



# RAPPORTI TECNICI INGV

Valutazione operativa della rete  
piezometrica INGV dell'area dello  
Stretto di Messina



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

480

## **Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

## **Editor in Chief**

Milena MORETTI (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

## **Editorial Board**

Laura ALFONSI (laura.alfonsi@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Simona CARANNANTE (simona.carannante@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Luca COCCHI (luca.cocchi@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)  
Lorenzo CUGLIARI (lorenzo.cugliari@ingv.it)  
Alessia DI CAPRIO (alessia.dicaprio@ingv.it)  
Roberto DI MARTINO (roberto.dimartino@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Domenico DORONZO (domenico.doronzo@ingv.it)  
Filippo GRECO (filippo.greco@ingv.it)  
Alessandro IAROCCI (alessandro.iarocci@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Daniele MELINI (daniele.melini@ingv.it)  
Anna NARDI (anna.nardi@ingv.it)  
Lucia NARDONE (lucia.nardone@ingv.it)  
Marco OLIVIERI (marco.olivieri@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Pierangelo ROMANO (pierangelo.romano@ingv.it)  
Maurizio SOLDANI (maurizio.soldani@ingv.it)  
Sara STOPPONI (sara.stopponi@ingv.it)  
Umberto TAMMARO (umberto.tammaro@ingv.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)  
Stefano URBINI (stefano.urbini@ingv.it)

## **Ufficio Editoriale**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore

Rossella CELI - Segreteria di Redazione

## **Produzione e grafica-redazionale**

Barbara ANGIONI

Massimiliano CASCONI

Rossella CELI

Francesca DI STEFANO

Patrizia PANTANI

## **REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO**

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

# RAPPORTI TECNICI INGV

Valutazione operativa della rete piezometrica  
INGV dell'area dello Stretto di Messina

*Operative evaluation of the INGV piezometric  
network in the Strait of Messina area*

Marianna Cangemi\*, Paolo Madonia, Mario Mattia

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

\*Corresponding author

Accettato 4 gennaio 2024 | Accepted 4 January 2024

Come citare | How to cite Cangemi M., Madonia P., Mattia M., (2024). Valutazione operativa della rete piezometrica INGV dell'area dello Stretto di Messina. Rapp. Tec. INGV, 480: 1-26, <https://doi.org/10.13127/rpt/480>

In copertina | Risultanze delle verifiche di campo effettuate sui fori piezometrici | Cover Classification of the piezometers based on the results from field surveys

480



# INDICE

<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Procedura di valutazione operativa dei fori piezometrici</b>	8
<b>2. Risultati della procedura di valutazione</b>	10
<b>3. Conclusioni</b>	14
<b>Bibliografia</b>	15
<b>Appendice</b>	17



## Riassunto

L'area dello Stretto di Messina rappresenta una sfida scientifica di grande importanza per la geofisica, la geochimica e, in generale, per le scienze della Terra. Il convivere, in un ambito territoriale di modesta estensione, di diversi regimi geodinamici e la conseguente presenza di sistemi tettonici in grado di generare alcuni tra i terremoti più energetici dell'intero catalogo sismico italiano, e alcuni tra i vulcani attivi più importanti, rende obbligatorio considerarla un laboratorio naturale sul quale investire in infrastrutture di ricerca e monitoraggio [Mattia et al., 2008; 2009]. Anche per questo, l'INGV ha deciso di realizzare a Messina una sede dove far convergere i dati di una fitta rete di strumenti e personale tecnico e di ricerca, in grado di mantenere e sviluppare reti strumentali. La rete piezometrica, in particolare, è una sfida nella sfida, visto che c'è anche un obbligo, per l'INGV, che è quello di valorizzare e rendere operativa una infrastruttura acquisita nel 2015 nell'ambito della messa in liquidazione della Società Stretto di Messina S.p.A.

In questo rapporto vengono mostrate le metodologie ed i risultati della revisione della rete acquisita da INGV per destinarla alla realizzazione di una rete di monitoraggio idrogeochimica, nell'ambito del WP05 "NEMESI" del progetto MEET.

