



RAPPORTI TECNICI INGV

Sistema per acquisizione, elaborazione
e memorizzazione di dati clinometrici
con Advantech e Node-RED



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

527

**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

Sistema per acquisizione, elaborazione
e memorizzazione di dati clinometrici
con Advantech e Node-RED

*System for Acquisition, Processing,
and Storage of Clinometric Data
Using Advantech and Node-RED*

Angelo Ferro*, Laudani Giuseppe

INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo

*Corresponding author

Accettato 22 luglio 2026 | Accepted 22 July 2026

Come citare | How to cite Ferro, A., Laudani, G. (2026). Sistema per acquisizione, elaborazione e memorizzazione di dati clinometrici con Advantech e Node-RED. *Rapporti Tecnici INGV*, 527, 28 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/527>

In copertina | Tipica stazione clinometrica dell'Etna | Cover | Typical borehole tiltmeter station on Mount Etna

527

INDICE

Riassunto	7
<i>Abstract</i>	<i>7</i>
Introduzione	7
1. Architettura hardware ed evoluzione della stazione	8
2. Stato attuale delle reti vulcanologiche siciliane	10
3. Architettura del software e conservazione circolare dei dati	11
4. Algoritmo di salvaguardia energetica a isteresi software	12
5. Raccolta dati centralizzata e interfacce di interrogazione	13
6. Discussione e conclusioni	14
Bibliografia	14
Sitografia	15
Appendice A	19
Appendice B	24

Riassunto

Questa relazione descrive la progettazione e la messa in servizio di una stazione di acquisizione per la misura dell'inclinazione del terreno, realizzata per ammodernare le stazioni clinometriche dell'Osservatorio Etneo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. La stazione misura in continuo i piccoli movimenti del suolo legati all'attività dei vulcani siciliani e ai terremoti, e tiene aggiornata la Sala Operativa di Catania. La vecchia strumentazione, formata da molti moduli separati, è stata sostituita con un unico dispositivo industriale Advantech SmartFlex, che gestisce sia la trasmissione sia i calcoli. La centralina riceve i dati da un pendolo autolivellante da pozzo, il modello Lily della Jewell Instruments, installato in profondità. Il sensore trasmette i valori di pendenza su una linea seriale standard RS232 o RS422, con una misura al secondo. Il programma a bordo della centralina calcola da solo le medie a ogni minuto e a ogni quarto d'ora poi salva i valori nella memoria interna permanente. Per evitare che lo spazio si esaurisca e blocchi l'acquisizione, la memoria lavora a rotazione: le righe nuove sovrascrivono i file più vecchi soltanto quando il disco è pieno.

Una parte importante del lavoro riguarda la protezione della stazione nei lunghi periodi di maltempo in alta montagna, quando la neve copre i pannelli solari. Un modulo controlla la carica della batteria. Se la tensione scende sotto gli 11.5 volt, la centralina disattiva l'invio dei dati sulla rete cellulare: il consumo cala di oltre due terzi, ma il computer di bordo resta acceso e continua a registrare e salvare le misure in locale.

Un ricevitore satellitare (GNSS) integrato, mantiene sincronizzato l'orologio interno, così l'orario delle misure resta corretto anche quando la stazione non ha campo o è isolata. Quando il sole ricarica la batteria e la tensione si stabilizza sopra i 12.5 volt, il sistema riattiva la trasmissione e invia alla sede centrale i file accumulati offline, attraverso un collegamento internet interno protetto.

Abstract

This report describes the design and field deployment of a data acquisition and transmission unit for the borehole tiltmeter network of the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Osservatorio Etneo, Catania). The unit upgrades the geodetic stations so that ground deformation on the active Sicilian volcanoes can be followed in near real time. It is built around an Advantech SmartFlex SR303 industrial router, connected over a serial-to-IP link to deep borehole self-leveling tiltmeters. All processing and file formatting are handled by event-based flows running in a Node-RED environment on the router itself. The unit parses the 1 Hz data stream, computes local averages over 1-minute and 15-minute intervals, and stores them in non-volatile local memory managed as a circular ring buffer. A software hysteresis routine watches the battery voltage: below 11.5 V it shuts down the 4G/LTE link to save power, while local geophysical logging keeps running. An onboard satellite (GNSS) receiver keeps the clock accurate to the microsecond even when the telemetry link is down. The Catania centre retrieves the stored files through scheduled automatic downloads.

Keywords Reti di monitoraggio geodetiche; Monitoraggio vulcanico; Strumentazione clinometrica | Geodetic Monitoring Networks; Volcanic monitoring; Tiltmeter instrumentation

Introduzione

Questa relazione documenta la progettazione, lo sviluppo e l'installazione sul campo di una nuova unità di acquisizione e trasmissione dati, pensata per la rete clinometrica dell'Osservatorio Etneo. Il suo compito è registrare in continuo le micro-inclinazioni del suolo.

Si tratta di misure importanti, perché permettono di seguire quasi in tempo reale le variazioni di pendenza del terreno e quindi lo stato di deformazione dei vulcani attivi siciliani.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), attraverso la Sezione di Catania – Osservatorio Etneo, gestisce le reti di monitoraggio geofisico e vulcanico dei principali apparati attivi della Sicilia orientale (Etna, Vulcano e Stromboli), fornendo il supporto scientifico continuativo alla Sala Operativa e alle autorità di Protezione Civile. Le reti geofisiche permanenti – sismiche, geodetiche, gravimetriche e clinometriche – costituiscono lo strumento primario della sorveglianza vulcanica, permettendo di riconoscere in tempo utile i segnali precursori legati alla risalita del magma e all'evoluzione dei sistemi idrotermali.

