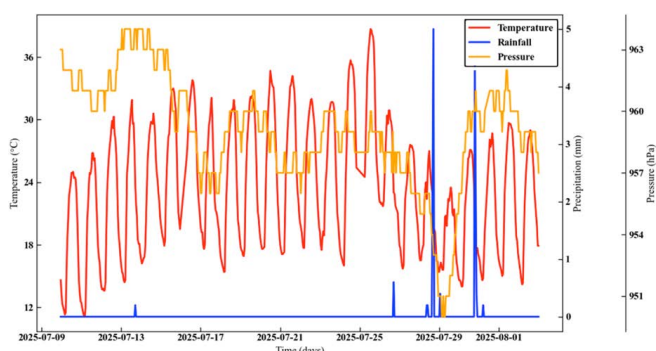
Le 4 batterie AA inserite nella centralina entrano in funzione in caso di blackout elettrico o assenza di alimentazione esterna, consentendo comunque l'immagazzinamento dei dati trasmessi dal gruppo sensori. L'invio degli stessi verso il cloud avverrà una volta ripristinata la corrente.

3.4 Acquisizione dei dati meteorologici

I parametri meteorologici di temperatura, pressione atmosferica e precipitazioni registrati nei 25 giorni successivi all'installazione sono mostrati in Figura 13. L'andamento della temperatura (linea rossa) mostra una marcata fluttuazione riconducibile all'escursione termica giornaliera, con valori compresi tra circa 12 °C e 36 °C e picchi regolari riconducibili al riscaldamento diurno. La pressione atmosferica (linea gialla) evidenzia variazioni gradualali, con una lieve tendenza al calo nella parte finale del periodo analizzato, in concomitanza con un aumento delle precipitazioni. Le piogge (linea blu), generalmente sporadiche e di breve durata, presentano un episodio più intenso tra la fine di luglio e i primi di agosto, evento che coincide con un abbassamento della temperatura e della pressione, suggerendo la presenza di una perturbazione locale.

Figura 13 Dati meteo dal giorno dell'installazione a 25 giorni dopo. Sono presenti temperatura (rosso), precipitazioni (blu) e pressione atmosferica (arancione).

Figure 13 Meteorological data from the installation date up to 25 days later. Temperature (red), rainfall (blue) and atmospheric pressure (orange) are shown.



3.5 Considerazioni preliminari sulla correlazione dei parametri monitorati

Lo studio integrato dei parametri acquisiti consente di evidenziare le potenzialità del sistema multiparametrico messo in atto alle Mefite d'Ansanto. La Figura 14 riporta le serie temporali dei parametri registrati presso la polla nei primi mesi di monitoraggio (Luglio 2025 - Gennaio 2026) e offre una visione d'insieme delle principali variazioni osservate. Nel periodo in esame si evidenzia un progressivo incremento delle precipitazioni, coerente con il passaggio dalla stagione estiva a quella autunnale-invernale. Allo stesso modo, la temperatura dell'acqua diminuisce progressivamente da luglio a gennaio, mostrando la diretta influenza dalla temperatura dell'aria in accordo con la diretta esposizione dell'interfaccia acqua-aria della polla. A partire da novembre 2025, si osservano oscillazioni più marcate e sincrone di temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua, che talvolta coincidono con eventi piovosi significativi. L'evento sismico di Mw=4.0 del 25 ottobre 2025 [9] non mostra effetti evidenti sugli andamenti dei parametri monitorati. Tuttavia, la disponibilità di dataset più estesi nel tempo permetterà di applicare approcci statistici finalizzati a individuare eventuali relazioni significative tra i parametri analizzati per migliorare la comprensione dei processi che governano il sistema.

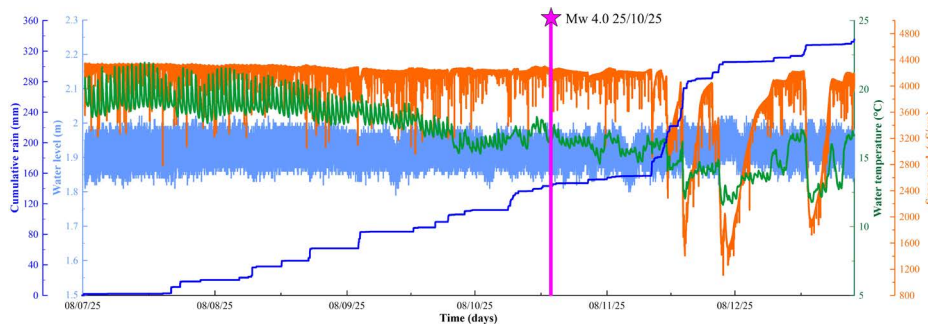


Figura 14 Serie temporali dei parametri monitorati nel periodo 8 Luglio 2025 – 4 Gennaio 2026. Sono riportati: cumulata delle precipitazioni (blu), livello della colonna d'acqua (azzurro), temperatura dell'acqua (verde) e conducibilità elettrica specifica dell'acqua (arancione). La linea verticale con stella magenta evidenzia l'evento sismico di magnitudo Mw 4.0 del 25 ottobre 2025.