## Abstract

*The Strait of Messina area represents a scientific challenge of great importance for geophysics, geochemistry and, in general, for earth sciences, due to the close coexistence of different geodynamic regimes. Here are present tectonic systems able to generate energetic earthquakes, among the strongest of the entire Italian seismic catalogue and some of the most important active volcanoes. It is mandatory to consider it a natural laboratory in which to invest in research and monitoring infrastructures [Mattia et al., 2008; 2009]. It is also for this reason that the INGV has decided to set up a site in Messina where the data of a dense network of instruments and technical and research personnel can converge. The piezometric network, in particular, is a challenge within a challenge, since there is also an obligation for INGV to enhance and make operational an infrastructure acquired in 2015 when the company Stretto di Messina S.p.A. was wound up.*

*This report shows methodologies and results of the revision of the network, acquired by INGV in order to assign it to the realization of a hydrogeochemical monitoring network, within the framework of WP05 "NEMESI" of the MEET project.*

Keywords Rete piezometrica; Rete di monitoraggio idrogeochimica; Progetto PNRR-MEET, NEMESI | Piezometric network; Hydrogeochemical monitoring network, PNRR-MEET, NEMESI project

---

## Introduzione

Nell'ambito del progetto infrastrutturale PNRR "MEET", il WP5 prevede la creazione del "NEar fault observatory of the Messina Strait (NEMESI)". Esso riveste un particolare significato scientifico, in quanto lo Stretto di Messina rappresenta un punto cruciale dell'Arco Calabro Peloritano, colpito negli ultimi 250 anni da terremoti disastrosi come quelli del 1783, 1905, 1907 e 1908 [Rovida et al., 2022]. Lo Stretto di Messina rappresenta un sito vulnerabile dal punto di vista ambientale, in quanto a stretto ridosso di esso si sviluppa una catena montuosa

fortemente acclive, che insiste su un'area costiera densamente urbanizzata, punto d'unione tra la Sicilia e l'Italia continentale.

Si tratta quindi di un'area soggetta a molteplici rischi di natura geologica:

- i) frane, favorite anche dalla sempre maggiore frequenza di eventi meteorologici intensi;
- ii) depauperamento degli acquiferi sotterranei, conseguenza delle modifiche del regime pluviometrico indotte dal cambiamento climatico;
- iii) innalzamento del livello del mare;
- iv) attività neotettonica potenzialmente in grado di generare forti terremoti.

Risulta quindi importante sviluppare una densa rete di monitoraggio multiparametrico, composta da:

- i) sensori sismici, per il monitoraggio dei terremoti;
- ii) stazioni GNSS, per rilevare i movimenti lenti del suolo;
- iii) sensori idrogeochimici, in grado di rilevare variazioni di parametri chimico-fisici delle acque sotterranee. Questi ultimi sono influenzati: i) dalle oscillazioni del livello del mare, che si intrude nelle falde costiere; ii) dalla variazione del regime delle piogge, che influenza la loro ricarica, iii) dalla variazione dei campi di stress, che modificando il regime di deflusso sotterraneo può provocare variazioni di composizione chimico-isotopica e portata delle falde, potenzialmente in grado di fornire informazioni sui processi sismogenetici in atto [Barberio et al., 2017; Madonia et al., 2020].

Pertanto, uno degli obiettivi nell'ambito del WP5 del progetto MEET, azione 5.1, è la messa in opera di una rete di monitoraggio idrogeochimica, la quale prevede il possibile utilizzo della rete di fori piezometrici realizzata dalla disciolta società Stretto di Messina S.p.A., oggi ricostituita; tale rete è stata presa in carico dall'INGV nel 2015. Questi piezometri si prestano all'installazione di sensoristica in grado di acquisire in "near real time" dati di livello, temperatura e conducibilità elettrica delle acque sotterranee, indicatori dei processi precedentemente descritti.

Tale rete risulta costituita da 66 fori piezometrici, 55 dei quali ubicati sul versante siciliano dello Stretto ed 11 su quello calabrese; le ubicazioni dei piezometri sono riportate nella sottostante Figura 1.