In questo quadro, le misure clinometriche svolgono un ruolo complementare e ad alta sensibilità rispetto alle altre tecniche geodetiche: l'elevata risoluzione dello strumento consente di rilevare deformazioni superficiali di piccola ampiezza, talvolta anticipatorie rispetto ai segnali sismici, risultando particolarmente utili nella fase di allerta e nella caratterizzazione delle fasi pre-eruttive e intrusive dei vulcani attivi siciliani.

Questo sviluppo si inserisce nel filone di ricerca strumentale che il nostro laboratorio di clinometria di Nicolosi porta avanti da anni. Il sistema è di fatto l'evoluzione del prototipo a basso consumo descritto nel rapporto d'istituto di Ferro e Laudani [2009]. All'epoca, per risolvere la logistica sul campo, gli acquisitori Campbell Scientific CR1000 [1], oggi obsoleti, venivano montati dentro valigette stagne Peli 1400 e abbinati a moduli radio UHF esterni come il Campbell RF95 e l'Alan DM110. Era una scelta quasi obbligata, vista la forte presenza di disturbi in radiofrequenza nell'area etnea. Le esigenze di allora, cioè robustezza meccanica, isolamento elettrico e affidabilità, sono le stesse di oggi, ma adesso si affrontano con il calcolo periferico e l'IoT industriale, che concentrano tutte le funzioni in un unico blocco più compatto e protetto.

1. Architettura hardware ed evoluzione della stazione

Il passo avanti rispetto alle stazioni clinometriche tradizionali, equipaggiate con datalogger dedicati quali il Campbell Scientific CR1000 (Figura 1) e il successivo CR6 (Figura 2), risiede nell'uso di un solo apparato di instradamento industriale, il modem router Advantech SmartFlex SR303 (Figura 3).

Il nuovo sistema sostituisce i vecchi impianti a componenti separati, che richiedevano schede di condizionamento del segnale collegate a datalogger distinti (come i Campbell Scientific CR1000 e CR6). Nelle prime installazioni l'ingombro era notevole: la centralina assemblava numerose schede fissate su piastre metalliche, tra cui l'acquisitore principale, i circuiti di squillo, il modem telefonico commerciale, i moduli DTMF e i regolatori di carica.



Figura 1 Il CR1000 di Campbell Scientific è uno dei data logger più utilizzati al mondo per l'acquisizione dati, il controllo e il monitoraggio ambientale [1].

Figure 1 The Campbell Scientific CR1000 is one of the most widely used data loggers worldwide for environmental monitoring, data acquisition, and automated control applications [1].



Figura 2 Il Campbell Scientific CR6 è un sistema di acquisizione dati (data logger) ad alte prestazioni, flessibile e robusto, progettato per il monitoraggio ambientale, industriale e infrastrutturale [2].

Figure 2 The Campbell Scientific CR6 is a high-performance, flexible, and rugged data acquisition system (data logger) designed for environmental, industrial, and infrastructure monitoring applications [2].

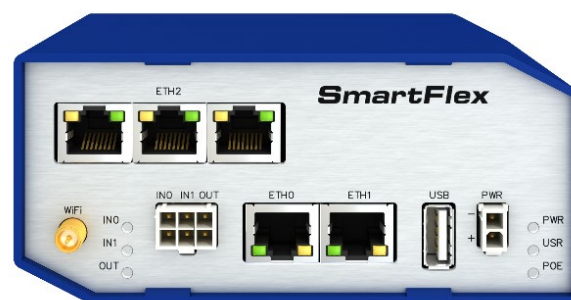


Figura 3 L'Advantech SmartFlex SR303 è un router cellulare 4G LTE industriale flessibile e modulare. È una soluzione ideale per applicazioni Internet of Things (IoT), comunicazione Machine-to-Machine (M2M), e reti aziendali remote [3].

Figure 3 The Advantech SmartFlex SR303 is a modular industrial 4G LTE cellular router designed for reliable operation in harsh environments. It is widely used in Internet of Things (IoT), Machine-to-Machine (M2M), remote monitoring, and industrial telemetry applications [3].

Questa configurazione aumentava il peso della strumentazione da trasportare in quota e ne penalizzava l'efficienza energetica, dato che ogni componente assorbiva corrente anche in stato di stand-by.

Il vero punto debole era però il cablaggio interno. Ogni giunzione, filo scoperto o attacco d'antenna si comportava come un piccolo ricettore per le sovratensioni indotte dalle scariche atmosferiche, esponendo frequentemente gli apparati ai danni da fulmine durante i temporali estivi in alta montagna.

Con la nuova soluzione il problema è stato aggirato alla radice: il modulo di trasmissione 4G/LTE e l'intera logica di calcolo sono integrati in un unico chassis industriale compatto. Le stazioni clinometriche della rete sono equipaggiate con clinometri digitali da pozzo LILY (Applied Geomechanics Inc.) [4] (Figura 4), progettati per il monitoraggio continuo delle deformazioni del suolo. Lo strumento misura le variazioni di inclinazione lungo due assi ortogonali (X e Y) mediante sensori elettrolitici ad elevata sensibilità.

Le variazioni dell'inclinazione modificano la distribuzione dell'elettrolita all'interno dei sensori, generando una variazione della resistenza elettrica che viene convertita dall'elettronica interna nei corrispondenti valori di inclinazione mediante i parametri di calibrazione memorizzati nello strumento. Il sensore è inoltre dotato di un sistema di autolivellamento che, mediante motori controllati dal firmware interno, riporta automaticamente gli elementi sensibili nella posizione ottimale di misura, garantendo la continuità delle osservazioni anche in presenza

di deformazioni permanenti del terreno. I dati vengono trasmessi tramite interfaccia seriale RS232 oppure RS485/RS422 verso la piattaforma di acquisizione. In Figura 5 è mostrata la stazione clinometrica di Case Bada durante l'episodio eruttivo dell'11 novembre 2011. I dati dei clinometri digitali (i pendoli autolivellanti da pozzo Lily della Jewell Instruments) viaggiano su una porta seriale virtualizzata via rete. In questo modo sono stati eliminati i moduli radio UHF ausiliari, i radio-modem separati e gli sdoppiatori d'antenna, rimuovendo le principali vulnerabilità elettriche del sito e azzerando i guasti dovuti ai transitori ad alta tensione.