Figure 14 Time series of the monitored parameters for the period July 8th 2025 – January 4th 2026. The following are shown: cumulative precipitation (blue), water column (light blue), water temperature (green), and water specific electrical conductivity (orange). The magenta vertical line and star mark the Mw 4.0 seismic event of 25 October 2025.

4. Prospezione geochimica

Le attività di prospezione geochimica condotte nell'area della Mefite d'Ansanto sono state finalizzate alla caratterizzazione qualitativa delle emissioni gassose sia in atmosfera sia al suolo, in corrispondenza e in prossimità del punto di installazione della stazione multiparametrica. L'elevata intensità del degassamento, la presenza della polla gorgogliante e la possibilità di accumulo di gas pesanti in aree depresse o poco areate (come in prossimità della polla, all'interno di un'area di fitta vegetazione; Figura 3b) hanno reso necessario integrare le operazioni di monitoraggio con misure di sicurezza e con una valutazione preliminare della distribuzione spaziale dei gas. A tal fine, è stata effettuata una campagna di misure in atmosfera mediante strumenti portatili Dräger, con lo scopo primario di (i) verificare le condizioni di sicurezza per il personale in fase di installazione e manutenzione della strumentazione, (ii) acquisire una prima stima qualitativa dell'intensità del degassamento atmosferico nella zona della polla gorgogliante e nelle aree limitrofe. Le misure hanno riguardato le principali specie gassose tipiche del degassamento tettonico della Mefite (CO_2 e H_2S) monitorate sia in prossimità della pozza principale sia lungo il percorso di accesso e nelle aree circostanti. Queste rilevazioni hanno permesso di identificare eventuali zone a rischio di accumulo, gradienti di concentrazione e variazioni rapide indotte dalla morfologia locale o da condizioni meteorologiche favorevoli al ristagno dei gas.

Parallelamente, è stata condotta una prospezione geochimica al suolo, finalizzata a individuare la presenza di eventuali flussi gassosi diffusi al di fuori della polla principale, in particolare nelle superfici agricole e nelle porzioni di terreno disturbate presenti nell'area di installazione. Tale indagine, di carattere esplorativo, è stata effettuata per verificare se il degassamento fosse principalmente confinato alla pozza gorgogliante o se interessasse anche porzioni più ampie del terreno circostante, indicatore di eventuali percorsi di migrazione laterale dei fluidi nel sottosuolo.

4.1 Misurazioni effettuate con il Dräger XAM-8000

Il Dräger (Figura 15 [10]) è un rilevatore portatile multi-gas progettato per l'autotutela dell'operatore in ambienti caratterizzati da un potenziale rischio di rilascio di gas tossici

o esplosivi, come ad esempio siti industriali, minerari o aree naturali con fenomeni di degassamento attivo.

Figura 15 Dräger in modalità di misurazione sul campo, con allarme A2 attivato dalle emissioni di H_2S .

Figure 15 Dräger in measurement mode on the field, with A2 alarm activated due to H_2S emissions.



Il dispositivo consente il monitoraggio in tempo reale della concentrazione di più specie gassose contemporaneamente (Tabella 1), con frequenza di campionamento di 1 dato/secondo e avvisa l'operatore mediante segnali acustici (sirena) e aptici (vibrazione) in caso di superamento delle soglie di sicurezza. Nel nostro caso lo strumento è stato configurato per la misura dei seguenti gas:

- CO_2 – anidride carbonica (Vol.%);
- H_2S – idrogeno solforato (ppm);
- O_2 – ossigeno molecolare (per valutare condizioni di potenziale esplosività o ipossia; Vol.%);
- CH_4 – metano (ppm);
- H_2 – idrogeno molecolare (ppm);

Per ciascun gas, il Dräger XAM-8000 prevede due soglie di allerta:

- A1 – Preallarme: segnala un livello in crescita del gas, non ancora pericoloso, ma indicativo di una possibile evoluzione critica. In questa fase è raccomandata la limitazione delle attività nella zona interessata.
- A2 – Allarme: indica una concentrazione pericolosa per la salute umana, tale da richiedere l'evacuazione immediata dell'area e l'attuazione di tutte le misure di autotutela disponibili.

Sebbene il dispositivo sia concepito principalmente per la protezione personale, può essere adattato per utilizzi geochimici e ambientali. È infatti disponibile un accessorio dedicato che consente l'impiego del Dräger XAM-8000 come analizzatore di gas nel sottosuolo quando accoppiato a un fioretto o picchetto guida inserito nel terreno.