Figura 1 Ubicazione dei piezometri della società Stretto di Messina S.p.A.

Figure 1 Piezometric network of the Stretto di Messina S.p.A.

## 1. Procedura di valutazione operativa dei fori piezometrici

Per procedere alla verifica delle reali possibilità di utilizzo dei siti si è seguita la procedura illustrata nel diagramma di flusso di Figura 2.



Va preliminarmente specificato che lo scopo di tale procedura è stato quello di fornire in tempi rapidi, considerata la stringente tempistica del progetto MEET, una valutazione delle condizioni logistiche minime compatibili con un potenziale utilizzo dei fori piezometrici. Sono stati esclusi quindi quelli che avrebbero comportato procedure tecnico-amministrative troppo lunghe, o economicamente onerose, per garantirne l'impiego nell'ambito dell'orizzonte progettuale. Si sottolinea che la valutazione delle caratteristiche idrogeochimiche non era un obiettivo di tale procedura preliminare, bensì una fase da sviluppare successivamente.

Le ubicazioni dei fori piezometrici sono state dapprima visualizzate su Google Earth, verificando quali di questi si aprissero direttamente su sede stradale; questi siti sono stati esclusi in partenza, in quanto il rilevamento anche periodico di un punto posto su sede stradale può essere reso impossibile semplicemente a causa di veicoli parcheggiati sopra il chiusino, di cassonetti per la raccolta di RSU, e comunque le operazioni di rilevamento risulterebbero pericolose a causa del traffico veicolare.

I punti esterni alla sede stradale sono stati oggetto di verifica sul campo. Alcuni di questi sono risultati irrintracciabili, per diversi motivi: in seguito a costruzione di nuovi edifici, di opere di rifacimento di marciapiedi o aree a verde, sepolti sotto detriti, ecc. Altri sono stati esclusi in quanto ubicati all'interno di proprietà private, e quindi soggetti a procedure di autorizzazione all'accesso o uso che non ne potevano consentire una realistica fruizione nei tempi di realizzazione del progetto in corso. Nei punti rintracciati è stata innanzitutto verificata la presenza del pelo libero della falda, escludendo quindi quelli in cui il foro piezometrico risultava asciutto o riempito da detrito. Un ulteriore fattore di esclusione è consistito nella presenza di idrocarburi o oli flottanti sul pelo libero della falda, che danneggerebbero i sensori di una rete di monitoraggio, causerebbero errori nelle letture del livello della falda tramite freatimetri, e non consentirebbero il prelievo di campioni indisturbati da destinare ad analisi geochimiche.

I punti in cui è stata verificata l'esistenza del pelo libero di una falda non inquinata, sono stati suddivisi in due categorie. I punti che ricadono su marciapiedi non isolabili tramite una recinzione sono stati considerati idonei a campagne di misure discrete o all'installazione di strumentazione di misura in foro, escludendo per ovvie ragioni la possibilità di mettere in opera stazioni di monitoraggio esterne. Sono stati quindi ritenuti potenzialmente idonei all'utilizzo per una rete di monitoraggio fissa, che implica la presenza di apparecchiatura fuori terra (sistemi di acquisizione e trasmissione dati, e sistemi di alimentazione ad accumulatori ricaricati da pannelli fotovoltaici) solamente quei piezometri ubicati in aree recintabili e con accesso al pelo libero di una falda non inquinata.

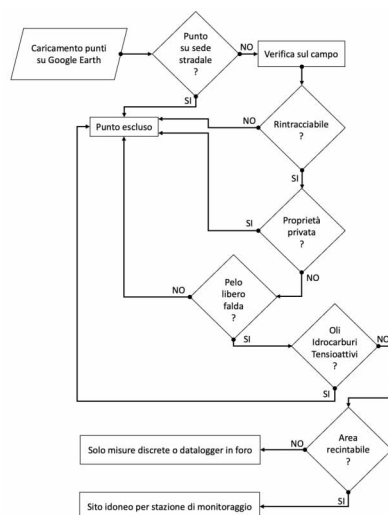


Figura 2 Diagramma di flusso rappresentativo della procedura di valutazione utilizzata.