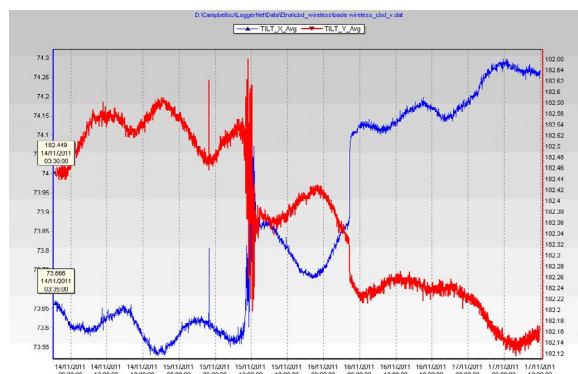
Figura 4 clinometro digitale da pozzo LILY (Applied Geomechanics Inc.) [4].

Figure 4 LILY digital borehole tiltmeter (Applied Geomechanics Inc.) [4].



Figura 5 Stazione clinometrica di Case Bada – evento del 11/11/2011. Fontane di lava con emissione di una significativa quantità di ceneri vulcaniche in atmosfera e lo sviluppo di una colata lavica nella Valle del Bove.

Figure 5 Case Bada tiltmeter station - Lava fountains with emission of a significant amount of volcanic ash into the atmosphere and development of a lava flow within the Valle del Bove (11 November 2011).



2. Stato attuale delle reti vulcanologiche siciliane

Questa nuova piattaforma rientra in un piano più ampio di ammodernamento del monitoraggio geodetico della sezione di Catania, che punta a coprire i principali sistemi vulcanici della regione. Le stazioni clinometriche servono a individuare i precursori di deformazione legati alla risalita del magma, e sono distribuite in due grandi comparti geografici.

Il primo comparto è quello dell'Etna, dove la rete è fatta da una maglia di nodi distribuiti sui versanti. In tutto sono 25 stazioni; le principali sono le seguenti. Nella parte sommitale e di alto versante lavorano Pizzi Deneri (EPDN), Punta Lucia (EPLC) e Cratere del Piano (ECDP), poste vicino ai crateri attivi per cogliere le risposte più rapide delle strutture superficiali. I versanti orientale e settentrionale sono coperti dai nodi di Case Bada (ECBD), Monte Nero (EMNR), Dammusi (EDAM) e Corruccio (ECOR), allineati con i principali sistemi di faglia e con i percorsi dei dicchi eruttivi. Sui fianchi occidentale e meridionale sono attive Monte Maletto (EMAL), Monte Scavo (MSC), Monte Egitto (EMEG), Monte Gallo (EMGAL), Monte Conca (ECON), Monte Denza (EMDZ), Casa del Vescovo (ECDV) e Poggio Felici (EC10). Il quadro etneo si chiude con il nodo di fondovalle di Mascalucia (EMAS). La distribuzione dei siti sul territorio è riportata in Figura 6.

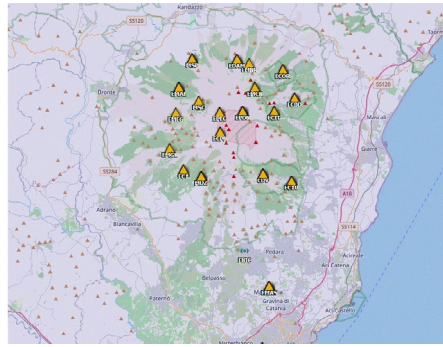


Figura 6 Distribuzione delle stazioni della rete clinometrica dell'Etna gestita dall'Osservatorio Etneo dell'INGV.

I nodi di monitoraggio sono installati lungo i principali settori vulcanici e strutturali dell'edificio etneo e consentono il controllo continuo delle deformazioni del suolo associate ai processi magmatici e tettonici.

Figure 6 Distribution of the Etna tiltmeter network operated by the INGV Etnean Observatory. Monitoring stations are deployed across the main volcanic and structural sectors of Mount Etna, providing continuous measurements of ground deformation associated with magmatic and tectonic processes.

Il secondo comparto è quello delle Isole Eolie, in particolare l'isola di Vulcano. Qui la rete è stata rinforzata per tenere sotto controllo le deformazioni lente del suolo, legate al campo fumarolico e alle pareti della caldera della Fossa. C'è il nodo di Vulcanello (VVL), nel settore settentrionale, che segue l'area dell'istmo, e la stazione di Lenti (VLT), sul versante occidentale vicino a Monte Lentia. La parte meridionale e sud-orientale del Gran Cratere è presidiata dai nodi di Palizzi (PZA), Grotta Palizzi (VGPL) e Roia (RO3), installati per monitorare le fasi di rigonfiamento o di contrazione dovute al sistema idrotermale e alla dinamica magmatica profonda. L'ubicazione dei siti di misura è riportata in Figura 7.