Presso la Mefite è stato utilizzato esclusivamente per il monitoraggio dell'atmosfera in prossimità delle aree emissive e come strumento di sicurezza personale. L'obiettivo principale era di avere un riscontro rapido circa la miscela gassosa emessa dalla polla scelta per l'installazione della sonda multiparametrica, attraverso il monitoraggio in tempo reale della concentrazione di CO_2 , e delle altre specie gassose attese. Durante tutta la permanenza nell'area, le condizioni di ventilazione naturale hanno fatto sì che tutti i gas nocivi venissero dispersi nella direzione opposta a quella di chi stava operando vicino alla polla. Tuttavia, nei momenti di assenza o inversione del flusso d'aria, il

dispositivo ha registrato concentrazioni in aria critiche di H_2S con attivazione delle soglie di allarme A1 (5 ppm) e A2 (10 ppm) indicativo di esposizione potenzialmente dannosa in caso di permanenza prolungata (Figura 16 a, b). Nel corso dell'intervento il rilevatore ha registrato un picco significativo a circa 80 cm dal suolo (all'altezza del viso di un operatore inginocchiato), con un valore di 98 ppm di H_2S (Figura 16 a, b). Si è trattato di un evento breve, mitigato grazie alla ventilazione naturale e all'uso di semimaschera con filtro ABEK1, che hanno garantito la sicurezza dell'operatore.

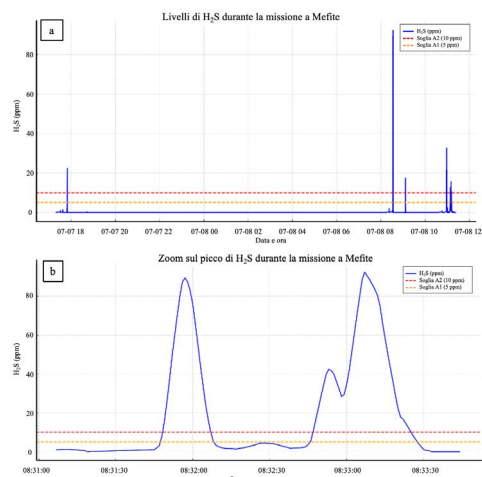


Figura 16 a) Serie temporale dei livelli di H_2S nell'area di installazione della sonda multiparametrica. La presenza delle soglie A1 e A2 consente di visualizzare con immediatezza i superamenti dei limiti di sicurezza; **b)** dettaglio del picco massimo di H_2S registrato durante la missione, pari a 98 ppm, ben oltre la soglia di allarme (A2). Il grafico evidenzia l'andamento su scala di secondi.

Figure 16 a) Time-series of H_2S emissions of Mefite around the multiparametric probe, with A1 and A2 threshold shown; b) detailed zoom on the highest recorded peak of H_2S levels up to 98 ppm, beyond the A2 alarm threshold. Data is shown on a second-scale resolution.

Un episodio di esposizione significativo è stato registrato dopo la fine dell'installazione della sonda multiparametrica, in prossimità del punto panoramico localizzato sopra l'area di degassamento principale delle Mefite (Figura 16a). In quella occasione, un improvviso cambio di direzione del vento ha convogliato verso gli operatori una massa gassosa contenente elevate concentrazioni di idrogeno solforato (H_2S) con un valore di 15.4 ppm. Tale valore supera la soglia di allarme A2 (10 ppm), che prevede l'allontanamento immediato dall'area. I grafici riguardanti la CO_2 e O_2 sono riportati in Figura 17 a, b. Per quanto riguarda i valori di CO_2 vi sono stati dei picchi isolati che hanno superato la soglia di allarme A1 (0.5 vol%) ma senza raggiungere la soglia A2 (3 vol%). Da notare l'abbassamento del livello di ossigeno in corrispondenza dei picchi di CO_2 e H_2S .

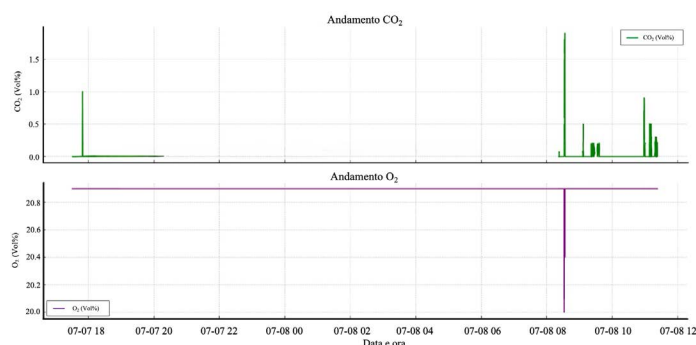


Figura 17 Serie temporale dei livelli di: **a)** CO_2 e **b)** O_2 .