Figure 2 Flow chart illustrating the evaluation procedure.

Su tutti i piezometri rintracciati nei quali fosse accessibile il pelo libero della falda, sono stati misurati il livello piezometrico e la temperatura dell'acqua 1 m al di sotto del pelo libero, utilizzando un freatimetro Tecnopenta dotato di testa di lettura sigillata (per evitare falsi contatti lungo le superfici del foro) e sensore termometrico, con precisioni pari ad 1 cm e a 0.1 °C per livello e temperatura, rispettivamente. Va precisato che le misure del livello piezometrico sono state riferite alla quota dei chiusini metallici dei pozzetti all'interno dei quali si aprono i fori piezometrici, armati con un tubo in PVC di 4" (10,2 cm) diametro; le misure non sono state riferite all'orlo del tubo sporgente dentro il pozzetto, in quanto questo è stato spesso tagliato obliquamente, determinando quindi possibili ambiguità nell'identificazione del riferimento (soglia più bassa o più alta dell'orlo del tubo), bensì al bordo superiore del telaio metallico che racchiude i chiusini. Si specifica che la testa delle tubazioni risulta sigillata con un tappo a tenuta ermetica, dotato di guarnizione, per impedire l'ingresso di acqua piovana al suo interno.

Le quote dei chiusini, i cui valori ortometrici sono riportati nelle schede monografiche trasmesse dalla Società Stretto di Messina, sono state nuovamente determinate attraverso un rilievo differenziale GNSS, in modalità RTK, con la tecnica "stop and go", utilizzando un ricevitore L1/L2 Trimble R6. La correzione differenziale è avvenuta appoggiandosi alla rete di stazioni GNSS fisse della Trimble Italia, imponendo 5 cm come limite di errore per le soluzioni di misura, permettendo così di effettuare un controllo di qualità sulle misure riportate nelle schede.

La Figura 3 illustra le principali caratteristiche dei pozzetti e delle tecniche di rilievo, mentre gli esiti delle verifiche di campo sono illustrati nel successivo capitolo.

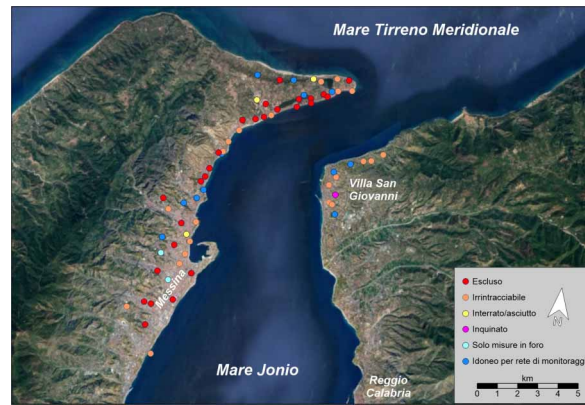


**Figura 3** A sinistra, caratteristiche dei siti della rete piezometrica. In evidenza, l'estremo superiore del tubo in PVC da 4" che arma il foro piezometrico, contenuto in un pozzetto accessibile tramite chiusino metallico (visibile sotto il freatimetro). A destra, posizionamento del ricevitore GNSS per la determinazione della quota del chiusino.

**Figure 3** On the left, main characteristics of the sites of the piezometric network. In evidence, the 4" PVC pipe of the piezometer, included in a cockpit accessible through a metallic hatch. On the right, positioning of the GNSS receiver for measuring hatch elevations.

## 2. Risultati della procedura di valutazione

I rilevamenti sono stati effettuati tra la seconda metà del mese di luglio e la fine del mese di ottobre 2023. La rete completa consiste di 66 piezometri di cui 11 in Calabria e 55 in Sicilia. La successiva mappa di Figura 4 riporta la classificazione dei fori piezometrici in funzione delle risultanze dell'attività di verifica sul campo.