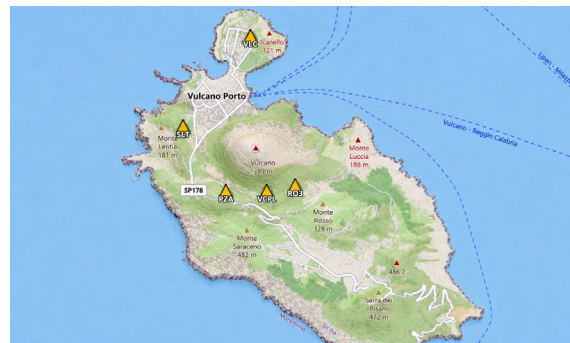


Figura 7 Distribuzione delle stazioni della rete clinometrica dell'isola di Vulcano gestita dall'Osservatorio Etneo dell'INGV. I siti di monitoraggio sono ubicati nei principali settori dell'apparato vulcanico e consentono il controllo continuo delle deformazioni del suolo.

Figure 7 Distribution of the tiltmeter monitoring network on Vulcano Island operated by the INGV Etnean Observatory. Monitoring sites are located across the main sectors of the volcanic edifice and provide continuous measurements of ground deformation associated with volcanic activity and related geodynamic processes.

3. Architettura del software e conservazione circolare dei dati

Il software che gestiva, filtrava e salvava i segnali nella vecchia implementazione era basato sui classici programmi sequenziali in CRBASIC caricati sui datalogger di campagna. L'architettura

attuale è stata invece sviluppata ex novo: il sistema adotta un ambiente di programmazione a flussi guidato dagli eventi, Node-RED, eseguito direttamente sull'Advantech come modulo utente nativo (ver. 3.0.2-1), unitamente a Node.js (ver. 18.15.0) e al modulo gps (ver. 1.11.0). Questa impostazione coordina in tempo reale alcuni compiti di base.

Il programma riceve e scompone il testo che arriva dal sensore. Intercetta in modo asincrono la stringa seriale inviata dal clinometro Lily a 1 Hz, la ripulisce dai caratteri di controllo e separa i valori nelle singole variabili, sia quelle geofisiche sia quelle diagnostiche. Poi calcola le medie: medie aritmetiche allo scoccare di ogni minuto e di ogni quarto d'ora. In questo modo i dati da trasmettere sono molti meno rispetto alle vecchie sessioni via radio. Un esempio del segnale clinometrico acquisito ed elaborato dal sistema è riportato in Figura 8.

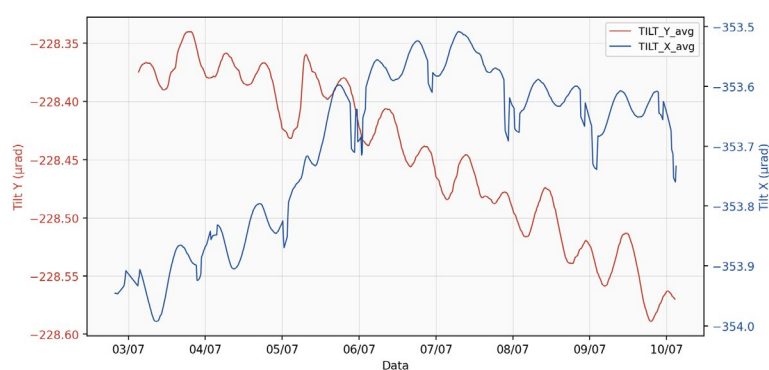


Figura 8 Segnale clinometrico registrato dalla rete di monitoraggio (medie al minuto di Tilt X e Tilt Y) nel periodo 3–10 luglio 2026, con la tipica oscillazione diurna di origine termoelastica e la componente mareale sovrapposta.

Figure 8 Clinometric signal recorded by the monitoring network (1-minute averages of Tilt X and Tilt Y) over the period 3–10 July 2026, showing the typical diurnal thermoelastic oscillation with superimposed tidal component.

I dati vengono salvati in file di testo con valori separati da virgola (CSV) nella memoria Flash interna. Per rispettare i criteri di sicurezza già fissati nel lavoro di Ferro e Laudani [2009], e per evitare che il disco si riempia bloccando le misure, la memoria è gestita come archivio circolare (ring buffer). Lo spazio è diviso su tre livelli di profondità storica:

- Archivio al secondo (1 Hz): 86.400 record, cioè 24 ore continue ad alta risoluzione, utili per studiare nel dettaglio i transitori sismici e le deformazioni rapide.
- Archivio al minuto: 10.080 record, pari a 7 giorni continui.
- Archivio al quarto d'ora: 8.640 record, una riserva locale di 90 giorni.

La stessa routine contiene anche un modulo di diagnostica elettrica, che legge la tensione ai morsetti della centralina e la scrive nel file delle medie prodotto ogni 15 minuti.

4. Algoritmo di salvaguardia energetica a isteresi software

Le vecchie relazioni del nostro laboratorio segnalavano spesso lo stesso problema: il meteo dell'Etna, soprattutto gli inverni lunghi con molta neve o con nebbie fitte, riduce l'irraggiamento sui pannelli fotovoltaici fino a scaricare del tutto le batterie. Nei vecchi impianti questo fermava l'acquisitore e lasciava il regolatore di carica in stallo, con un distacco netto del carico a 11.4 volt.

Il nuovo sistema affronta il problema con un algoritmo di protezione a isteresi, scritto nel software della centralina. Quando la tensione della batteria scende sotto la soglia critica di 11.5 volt, il programma stacca in modo selettivo la telemetria e spegne l'interfaccia del modulo cellulare 4G/LTE. Questo taglia i consumi della stazione di circa il 70%, vale a dire un risparmio immediato di circa 200 mA sulla batteria.

Anche con la trasmissione spenta, il computer di bordo resta acceso e lavora a consumo bassissimo. Il campionamento a 1 Hertz non si ferma, le medie vengono comunque calcolate e scritte nei file in memoria Flash. Se l'energia solare venisse a mancare di colpo e del tutto, la memoria non volatile conserva intatto tutto lo storico già salvato offline; a quel punto si possono perdere soltanto i dati ancora volatili in RAM, quelli del minuto in corso.