Figure 17 Time-series of: a) CO_2 and b) O_2 .

4.2 Misurazioni effettuate con il flussimetro portatile Thearen

Il flussimetro portatile Thearen S-FM (Survey Flux Meter; [11]) è uno strumento progettato per la misura dei flussi di gas diffusi dal suolo, in particolare CO_2 , CH_4 e H_2S , mediante metodo della camera di accumulo statica non stazionaria (Figura 18 a, b; Tabella 1). Lo strumento è configurabile per operare anche con sensori opzionali dedicati alla rilevazione di composti

organici volatili. I range di misura dei flussi diffusi rilevabili dallo strumento sono i seguenti:

- CO_2 nel range compreso tra $2 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$ e $300 \text{ moli}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$
- CH_4 nel range compreso tra $5 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$ e $300 \text{ moli}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$
- H_2S nel range compreso tra $0,1 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$ e $0,1 \text{ moli}\cdot\text{m}^{-2}\text{giorno}^{-1}$



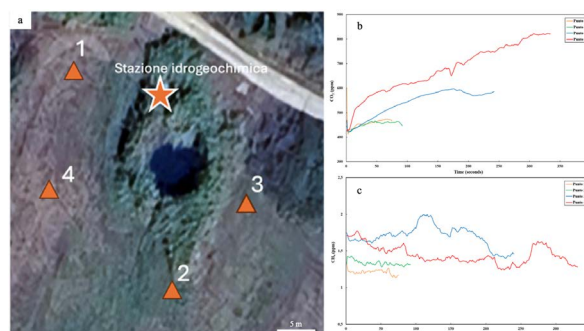
Figura 18 a) Configurazione interna del flussimetro portatile; b) flussimetro portatile con camera di accumulo (cerchiata in giallo) per il convogliamento dei gas del suolo al sensore.

Figure 18 a) Internal configuration of the accumulation chamber; b) on-field accumulation chamber configuration with its vacuum cup (yellow circle) for soil gas measurement.

L'unità portatile Thearen può essere utilizzata per campagne di misura puntuali e mappature di flusso. Durante le operazioni di installazione della sonda multiparametrica, sono state effettuate alcune misurazioni preliminari dei flussi gassosi diffusi dal suolo in prossimità dell'area emissiva. Ogni campionamento ha una durata media di 2-3 minuti, con termine solo nel momento in cui il flusso di gas si stabilizza. La misurazione dei valori di gas del suolo è stata effettuata in 4 punti diversi dove si osservava anche a occhio nudo una maggiore riduzione della copertura vegetale. Questo indizio visivo ha suggerito la possibile presenza di un degassamento laterale attivo, ipotesi successivamente confermata dalle misurazioni che hanno restituito alti valori di flusso. Nella Figura 19a è riportata la posizione dei quattro punti di misura, insieme agli andamenti temporali delle concentrazioni di CO_2 (Figura 19b) e CH_4 (Figura 19c). Dai grafici si osserva un progressivo incremento delle concentrazioni di CO_2 nei punti 3 e 4, con quest'ultimo che raggiunge i valori più elevati (circa 800 ppm), mentre i punti 1 e 2 mostrano concentrazioni più contenute e relativamente stabili nel tempo. Questo comportamento suggerisce una maggiore attività di degassamento nelle aree occidentali e orientali della polla, dove è presumibile la presenza di vie preferenziali di risalita dei gas. Per quanto riguarda il CH_4 , le variazioni risultano meno marcate ma coerenti con quelle della CO_2 , con valori più alti nei punti 3 e 4 e una maggiore variabilità temporale, indicativa di una dinamica gassosa più attiva. Nel complesso, i dati evidenziano una distribuzione eterogenea delle concentrazioni gassose, riconducibile presumibilmente a differenze locali di permeabilità del terreno e all'intensità dei flussi di emissione.

Figura 19 a) Posizione dei punti di misurazione attorno alla polla; andamento delle emissioni di b) CO_2 e c) CH_4 misurate nei 4 punti selezionati.

Figure 19 a) Measurement points around the gas emission point; soil gas emissions of b) CO_2 and c) CH_4 measured in the 4 selected points.



Conclusioni

Il presente rapporto tecnico fornisce una descrizione dettagliata dell'architettura di una stazione multiparametrica, delle modalità di installazione delle diverse componenti e dei dati acquisiti fino ad oggi oltre ai risultati ottenuti dalle prospezioni geochimiche effettuate a corredo dell'installazione. In particolare, viene sottolineata l'importanza strategica del sito e la strumentazione impiegata per la raccolta dei dati. I dati acquisiti vengono trasmessi in tempo quasi reale al database multiparametrico MUDA (Figura 20, [Massa et al., 2024] [1]), dove sono archiviati, visualizzati e integrati con altri dati geochimici e ambientali provenienti da differenti siti di monitoraggio. Nel sito di monitoraggio si prevede un periodo di acquisizione del dato di almeno due anni, tale da permettere una caratterizzazione del comportamento stagionale e la valutazione di eventuali anomalie, intese come scostamenti dal background nei valori registrati. Il monitoraggio multiparametrico a lungo termine permetterà di approfondire le possibili relazioni fra eventuali anomalie dei parametri della polla e i processi sismogenetici.