**Figura 4** Risultanze delle verifiche di campo effettuate sui fori piezometrici della ex società Stretto di Messina S.p.A.  
**Figure 4** Classification of the piezometers based on the results from field surveys.

I piezometri presenti sul versante calabrese sono risultati tutti da valutare, ed i risultati della verifica sul campo sono riportati in Tabella 1. Di questi, 7 sono risultati irrintracciabili, 1 inquinato da oli ed idrocarburi flottanti e 3 potenzialmente idonei all'utilizzo per una rete di monitoraggio, in quanto nelle immediate adiacenze è possibile collocare in sicurezza strumentazione posta al di fuori dei pozzetti.

Dei 55 piezometri presenti sul versante siciliano (Tabella 2), 26 sono stati esclusi in quanto perforati direttamente sulla sede stradale. I rimanenti 29 sono stati oggetto della valutazione sul campo, ma 15 di essi sono risultati irrintracciabili. Dei 14 piezometri rintracciati, 2 presentavano il foro colmato completamente da materiale detritico, 1 è risultato secco, 2 si aprono su marciapiedi non recintabili, e sono pertanto idonei esclusivamente a misure discrete o installazione di strumentazione completamente contenuta dentro il pozzetto. Rimangono pertanto 9 siti potenzialmente idonei ad essere utilizzati in una rete di monitoraggio permanente, basata su strumentazione posta esternamente al pozzetto.

Sigla	Longitudine E	Latitudine N	Condizione
SO_VA_C_001	15.6367609	38.21615446	Irrintracciabile
SO_VA_C_002	15.6399982	38.21077003	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_C_003	15.6408228	38.22745412	Irrintracciabile
SO_VA_C_004	15.6607739	38.23447952	Irrintracciabile
SO_VA_C_005	15.6676868	38.23720739	Irrintracciabile
SO_VA_C_006	15.6563617	38.23432701	Irrintracciabile
SO_VA_C_007	15.6490205	38.23327372	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_C_008	15.6394774	38.22975377	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_C_009	15.6367193	38.22401127	Irrintracciabile
SO_VA_C_010	15.6403311	38.21946513	Inquinato
SO_VA_C_011	15.6383421	38.21528915	Irrintracciabile

**Tabella 1** Elenco dei piezometri della ex Società Stretto di Messina S.p.A. ubicati sul versante calabrese dello Stretto, con i risultati delle verifiche.

**Table 1** List of the piezometers of the Stretto di Messina S.p.A. located on the Calabrian side of the Strait, with results of the field survey.

Sigla	Longitudine E	Latitudine N	Condizione
SO_VA_S_001	15.6421075	38.27130929	Irrintracciabile
SO_VA_S_002	15.6423661	38.26570615	Irrintracciabile
SO_VA_S_003	15.6387825	38.2655644	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_004	15.6342328	38.26437745	Escluso
SO_VA_S_005	15.6363875	38.26340372	Escluso
SO_VA_S_006	15.6327324	38.27013048	Irrintracciabile
SO_VA_S_007	15.6268749	38.26269554	Escluso
SO_VA_S_008	15.6189268	38.25890982	Escluso
SO_VA_S_009	15.620149	38.26239377	Escluso
SO_VA_S_010	15.541277	38.19421752	Solo misure discrete/strumenti in pozzetto
SO_VA_S_011	15.6486283	38.27062931	Escluso
SO_VA_S_012	15.6012954	38.26038056	Escluso
SO_VA_S_013	15.6172931	38.27092488	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_014	15.60932	38.27105028	Escluso
SO_VA_S_015	15.6284982	38.2713964	Interrato
SO_VA_S_016	15.6230706	38.2641868	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_017	15.5962451	38.26222818	Secco
SO_VA_S_018	15.5352657	38.14918066	Irrintracciabile
SO_VA_S_019	15.627116	38.26046874	Escluso
SO_VA_S_020	15.607854	38.2578361	Escluso
SO_VA_S_021	15.5577723	38.19918596	Irrintracciabile
SO_VA_S_022	15.588084	38.25317595	Escluso
SO_VA_S_023	15.595405	38.25371133	Escluso
SO_VA_S_024	15.6002008	38.25449161	Escluso
SO_VA_S_025	15.5967897	38.27328999	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_026	15.6502281	38.26591114	Irrintracciabile
SO_VA_S_027	15.6042496	38.25525536	Irrintracciabile
SO_VA_S_028	15.561384	38.20785174	Irrintracciabile
SO_VA_S_029	15.5860541	38.24859708	Irrintracciabile
SO_VA_S_030	15.5800383	38.24359624	Irrintracciabile
SO_VA_S_031	15.5760725	38.23810846	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_032	15.5769173	38.23922708	Irrintracciabile
SO_VA_S_033	15.5667778	38.22809971	Escluso
SO_VA_S_034	15.5657706	38.22222305	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_035	15.5618964	38.21849095	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_036	15.5530452	38.20743565	Escluso
SO_VA_S_037	15.5558524	38.20247886	Interrato
SO_VA_S_038	15.5489756	38.19767962	Escluso
SO_VA_S_039	15.5518869	38.1893587	Irrintracciabile
SO_VA_S_040	15.5452702	38.18219762	Solo misure discrete/strumenti in pozzetto
SO_VA_S_041	15.532303	38.1622509	Escluso
SO_VA_S_042	15.5479547	38.17329895	Escluso