Quando il sole ricarica la batteria e la porta stabilmente sopra i 12.5 volt, l'algoritmo riconosce che le condizioni sono di nuovo sicure e riaccende il modulo cellulare. La trasmissione riparte e si possono di nuovo scaricare i dati da remoto. La doppia soglia serve a evitare oscillazioni e continui accendi-spegni, che a lungo andare rovinerebbero la sezione radio.

5. Raccolta dati centralizzata e interfacce di interrogazione

Il trasferimento dei dati all'esterno usa un servizio di rete integrato nella centralina, gestito dallo scheduler interno del software a flussi. Questa infrastruttura di rete sfrutta in particolare il sistema di DynDNS@INGV dedicato alle stazioni sismiche che permette di superare i limiti degli indirizzi IP dinamici e di mantenere una raggiungibilità costante delle stazioni remote.

Il Centro Elaborazione Dati dell'Osservatorio Etneo, a Catania, interroga la stazione a intervalli regolari e scarica i file in automatico, al posto delle vecchie chiamate radio sequenziali a tempo. I download sono organizzati su tre finestre temporali:

- Polling ogni minuto: scarica il file con le medie al minuto, che serve ad aggiornare in tempo reale i monitor della Sala Operativa sullo stato di deformazione del vulcano.
- Polling ogni 5 minuti: recupera i record grezzi registrati secondo per secondo, indispensabili per analizzare nel dettaglio i fenomeni transitori o co-sismici.
- Polling ogni 15 minuti: scarica il file di riepilogo con le medie al quarto d'ora, usato per l'archiviazione a lungo termine.

Sull'orologio il nuovo impianto guadagna in autonomia. Nelle vecchie stazioni la sincronizzazione dipendeva dalla rete, perché bisognava interrogare i server di tempo su internet con il protocollo NTP. Nella nuova centralina, invece, il riferimento orario arriva dal ricevitore satellitare (GNSS) integrato nel modulo cellulare. Così l'orologio resta sincronizzato anche durante un isolamento prolungato o con la sezione radio spenta per risparmio, perché il segnale di tempo viene preso direttamente dai satelliti.

Ogni file CSV inviato al server centrale di Catania segue lo standard dell'ente e ordina i dati così:

1. Marca temporale standardizzata.
2. Componente assiale di inclinazione radiale (Tilt X).
3. Componente assiale di inclinazione tangenziale (Tilt Y).
4. Orientamento magnetico dello strumento (Bussola/Nord).
5. Temperatura del clinometro.
6. Tensione elettrica del clinometro in pozzo.
7. Tensione reale della batteria della stazione.

Codice identificativo fisso del nodo di misura sperimentale (stazione Messina: N5021).

6. Discussione e conclusioni

La piattaforma hardware e software descritta in questo lavoro risponde alla necessità di superare i vincoli operativi e di gestione delle stazioni di monitoraggio tradizionali, proponendosi come alternativa di livello industriale ai datalogger isolati. Sebbene l'acquisizione, il calcolo locale, l'archiviazione e la trasmissione dei flussi siano funzioni già nativamente assicurate dai datalogger classici, la soluzione qui proposta centralizza e standardizza queste attività all'interno di un'unica architettura software aperta basata su Linux. Questo approccio riduce la complessità dei nodi periferici, eliminando i punti di guasto intrinseci legati alle interconnessioni fisiche tra datalogger e modem esterni separati.

Sotto il profilo della continuità delle serie temporali, la transizione dalla programmazione sequenziale in linguaggio proprietario (CRBASIC) all'architettura a eventi in ambiente Node-RED offre margini di flessibilità e di calcolo evoluto evidenti nella gestione delle criticità sul campo, imponendo tuttavia un'attenta valutazione del bilancio energetico. Un router industriale comporta infatti un assorbimento statico basale nettamente superiore (quantificabile tra 1,5 W e 3 W) rispetto ai pochi milliwatt richiesti da un datalogger classico.

Di conseguenza, l'algoritmo di protezione energetica basato su isteresi software non è progettato per replicare i consumi microscopici della strumentazione tradizionale, bensì per disinnescare i picchi di carico indotti dai tentativi ciclici di riaggancio della cella LTE in condizioni di scarso segnale, dinamica che può superare i 5–7 W provocando il collasso repentino degli accumulatori. Nei periodi di scarso irraggiamento solare, l'inibizione selettiva della telemetria vincola i consumi alla sola quota minima di calcolo, preservando l'operatività della CPU per la digitalizzazione e la memorizzazione locale dei campioni clinometrici.

In conclusione, l'architettura proposta non si delinea come un rimpiazzo sistematico dei datalogger storici, i quali rimangono la scelta d'elezione nei siti remoti privi di margini per il sovradimensionamento di pannelli fotovoltaici e pacchi batteria. La soluzione sviluppata si configura piuttosto come un'alternativa tecnologica mirata per stazioni in grado di sostenere un carico continuo nell'ordine dei Watt, compensando tale richiesta energetica con superiori capacità di instradamento dei flussi, resilienza del dato e strumenti di diagnostica remota ed estensibilità software altrimenti non ottenibili. L'agevole aggiornamento dei flussi applicativi a distanza e la compatibilità nativa con gli standard di comunicazione IP aprono alla possibilità di replicare questo modello all'interno di reti multisensore, agevolando l'ammodernamento delle diverse linee di strumentazione geofisica permanente dell'Istituto.