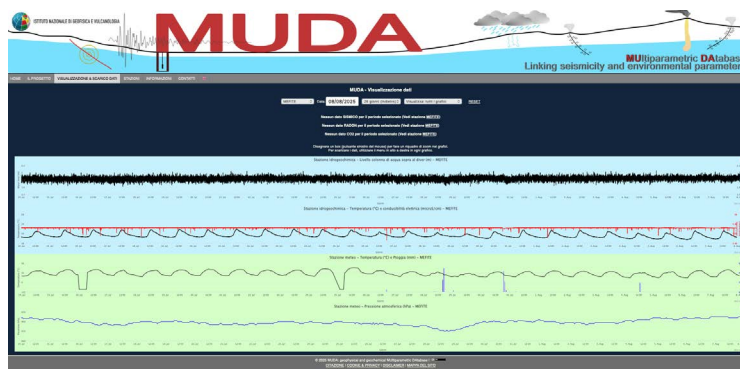


Figura 20 Visualizzazione dei dati di Mefite sul sito MUDA: <https://muda.mi.ingv.it>. Dall'alto verso il basso: dati relativi al pozzo (pannelli azzurri: livello di falda, m; conduttività elettrica dell'acqua, $\mu\text{S}/\text{cm}$; temperatura dell'acqua, $^{\circ}\text{C}$), dati meteorologici (pannelli verdi: temperatura, $^{\circ}\text{C}$; precipitazioni, mm; pressione atmosferica, hPa). Le serie temporali (formato CSV) e i grafici (formati PDF e PNG) sono scaricabili usando il menù nell'angolo in alto a destra di ogni pannello.

Figure 20 Visualization of Mefite data from MUDA web page: <https://muda.mi.ingv.it>. From top to bottom: hydrogeochemical data (light-blue panels: water level, m; water electrical conductivity, $\mu\text{S cm}^{-1}$; water temperature, $^{\circ}\text{C}$), meteorological data (green panels: temperature, $^{\circ}\text{C}$; rain, mm; atmospheric pressure, hPa). All time series (CSV format) and each single graph (PDF and PNG formats) are downloadable using the menu available in the top right corner of each panel.