SO_VA_S_043	15.5393173	38.18617305	Escluso
SO_VA_S_044	15.5355868	38.17147221	Escluso
SO_VA_S_045	15.5421145	38.20121331	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_046	15.5458401	38.21369753	Irrintracciabile
SO_VA_S_047	15.554444	38.21652678	Idoneo per monitoraggio
SO_VA_S_048	15.5642169	38.22605541	Escluso
SO_VA_S_049	15.542874	38.2187151	Escluso
SO_VA_S_050	15.5218846	38.17038327	Irrintracciabile
SO_VA_S_051	15.5690536	38.23182679	Escluso
SO_VA_S_052	15.5551427	38.19349595	Irrintracciabile
SO_VA_S_053	15.574419	38.23882179	Escluso
SO_VA_S_054	15.5585017	38.18505243	Escluso
SO_VA_S_055	15.5317097	38.17244678	Escluso

**Tabella 2** Elenco dei piezometri della ex Società Stretto di Messina S.p.A. ubicati sul versante siciliano dello Stretto, con i risultati delle verifiche.

**Table 2** List of the piezometers of the Stretto di Messina S.p.A. located on the Sicilian side of the Strait, with results of the field survey.

La Tabella 3 presenta invece i risultati delle determinazioni di quota e delle misure piezometriche e di temperatura della falda, effettuate sui piezometri rintracciati e con pelo libero della falda accessibile. I dati di quota ortometrica derivano dalle informazioni contenute nelle schede monografiche dei fori piezometrici, trasmesse dalla Società Stretto di Messina. Le misure di quota sono state effettuate esclusivamente sui fori piezometrici del versante siciliano, in quanto alcuni di questi siti sono di interesse per la rete di misura quantitativa delle acque sotterranee dell'Autorità di Bacino della Sicilia. La quota ellissoidica del punto SO\_VA\_S\_010 non è stata determinata per la presenza di copertura arborea, che non ha consentito soluzioni di misura con errore accettabile.