Bibliografia

- Aloisi, M., Bonaccorso, A., Cannavò, F., Currenti, G., & Gambino, S. (2020). The 24 December 2018 eruptive intrusion at Etna Volcano as revealed by multidisciplinary continuous deformation networks (CGPS, borehole strainmeters and tiltmeters). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(8). <https://doi.org/10.1029/2019JB019117>
- Bonaccorso, A., Calvari, S., Coltelli, M., Del Negro, C., & Falsaperla, S. (Eds.) (2004). Mt. Etna: Volcano Laboratory. Geophysical Monograph Series, Vol. 143. *American Geophysical Union*. <https://doi.org/10.1029/GM143>
- Bonaccorso, A., Bonforte, A., & Gambino, S. (2015). Twenty-five years of continuous borehole tilt and vertical displacement data at Mount Etna: Insights on long-term volcanic dynamics. *Geophysical Research Letters*, 42, 10222–10229. <https://doi.org/10.1002/2015GL066517>
- Ferro, A. (2009). Un sistema per il rilievo immediato di eventi di deformazione del suolo nel versante nord dell'Etna e relativa segnalazione via SMS/Email. *Rapporti Tecnici INGV*, 94, 32 pp. <https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/rt/article/view/959>

- Ferro, A., & Laudani, G. (2009). Un prototipo industrializzabile di nuova stazione clinometrica. *Rapporti Tecnici INGV*, 119, 25 pp. <https://collane-editoriali.ingv.it/index.php/rt/article/view/984>
- Ferro, A., Gambino, S., Panepinto, S., Falzone, G., Laudani, G., & Ducarme, B. (2011). High precision tilt observation at Mt. Etna Volcano, Italy. *Acta Geophysica*, 59(3), 618–632. <https://doi.org/10.2478/s11600-011-0003-7>
- Gambino, S., Campisi, O., Falzone, G., Ferro, A., Laudani, G., & Saraceno, B. (2008). Deformazioni co-sismiche registrate dalla rete clinometrica durante lo sciame del 1-2 maggio 2008 nell'area della Pernicana. *Rapporto Interno UFDG*, 7, 1–12.
- Sorrentino, D., Salvaterra, L., & Vazzoler, S. (2020). Servizio DynDNS@INGV per le stazioni sismiche. *Rapporti Tecnici INGV*, 420, 15 pp. <https://doi.org/10.13127/rpt/420>

Sitografia

- [1] Campbell Scientific (2009). Operator's manual - CR1000 Measurement and Control System Overview. https://www.campbellsci.com/manuals/cr1000_manual.pdf (ultima consultazione: 29.05.2026).
- [2] Campbell Scientific (2026). CR6 Online Product Manual. <https://help.campbellsci.com/CR6/Default.htm>
- [3] Advantech (2024). SmartFlex SR303 Industrial Cellular Router. URL <https://icr.advantech.com/support/router-models/detail/sr303>
- [4] Applied Geomechanics (2007). User's manual - LILY Self-Leveling Borehole Tiltmeter. https://www.geomechanics.com/support/manuals/lily_manual.pdf (ultima consultazione: 29.05.2026).

APPENDICI

Appendice A

Codice Sorgente di Riferimento (Datalogger Campbell CR6 - Linguaggio CRBasic)

Il listato che segue documenta la logica originale delle stazioni di vecchia generazione: la gestione dei canali di acquisizione, la scomposizione delle stringhe che arrivano dal trasduttore, l'archiviazione su tabelle e la procedura di accensione e spegnimento ciclico del modulo radio per il risparmio energetico.

Snippet di codice

' Programma di gestione Stazione Clinometrica ad Alta Risoluzione
' Sincronizzazione originaria tramite "Network Time Protocol"

```
Public rTime(9)
Alias rTime(1) = Year
Alias rTime(2) = Month
Alias rTime(3) = DOM
Alias rTime(4) = Hour
Alias rTime(5) = Minute
Alias rTime(6) = Second
Public TimeOffset As Long
```

```
Public stato_radio As Boolean
Public ciclo As Boolean
```

```
Public livella_x As Boolean
Public livella_y As Boolean
Public fine_livella As Boolean
Public acquisizione As Boolean
Public stato_livellamento As String * 15
Public stato_acquisizione As String * 15
Public levelling
```

```
Public elimina_dol(3) As String * 95
Public ParseStr(7) As String * 95
```

```
Public chkValreturned
Public availabledata
Public returnedData As String * 100
Public ConvertedValue As Float
```

```
Public DC_DC_pos
```

```
Alias ParseStr(1)=TILT_X
Alias ParseStr(2)=TILT_Y
Alias ParseStr(3)=NORD
Alias ParseStr(4)=TEMPERATURA
Alias ParseStr(5)=SUPPLY_TILT
Alias ParseStr(6)=STAZ_ID
```

```
Public TEN_BATT
Public TEMP_CR10
```

```
' Dichiarazione delle tabelle di archiviazione temporale dei dati
```

```
DataTable(ECIT_l,true,-1)
    DataInterval(0,15,Min,10)
    Average(1, TEN_BATT, FP2,False)
    Average(1, TEMP_CR10, FP2,False)
    Average (1,TILT_X,IEEE4,False)
    Average (1,TILT_Y,IEEE4,False)
    Average (1,TEMPERATURA,FP2,False)
    Average (1,NORD,FP2,False)
    Average (1,SUPPLY_TILT,FP2,False)
    Average(1, DC_DC_pos, FP2,False)
    Sample (1,STAZ_ID,String)
EndTable
```

```
DataTable(ECIT_v,true,-1)
    DataInterval(0,1,Min,10)
    Average (1,TILT_X,IEEE4,False)
    Average (1,TILT_Y,IEEE4,False)
    Average (1,TEMPERATURA,FP2,False)
EndTable
```

```
DataTable(ECIT_1sec,true,20000)
    DataInterval(0,1,Sec,2)
    Average (1,TILT_X,IEEE4,False)
    Average (1,TILT_Y,IEEE4,False)
    Average (1,TEMPERATURA,FP2,False)
EndTable
```

```
BeginProg
    SDMSpeed(30)
    Delay (0,100,mSec)
```

```
' Apertura canali di comunicazione seriale
SerialOpen (ComC1,19200,19,100,10000)
SerialOpen (ComC3,19200,19,100,10000)
```

```
SerialOpen (ComRS232,9600,0,100,10000)
SerialOut (ComRS232,"k1,0," + CHR(13),"",0,100) ' Comando di attivazione apparato radio
```

```
stato_radio=true
```

```
SerialOut (ComC3,"*9900XYC3"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
SerialOut (ComC3,"*9900XY-SET-N-SAMP,360"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
```

```
livella_x=0
livella_y=0
```

```

stato_livellamento="livello_fermo"
acquisizione=True
levelling=0