Bibliografia

- Amoresano, A., Angelino, A., Anselmi, M., Bianchi, B., Botteghi, S., Brandano, M., Brilli, M., Bruno, P. P., Caielli, G., Caputi, A., Cardellicchio, N., Carotenuto, A., Cavuoto, G., Chiarabba, C., Chiesa, S., Ciccolella, M., Corniello, A., Cuoco, E., de Fenzo, B., De Franco, R., De Lisa, G., De Luca, G., del Vecchio, U., Di Bella, G., Di Fiore, V., Di Gregorio, C., Di Leo, M., Donato, A., D'Oriano, A., Ducci, D., Fedi, M., Ferrante, L., Florio, G., Gargiulo, V., Gimelli, A., Giocoli, A., Giustini, F., Gola, G., Iavarone, M., Inversi, B., Iorio, M., Langella, G., Livani, M., Losanno, S., Manzella, A., Maraio, S., Massarotti, N., Mauro, A., Meo, S., Mercadante, A., Minissale, A., Montanari, D., Montegrossi, G., Mussi, M., Pandolfi, L., Pelosi, N., Petracchini, L., Petruccione, E., Pischiutta, M., Polemio, M., Punzo, M., Quattrocchi, F., Recanati, R., Rizzo, E., Romano, C., Romi, A., Rovelli, A., Sarnacchiaro, G., Scotto di Vettimo, P., Scrocca, D., Tamburrino, S., Tarallo, D., Tedesco, D., Testa, B., Tiano, P., Vanoli, L. & Varriale, F. (2015). *VIGOR: Sviluppo geotermico nella regione Campania – Studi di Fattibilità a Mondragone e Guardia Lombardi*. Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013. CNR-IGG, ISBN: 9788879580151.
- Arora, B. R., Rawat, G., Kumar, N., & Choubey, V. M. (2012). Multi-parameter geophysical observatory: Gateway to integrated earthquake precursory research. *Current Science*, 103(11), 1287–1299.
- Barberio, M. D., Barbieri, M., Billi, A., Doglioni, C., & Petitta, M. (2017). Hydrogeochemical changes before and during the 2016 Amatrice-Norcia seismic sequence (Central Italy). *Scientific Reports*, 7(1), 11735. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11990-8>
- Caliro, S., Chiodini, G., Moretti, R., Avino, R., Granieri, D., Russo, M., & Fiebig, J. (2007). The origin of the fumaroles of La Solfatara (Campi Flegrei, south Italy). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(12), 3040–3055. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.04.007>
- Cannelli, V., Piersanti, A., Galli, G., & Melini, D. (2018). Italian Radon mOnitoring Network (Iron): A permanent network for near real-time monitoring of soil radon emission in Italy. *Annals of Geophysics*, 61(4), SE444. <https://doi.org/10.4401/ag-7604>
- Chiaraluce, L., Amato, A., Carannante, S., Castelli, V., Cattaneo, M., Cocco, M., Collettini, C., D'Alema, E., Di Stefano, R., Latorre, D., Marzorati, S., Mirabella, F., Monachesi, G., Piccinini, D., Nardi, A., Piersanti, A., Stramondo, S., & Valoroso, L. (2014). The alto tiberina near fault observatory (Northern Apennines, Italy). *Annals of Geophysics*, 57(3), 3. <https://doi.org/10.4401/ag-6426>
- Chiodini, G., Cardellini, C., Amato, A., Boschi, E., Caliro, S., Frondini, F., & Ventura, G. (2004). Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and Southern Italy. *Geophysical Research Letters*, 31(7), 2004GL019480. <https://doi.org/10.1029/2004GL019480>
- Chiodini, G., Granieri, D., Avino, R., Caliro, S., Costa, A., Minopoli, C., & Vilardo, G. (2010). Non-volcanic CO₂ Earth degassing: Case of Mefite d'Ansanto (Southern Apennines), Italy. *Geophysical Research Letters*, 37(11), 2010GL042858. <https://doi.org/10.1029/2010GL042858>
- Chiodini, G., Cardellini, C., Di Luccio, F., Selva, J., Frondini, F., Caliro, S., Rosiello, A., Beddini, G., & Ventura, G. (2020). Correlation between tectonic CO₂ Earth degassing and seismicity is revealed by a 10-year record in the Apennines, Italy. *Science Advances*, 6(35), eabc2938. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc2938>
- Choubey, V. M., Kumar, N., & Arora, B. R. (2009). Precursory signatures in the radon and geohydrological borehole data for M4.9 Kharsali earthquake of Garhwal Himalaya. *Science of The Total Environment*, 407(22), 5877–5883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.010>
- Cinque, A., Patacca, E., Scandone, P., & Tozzi, M. (1993). Quaternary kinematic evolution of

- the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures. *Annals of Geophysics*, 36(2), 32. <https://doi.org/10.4401/ag-4283>
- Comerci, V., Doglioni, C., Italiano, F., Baiocco, F., Barberio, M. D., Caracausi, A., Cuiuli, E., Guerra, M., Infantino, V., Insolubile, M., Marcaccio, M., Martinelli, G., Menichetti, S., Onorati, G., Petitta, M., Palumbo, V., Peleggi, M., Richieri, F., Scaramella, A., Scotti, E., & Testa M. (2019). Towards a national hydrogeochemical monitoring system: a further tool to investigate geological hazards. In: *Miscellanea INGV*, 49, 86–89. <https://doi.org/10.13127/misc/49>
- D'Alessandro, A., Scudero, S., Siino, M., Alessandro, G., & Mineo, R. (2020). Long-term monitoring and characterization of soil radon emission in a seismically active area. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21(7), e2020GC009061. <https://doi.org/10.1029/2020GC009061>
- De Gregorio, S., Federico, C., Cappuzzo, S., Favara, R., Giudice, G., Gurrieri, S., & Boschi, E. (2012). Stress-induced temperature variations in groundwater of the Monferrato area (North-western Italy). *Geofluids*, 12(2), 142–149. <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2011.00348.x>
- De Luca, G., Di Carlo, G., & Tallini, M. (2018). A record of changes in the Gran Sasso groundwater before, during and after the 2016 Amatrice earthquake, central Italy. *Scientific Reports*, 8(1), 15982. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34444-1>
- Del Pezzo, E., Iannaccone, G., Martini, M., & Scarpa, R. (1983). The 23 November 1980 Southern Italy earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73(1), 187–200. <https://doi.org/10.1785/BSSA073001018>
- Di Luccio, F., Palano, M., Chiodini, G., Cucci, L., Piromallo, C., Sparacino, F., Ventura, G., Improta, L., Cardellini, C., Persaud, P., Pizzino, L., Calderoni, G., Castellano, C., Cianchini, G., Cianetti, S., Cinti, D., Cusano, P., De Gori, P., De Santis, A., ... Zuccarello, L. (2022). Geodynamics, geophysical and geochemical observations, and the role of CO₂ degassing in the Apennines. *Earth-Science Reviews*, 234, 104236. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104236>
- Doglioni, C., Merlini, S., & Cantarella, G. (1999). Foredeep geometries at the front of the Apennines in the Ionian Sea (Central Mediterranean). *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3–4), 243–254. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00059-X)
- Du, J., Si, X., Chen, Y., Fu, H., Jian, C., Guo, W. (2008). Geochemical anomalies connected with great earthquakes in China. *Geochemistry Research Advances*. New York: Nova Science Publishers Inc, 57–92.
- Ferrari, E., Massa, M., Lovati, S., Di Michele, F., & Rizzo, A. L. (2024). Multiparametric stations for real-time monitoring and long-term assessment of natural hazards. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1412900. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1412900>
- Franchini, S., Agostini, S., Barberio, M. D., Barbieri, M., Billi, A., Boschetti, T., Pennisi, M., & Petitta, M. (2021). HydroQuakes, central Apennines, Italy: Towards a hydrogeochemical monitoring network for seismic precursors and the hydro-seismo-sensitivity of boron. *Journal of Hydrology*, 598, 125754. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125754>
- Frezzotti, M. L., Peccerillo, A., & Panza, G. (2009). Carbonate metasomatism and CO₂ lithosphere–asthenosphere degassing beneath the Western Mediterranean: An integrated model arising from petrological and geophysical data. *Chemical Geology*, 262(1–2), 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.02.015>
- Giustini, F., & Brilli, M. (2020). Mefite d'Ansanto, Southern Apennines (Italy): The natural CO₂ seep which emits the largest quantity of non-volcanic CO₂ on Earth. *International Journal of Earth Sciences*, 109(5), 1705–1706. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01857-1>
- Gori, F., & Barberio, M. D. (2022). Hydrogeochemical changes before and during the 2019 Benevento seismic swarm in Central-Southern Italy. *Journal of Hydrology*, 604, 127250. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127250>
- Hippolyte, J.-C., Angelier, J., & Roure, F. (1994). A major geodynamic change revealed by Quaternary stress patterns in the Southern Apennines (Italy). *Tectonophysics*, 230(3–4),