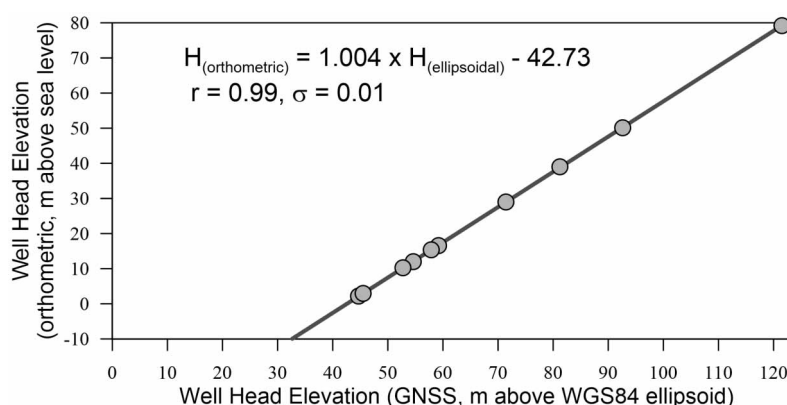
Sigla	Quota ortometrica (m slm)	Quota ellissoidica (m da ellissoide WGS84)	Livello piezometrico (m da chiusino)	T (°C)
SO_VA_C_002	34.52	n.d.	33.70	20.2
SO_VA_C_007	7.65	n.d.	7.28	20.5
SO_VA_C_008	3.95	n.d.	3.87	21.3
SO_VA_S_003	2.16	44.65	2.25	23.8
SO_VA_S_010	58.10	n.d.	17.83	21.5
SO_VA_S_013	11.96	54.64	11.85	22.7
SO_VA_S_016	10.28	52.77	10.12	21.9
SO_VA_S_025	16.58	59.21	16.26	22.1
SO_VA_S_031	15.37	57.89	15.17	21.5
SO_VA_S_034	3.00	45.52	2.83	22.5
SO_VA_S_035	29	71.44	10.01	23.0
SO_VA_S_040	39.03	81.25	37.85	21.6

SO_VA_S_045	79.2	121.50	5.4	21.9
SO_VA_S_047	50.16	92.60	17.83	21.3

**Tabella 3** Tabella riassuntiva dei dati di quota, livello piezometrico e temperatura misurati nei fori piezometrici della ex Società Stretto di Messina S.p.A.

*Table 3 Elevation, piezometric depth and water temperature data measured in the piezometric network.*

Le misure GNSS delle quote ellissoidiche dei chiusini dei pozzetti hanno permesso la verifica della precisione delle quote ortometriche, di interesse per riferire al livello del mare le profondità del pelo libero della falda, indispensabili per la ricostruzione delle direzioni di flusso delle acque sotterranee. I risultati sono sintetizzati nella Figura 5, che illustra il rapporto tra le misure di quota tramite GNSS (in ascissa) e le corrispondenti ortometriche (in ordinata) tratte dalle schede illustrative dei piezometri.



**Figura 5** Valori di quota dei chiusini, acquisiti tramite misure GNSS, graficati contro gli equivalenti ortometrici tratti dalle schede di classificazione. Viene inoltre riportata la retta di correlazione lineare.

*Figure 5 Ellipsoidal (from GNSS survey) versus orthometric (from references) hatch elevations. The linear best fitting line is also reported.*

L'eccellente coefficiente di correlazione di Pearson ( $r$ ), pari a 0.99, il valore unitario del coefficiente angolare della retta di correlazione lineare, ed il valore di intercetta (42.73 m), compatibile con la quota locale del geode rispetto all'ellissoide WGS84 [Barzaghi et al., 2002], permettono di affermare che i valori di quota ortometrica riportati nelle schede descrittive sono da considerarsi precisi entro il margine di errore delle misure GNSS (5 cm).

### 3. Conclusioni

La ricognizione preliminare della rete piezometrica, la cui titolarità è stata trasferita dalla Società Stretto di Messina S.p.A. ad INGV, ha evidenziato come dei 66 siti che costituiscono la rete solo 14 siano potenzialmente idonei ad essere utilizzati per finalità di monitoraggio. Di questi 14, 12 si prestano ad installazione di strumentazione esterna (sistemi di alimentazione, acquisizione e trasmissione dati), mentre 2 sono idonei esclusivamente all'effettuazione di misure discrete o installazione di strumentazione in foro, in quanto ubicati in aree pubbliche non delimitabili (marciapiedi).