```

```

Scan(1,Sec, 3, 0)

```

```

If acquisizione= True Then
    stato_acquisizione ="in acquisizione"
Else
    stato_acquisizione="stop acquisizione"
EndIf

```

```

If levelling=1 Then acquisizione= False

```

```

‘ Logica interattiva di comando dei motori di autolivellamento

```

```

If livella_x =true Then
    stato_livellamento ="livello_x"
    SerialOut (ComC1,"*9900X-LEVEL,1"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
    livella_x= False
    levelling=1
EndIf

```

```

If livella_y ="true" Then
    stato_livellamento ="livello_y"
    SerialOut (ComC1,"*9900Y-LEVEL,1"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
    livella_y=False
    levelling=1
EndIf

```

```

If fine_livella="true" Then
    stato_livellamento="livello_fermo"
    SerialOut (ComC1,"*9900XY-LEVEL,0"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
    fine_livella=false
    levelling=0
    SerialOut (ComC1,"*9900XYC2"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
    SerialOut (ComC1,"*9900XY-SET-N-SAMP,360"+CHR(13)+CHR(10),"",0,100)
EndIf

```

```

Battery(TEN_BATT)
PanelTemp(TEMP_CR10, 250)

```

```

VoltSe(DC_DC_pos, 1,mV5000,U8, False, 0, _50Hz, 0.0065, 0)

```

```

‘ Verifica e scomposizione sequenziale dei dati da canale ComC1
chkValreturned= SerialInChk(ComC1)
availabledata= chkValreturned AND 4095

```

```

While availabledata > 2
    SerialIn (returnedData,ComC1,100,13,100)
    ConvertedValue= returnedData

```

```
ConvertedValue= ConvertedValue + 100  
SplitStr (elimina_dol(),returnedData,"$",3,5)
```

```
If elimina_dol(2) <>"" Then  
    SplitStr (ParseStr(1),elimina_dol(2),"",7,5)  
EndIf
```

```
chkValreturned= SerialInChk(ComC1)  
availabledata= chkValreturned AND 4095  
Wend
```

```
' Logica di isolamento ciclico giornaliero per prevenzione blocchi  
If TimeIntoInterval(0, 86400,sec) Then  
    ciclo=true  
    stato_radio=false  
    SerialOut (ComRS232,"k1,1," + CHR(13),"",0,100)  
EndIf
```

```
If TimeIntoInterval(5,86400, sec) Then  
    If TEN_BATT > 12 Then  
        stato_radio=true  
        SerialOut (ComRS232,"k1,0," + CHR(13),"",0,100)  
    EndIf  
    ciclo=false  
EndIf
```

```
' Logica di protezione elettrica sotto-soglia con isteresi rigida  
If TEN_BATT > 12 Then  
    If stato_radio=false AND ciclo=FALSE Then  
        SerialOut (ComRS232,"k1,0," + CHR(13),"",0,100)  
        stato_radio=true  
    EndIf  
EndIf
```

```
If TEN_BATT < 11.7 Then  
    If stato_radio=true Then  
        SerialOut (ComRS232,"k1,1," + CHR(13),"",0,100)  
        stato_radio=false  
    EndIf  
EndIf
```

```
' Chiamata alle tabelle per la memorizzazione dei record convalidati  
If acquisizione=true Then  
    CallTable ECIT_I  
    CallTable ECIT_v  
    CallTable ECIT_1sec  
EndIf
```

```
NextScan
```

```
' Sequenza lenta per il mantenimento dell'orario di riferimento
SlowSequence
  Scan (60,Sec,0,0)
    RealTime( rTime )
      TimeOffset = NetworkTimeProtocol ("ntp1.inrim.it",-1,1000)
    NextScan
EndProg
```

Appendice B

Documentazione della Logica a Flussi (Piattaforma Periferica Node-RED)

Questa sezione descrive come è organizzata l'interfaccia a blocchi per eventi sviluppata ed eseguita a bordo dell'unità Advantech. La descrizione segue passo per passo i risultati stabili ottenuti durante i collaudi nei laboratori dell'ente.

Il flusso di ingresso e di scomposizione del testo parte dal blocco Dati Seriale 5555, che fa da ricevitore logico: resta in ascolto continuo e asincrono dello stream di stringhe inviato a 1 Hertz dal sensore profondo LILY. Durante le verifiche si usa il nodo debug 5, con cui l'operatore controlla la stringa in arrivo e verifica che ci siano il marcatore iniziale a forma di dollaro e, dopo, i parametri geofisici grezzi separati da virgola, cioè le pendenze assiali e le letture di temperatura del pozzo. La convalida e la separazione finale sono affidate alla funzione Salva Ultimo Dato Valido, che estrae le singole variabili pulite e le mette nella memoria comune della centralina.