- 199–210. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90135-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90135-X)
- Huang, F., Li, M., Ma, Y., Han, Y., Tian, L., Yan, W., & Li, X. (2017). Studies on earthquake precursors in China: A review for recent 50 years. *Geodesy and Geodynamics*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.12.002>
- Italiano, F., Martelli, M., Martinelli, G., & Nuccio, P. M. (2000). Geochemical evidence of melt intrusions along lithospheric faults of the Southern Apennines, Italy: Geodynamic and seismogenic implications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B6), 13569–13578. <https://doi.org/10.1029/2000JB900047>
- La Rocca, M., Galluzzo, D., Nardone, L., Gaudiosi, G., & Di Luccio, F. (2023). Hydrothermal seismic tremor in a wide frequency band: The nonvolcanic CO₂ degassing site of mefite d'ansanto, Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 113(3), 1102–1114. <https://doi.org/10.1785/0120220243>
- Martinelli, G., Ciolini, R., Facca, G., Fazio, F., Gherardi, F., Heinicke, J., & Pierotti, L. (2021). Tectonic-related geochemical and hydrological anomalies in Italy during the last fifty years. *Minerals*, 11(2), 107. <https://doi.org/10.3390/min11020107>
- Massa, M., Rizzo, A. L., Scafidi, D., Ferrari, E., Lovati, S., Luzi, L., & MUDA working group. (2024). MUDA: Dynamic geophysical and geochemical MULTiparametric DATAbase. *Earth System Science Data*, 16(10), 4843–4867. <https://doi.org/10.5194/essd-16-4843-2024>
- Morabito, S., Cusano, P., Galluzzo, D., Gaudiosi, G., Nardone, L., Del Gaudio, P., Gervasi, A., La Rocca, M., Milano, G., Petrosino, S., Zuccarello, L., Manzo, R., Buonocunto, C., & Di Luccio, F. (2023). One-year seismic survey of the tectonic CO₂-rich site of mefite d'ansanto (Southern Italy): Preliminary insights in the seismic noise wavefield. *Sensors*, 23(3), 1630. <https://doi.org/10.3390/s23031630>
- Mörner, N.-A., & Etiope, G. (2002). Carbon degassing from the lithosphere. *Global and Planetary Change*, 33(1–2), 185–203. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00070-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00070-X)
- Pischiutta, M., Anselmi, M., Cianfarra, P., Rovelli, A., & Salvini, F. (2013). Directional site effects in a non-volcanic gas emission area (Mefite d'Ansanto, Southern Italy): Evidence of a local transfer fault transversal to large NW–SE extensional faults? *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 63, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.03.008>
- Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., & Gasperini, P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPT15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953–2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>
- Sciarra, A., Voltattorni, N., Gasparini, A., Ruggiero, L., Pizzino, L., Chiodini, G., Esposito, A., Doumaz, F., Galvani, A., Palano, M., Pietrantonio, G., Riguzzi, F., Sepe, V., Sparacino, F., Iannarelli, M., & Pecoraro, P. (2023). *Geochemical and geodetic monitoring of CO₂ degassing site in a tectonically active area: the Mefite D'Ansanto (Irpinia, Southern Italy) case study in the frame of the FURTHER project*. Goldschmidt Conference, 10–15 luglio 2023.
- Sinno, R. (1969). I minerali della valle di Ansanto, *Atti dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche*, 7, 219–258.
- Tarantino, S., Poli, P., D'Agostino, N., Vassallo, M., Festa, G., Ventafridda, G., & Zollo, A. (2024). Non-linear elasticity, earthquake triggering and seasonal hydrological forcing along the Irpinia fault, Southern Italy. *Nature Communications*, 15(1), 9821. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54094-4>
- Yasuoka, Y., Kawada, Y., Nagahama, H., Omori, Y., Ishikawa, T., Tokonami, S., & Shinogi, M. (2009). Preseismic changes in atmospheric radon concentration and crustal strain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(6–7), 431–434. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.06.005>