Si fa riferimento ad una idoneità potenziale, e non effettiva, in quanto i siti individuati devono essere oggetto di ulteriori indagini per attribuirli correttamente a corpi idrici sotterranei per finalità di monitoraggio. Dovranno quindi essere effettuate misure di parametri fisico-chimici, quali livello piezometrico, temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua, nonché analisi della sua composizione chimica ed isotopica, effettuate almeno due volte nell'arco di un ciclo idrologico annuale, in corrispondenza dei periodi attesi di portata minima e massima dei corpi idrici indagati. I lettori interessati ad approfondire i dettagli relativi alle modalità di esecuzione di queste indagini, la cui trattazione esula dagli scopi di questo rapporto tecnico, possono trovare nei lavori di Cangemi et al., [2019; 2021] e Madonia et al., [2021], relativi a studi chimico-isotopici degli acquiferi sotterranei di questa area, tutte le informazioni utili.

In base alle risultanze delle indagini di cui sopra sarà quindi definito quali di questi piezometri intercettino acque sotterranee riferibili a corpi idrici quantitativamente significativi, e quali invece siano eventualmente legati a piccole falde circoscritte a modesti ambiti spaziali, di scarso interesse per scopi di monitoraggio.

## Bibliografia

- Barberio M.D., Barbieri M., Billi M., Doglioni C., Petitta M., (2017). *Hydrogeochemical changes before and during the 2016 Amatrice-Norcia seismic sequence (central Italy)*. Scientific Reports, 7. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11990-8>
- Barzaghi R., Betti B., Borghi A., Sona G., Tornatore V., (2002). *The Italian quasi-geoid ITALGEO99*. Bollettino di geodesia e scienze affini, 61:1, 33-51
- Cangemi M., Madonia P., Albano L., Bonfardeci A., Di Figlia M.G., Di Martino R.M.R., Nicolosi M., Favara M., (2019). *Heavy Metal Concentrations in the Groundwater of the Barcellona-Milazzo Plain (Italy): Contributions from Geogenic and Anthropogenic Sources*. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16, 285. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020285>
- Cangemi M., Censi V., Madonia P., (2021). *Application of Geostatistical Tools to the Geochemical Characterization of the Peloritani Mts (Sicily, Italy) Aquifers*. Water, 13: 22. <https://doi.org/10.3390/w13223269>
- Mattia M., Palano M., Bruno V., Cannavò F., Bonaccorso A., Gresta S., (2008). *Tectonic features of the Lipari-Vulcano complex (Aeolian archipelago, Italy) from 10 years (1996–2006) of GPS data*. Terra Nova, 20, 370-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2008.00830.x>
- Madonia P., Cangemi M., Oliveri Y., Germani C., (2020). *Hydrogeochemical characters of Karst Aquifer in Central Italy and Relationship with Neotectonics*. Water, 12: 7. <https://doi.org/10.3390/w12071926>
- Madonia P., Campilongo G., Cangemi M., Carapezza M.L., Inguaggiato S., Ranaldi M., Vita F., (2021). *Hydrogeological and Geochemical Characteristics of the Coastal Aquifer of Stromboli Volcanic Island (Italy)*. Water, 13: 4. <https://doi.org/10.3390/w13040417>
- Mattia M., Palano M., Bruno V., Cannavò F., (2009). *Crustal motion along the Calabro-Peloritan Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network*. Tectonophysics, 476: 3/4, 528-537. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.006>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>





# APPENDIX

Atlante fotografico dei fori piezometrici idonei all'utilizzo per misure discrete o collocazione di strumentazione in foro o per l'installazione di una rete di monitoraggio permanente. Salvo diversa indicazione, la foto a destra di quella riportante il codice identificativo si riferisce ad un particolare della principale.

*Photographic atlas of the piezometers suitable for direct measures or installation of in-hole instrumentations or for a permanent monitoring network. If not differently specified, the picture on the right of that with the id code is a detail of the main picture.*





SO\_VA\_C\_02



SO\_VA\_C\_07



SO\_VA\_C\_08











# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](https://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.



**Coordinamento editoriale**

Francesca DI STEFANO  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Progetto grafico**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Patrizia PANTANI  
Massimiliano CASCONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2024

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma  
tel. +39 06518601

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