La temporizzazione e l'archiviazione non volatile fanno capo al blocco Timer 1 Secondo, un generatore periodico di impulsi che scandisce i cicli di clock del processore. Il cuore del sistema è il nodo Gestore Memoria 5 Valori + Tensione: prende l'ultimo record clinometrico validato e gli aggiunge i dati diagnostici sulla corrente di alimentazione del sito. Lo stesso nodo compone la stringa di testo definitiva e comanda la scrittura progressiva, in modalità append, dei file CSV nella memoria Flash permanente dell'Advantech, e intanto mostra a video lo stato dei cicli completati, per esempio l'avviso di scrittura avvenuta del record al secondo.

L'ultima parte riguarda il monitoraggio elettrico e la logica software di protezione della batteria solare. Il nodo di diagnostica hardware nativo voly interroga direttamente i circuiti analogico-digitali interni del router e ricava la tensione reale ai morsetti di alimentazione, che nei collaudi a regime si attestava sui 12.5 volt. Questo valore viene campionato in continuo e passato al nodo Salva in Memoria / debug 6. Se la tensione scende sotto la soglia critica di 11.5 volt per via del maltempo prolungato, il blocco lancia un comando di sistema operativo che disattiva l'interfaccia cellulare: il consumo del modem si azzerà e la batteria viene preservata, mentre l'acquisizione geofisica continua offline. Lo stesso nodo riattiva la rete e la telemetria solo quando l'impianto fotovoltaico riporta la carica della batteria sopra la soglia di sicurezza successiva, fissata stabilmente a 12.5 volt. Lo schema logico complessivo dei flussi qui descritti è riportato in Figura 9.

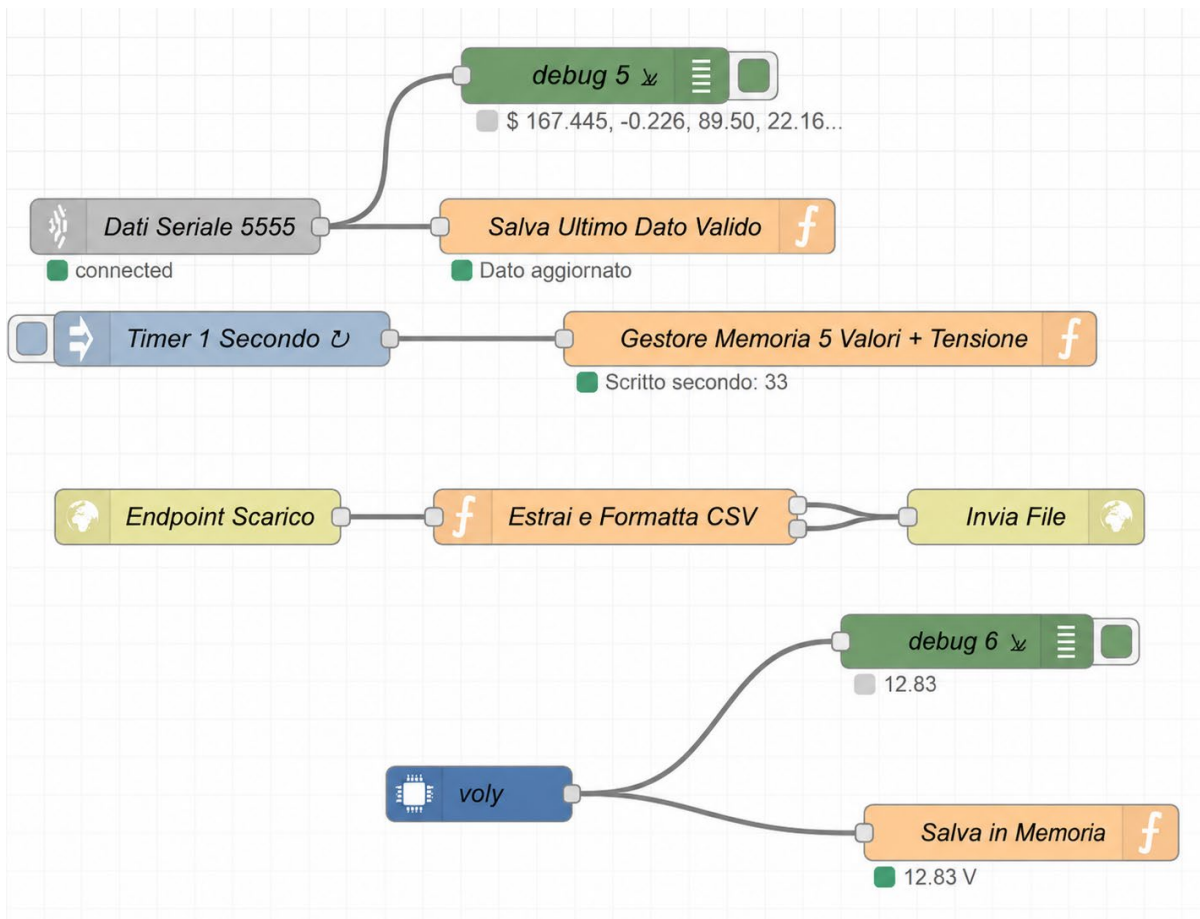


Figura 9 Diagramma logico dei flussi Node-RED eseguiti sulla piattaforma Advantech SmartFlex SR303. Il sistema gestisce l'acquisizione delle stringhe seriali provenienti dal clinometro, la validazione e l'elaborazione dei dati, la memorizzazione locale in formato CSV, il monitoraggio della tensione di alimentazione e l'invio remoto dei dati verso il Centro Elaborazione Dati dell'Osservatorio Etneo.

Figure 9 Logical diagram of the Node-RED flows running on the Advantech SmartFlex SR303 platform. The system manages serial data acquisition from the borehole tiltmeter, data validation and processing, local storage in CSV format, power-supply voltage monitoring, and remote transmission of data to the Data Processing Center of the INGV Etnean Observatory.



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