Sitografia

- [1] <https://muda.mi.ingv.it>
- [2] <https://progetti.ingv.it/en/further>
- [3] <https://terremoti.ingv.it>
- [4] <https://www.vanessen.com>
- [5] <https://www.vanessen.com/products/software/diver-office/>
- [6] <https://www.royaleijkelkamp.com>
- [7] <https://www.davisinstruments.com>
- [8] <https://www.weatherlink.com>
- [9] <https://terremoti.ingv.it/en/event/44522982/>
- [10] <https://www.draeger.com>
- [11] <https://www.thearen.com>



QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/qdg/it/index/>

QUADERNI di GEOFISICA è una rivista scientifica che pubblica dati, misurazioni e osservazioni geofisiche (anche preliminari) in italiano e inglese. L'obiettivo è una diffusione rapida e gratuita per la comunità scientifica, garantita da un processo di peer-review e da un Editorial Board multidisciplinare. La rivista è inclusa in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics e "Open Access Journals" di Scopus, e adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

QUADERNI di GEOFISICA is a scientific journal that publishes geophysical data, measurements and observations, including preliminary results, in Italian and English. Its aim is to ensure rapid and free dissemination to the research community, supported by a peer-review process and by a multidisciplinary Editorial Board. The journal is included in the Emerging Sources Citation Index of Clarivate Analytics and it's included in the Open Access journals of Scopus. It follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.



RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/rt/it/index>

RAPPORTI TECNICI INGV è una rivista tecnico-scientifica che mette in mostra le numerose attività tecnologiche e di ricerca condotte dai ricercatori e tecnici INGV, e non solo. Pubblicata in italiano e inglese, RAPPORTI TECNICI INGV è ideata per valorizzare anche quei lavori che offrono un contributo significativo dal punto di vista tecnico, operativo o documentale fondamentale per lo sviluppo dell'Ente. La rivista adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

RAPPORTI TECNICI INGV is a technical-scientific journal that showcases the wide range of technological and research activities carried out by INGV researchers and technical staff, as well as by external contributors. Published in Italian and English, RAPPORTI TECNICI INGV is designed to highlight works that provide a significant contribution from a technical, operational, or documentary perspective, and that are essential to INGV development. The journal follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.



MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

<https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/mi/it/index>

MISCELLANEA INGV rappresenta una tipologia di editoria non tradizionalmente catalogabile nelle ordinarie riviste scientifiche di settore. Pubblicata in lingua italiana e inglese, MISCELLANEA INGV offre uno spazio per la pubblicazione di materiali eterogenei che, pur non rientrando nei formati più strutturati delle altre Collane editoriali INGV, rivestono un interesse scientifico, tecnico o divulgativo. La rivista adotta il modello Diamond Open Access, che non prevede costi né per gli autori né per i lettori.

MISCELLANEA INGV represents a form of publishing that cannot be classified within the standard scientific journals. Published in Italian and English, MISCELLANEA INGV provides a venue for the publication of heterogeneous materials that are of scientific, technical or outreach interest, even though they do not fall within the more structured formats of the other INGV editorial series. The journal follows the Diamond Open Access model, with no charges for either authors or readers.

Progetto grafico
Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Ufficio Editoriale
Francesca DI STEFANO | Coordinatore

Segreteria di redazione
segreteria.collane-editoriali@ingv.it

Editing | Produzione | Grafica redazionale
Barbara ANGIONI
Massimiliano CASCONI
Francesca DI STEFANO
Patrizia PANTANI

© 2026 the Author(s). Open Access.
This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



Creative Commons Attribution 4.0 International



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA